

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

Memoria de Título

**ACONDICIONAMIENTO PARA LA RECVLTIVACIÓN DE UN SUELO FRANCO
ARENOSO DISTURBADO POR EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS**

NATALIA FERNANDA RODRÍGUEZ TOLEDO

**SANTIAGO – CHILE
2011**

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

Memoria de Título

**ACONDICIONAMIENTO PARA LA RECVLTIVACIÓN DE UN SUELO FRANCO
ARENOSO DISTURBADO POR EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS**

**CONDITIONING FOR THE RECVLTIVATION OF A DISTURBED SANDY
LOAM SOIL AFTER SANDY SUBSOIL EXTRACTION**

NATALIA FERNANDA RODRÍGUEZ TOLEDO

**SANTIAGO – CHILE
2011**

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

**ACONDICIONAMIENTO PARA LA RECVLTIVACIÓN DE UN SUELO FRANCO
ARENOSO DISTURBADO POR EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Agrónomo

NATALIA FERNANDA RODRÍGUEZ TOLEDO

Calificaciones

Profesor Guía

Sr. Oscar Seguel S. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,8
--	-----

Profesores Evaluadores

Sr. Julio Haberland A. Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	7,0
--	-----

Sr. Gabino Reginato M. Ingeniero Agrónomo, Mg.Sc.	6,2
--	-----

SANTIAGO – CHILE
2011

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
Palabras clave.....	1
ABSTRACT.....	2
Key words:	2
INTRODUCCIÓN	3
Objetivo General	5
Objetivos específicos.....	5
MATERIALES Y MÉTODO	6
Materiales	6
Tratamientos y diseño del experimento.....	6
Evaluación de propiedades de suelo y del cultivo.....	9
Propiedades generales.....	10
Caracterización del sistema poroso.....	10
Repelencia al agua	10
Estabilidad de agregados del suelo	11
Propiedades mecánicas	12
Evaluación del cultivo	12
Análisis estadístico.....	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
Caracterización química del suelo disturbado (SD) y la cama de broiler (CB)	13
Propiedades físicas de suelo	16
Susceptibilidad a la compactación del suelo. Test de Próctor	16
Densidad aparente (Da) y porosidad.....	17
Distribución de tamaño de poros y retención de agua.....	20
Repelencia al agua	24
Estabilidad de agregados	25
Resistencia mecánica	26
Rendimiento del cultivo	28

CONCLUSIONES	31
BIBLIOGRAFÍA	32
Apéndice I A	36
Apéndice I B	37
Apéndice I C	38
Apéndice I D	39
Apéndice II A	40
Apéndice II B	41
Apéndice II C	42
Apéndice II D	43
Apéndice III A	44
Apéndice III B	45
Apéndice III C	46
Apéndice III D	47
Apéndice IV A	48
Apéndice IV B	49
Apéndice IV C	50
Apéndice IV D	51
Apéndice V A	52
Apéndice V B	53
Apéndice V C	54
Apéndice V D	55
Apéndice VI A	56
Apéndice VI B	57
Apéndice VII	58
Apéndice VIII A	59
Apéndice VIII B	60
Apéndice VIII C	61
Apéndice VIII C	62
Apéndice IX A	63

Apéndice IX B.....	64
Apéndice X.....	65
Apéndice XI	66
Apéndice XII.....	67
ANEXO I	68
ANEXO II.....	69

RESUMEN

Con el objeto de recuperar un suelo agrícola (Typic Xerochrepts, areno francoso) disturbado por extracción de arenas subsuperficiales, se desarrolló un estudio en la Estación Experimental Germán Greve Silva de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile (33° 28' LS- 70° 50' LW, Santiago, Chile), en el que se realizaron labores de pre-compactación (sin y con dos niveles crecientes) e incorporación de enmiendas orgánicas (cama broiler en dosis de 0; 15; 30 y 60 Mg ha⁻¹). Se evaluaron las propiedades físicas del suelo (densidad aparente, distribución de tamaño de poros, resistencia mecánica, estabilidad de agregados, repelencia al agua) y el rendimiento de materia seca y producción de vainas comerciales de un cultivo de poroto verde (*Phaseolus vulgaris*). El estudio se realizó en macetas de 20 L, las cuales fueron distribuidas en bloques al azar con tres repeticiones.

La reposición del suelo generó una condición de alta porosidad gruesa, baja retención de agua y baja capacidad de soporte; la combinación de la enmienda orgánica en dosis menores a 30 Mg ha⁻¹ y la ausencia de pre-compactación favorecen el asentamiento del suelo, lo que disminuye la porosidad gruesa y aumenta la resistencia mecánica. Sin embargo, la pre-compactación hasta densidad aparente entre 1,05 y 1,15 Mg m⁻³ y dosis de enmienda de entre 15 y 30 Mg ha⁻¹ favorece la interacción materia orgánica-partículas minerales, generando una mayor estabilidad de agregados y la máxima producción de materia seca y rendimiento de vainas comerciales. Dosis orgánicas mayores, si bien mejoran la retención de agua, provocan una disminución de la capacidad de soporte y un aumento de la hidrofobia, lo que dificulta el manejo agronómico del cultivo.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris*, recuperación de suelo, pre-compactación, enmienda orgánica, propiedades físicas de suelo.

ABSTRACT

In order to reclaim an agricultural soil (Typic Xerochrepts, sandy loam) disturbed by subsurface sand mining, a study was conducted at the Experimental Station German Greve Silva of the Faculty of Agricultural Sciences, University of Chile (33 ° 28 'LS-70 ° 50' LW, Santiago, Chile) combining precompaction (without and two increasing levels) and incorporation of organic amendment (manure in 0, 15, 30 and 60 Mg ha⁻¹) soil physical properties (bulk density, pore size distribution, mechanical strength, aggregate stability, water repellency) and dry matter yield and pod production of a green bean crop (*Phaseolus vulgaris*). Were evaluated the study was conducted in 20 L pots, distributed in randomized blocks with three replicates.

The extraction of subsurface soil generates a soil coarse condition of high coarse porosity, low water retention and low bearing capacity. The combination of organic amendment in doses lower than 30 Mg ha⁻¹ and the absence of precompaction promote the soil settlement, decreasing the coarse porosity and increasing the mechanical strength. However, the precompaction at levels of bulk density between 1.05 and 1.15 Mg m⁻³ and the amendment dose between 15 and 30 Mg ha⁻¹ promote organic-mineral interactions, resulting in a high aggregate stability and maximum dry matter production and yield of commercial pods. Higher doses of organic amendment increased water retention, but decreased critically the soil strength and increased the hydrophobicity, difficulting the agronomic crop management.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, soil reclamation, precompaction, organic amendment, soil physical properties.

INTRODUCCIÓN

La extracción de áridos es una actividad que ejerce presión sobre los recursos naturales. Un caso especialmente importante es la extracción de áridos en terrenos de uso agrícola, donde los materiales de interés se encuentran en estratas subsuperficiales, por lo que su extracción se necesita remover los horizontes superficiales del suelo. Este manejo altera las características desarrolladas durante el proceso de pedogénesis, tales como estructura, densidad aparente y capacidad de retención de agua, entre otras, provocando en el suelo una pérdida de funcionalidad como medio físico para los cultivos (Macaya, 2008).

El adecuado crecimiento y desarrollo de cualquier cultivo agrícola depende, entre otras cosas, de la capacidad de arraigamiento que tenga en el suelo en que se establece. La porosidad, el potencial mátrico y la resistencia mecánica del suelo son factores que influyen en la capacidad de anclaje de un cultivo (Ellies *et al.*, 1992).

Debido a la acción antrópica realizada en parte del suelo de la Serie Rinconada de Lo Vial, ubicado en la zona de Maipú, donde se extrajeron arenas subsuperficiales, se ha generado un suelo superficial completamente disturbado, el cual carece de estructura, asociándolo a un volumen excesivo de poros, lo que implica una baja capacidad de soporte, baja retención de agua y una excesiva infiltración y percolación (Cárcamo, 2009).

La compactación del suelo ocurre cuando es sobrepasada su capacidad de soporte, teniendo como consecuencia un aumento de la densidad aparente y un cambio en la distribución de tamaño de poros (Hartge y Horn, 1991; Hillel, 1998), lo cual dificulta el enraizamiento de los cultivos. Es importante resaltar que la compactación significa una deformación plástica, que ocurre a expensas del sistema poroso, y se traduce en una pérdida de la funcionalidad del suelo, por esto es importante evaluar sus propiedades mecánicas (Cuevas *et al.*, 2004). Sin embargo, en suelos sometidos a extracción de áridos, en que el material edáfico queda excesivamente suelto tras su reposición, la pre-compactación puede ser una herramienta necesaria (Hartge, 1988). La pre-compactación corresponde a una labor de asentamiento de las partículas y/o agregados, a través de una carga mecánica en superficie (presiones externas), sin incurrir en un aumento excesivo de la resistencia mecánica del suelo (Hartge, 1988).

Por otra parte, considerando las características de la Serie Rinconada de Lo Vial, con una baja fertilidad natural y una baja retención de agua, la labor de precompactación para la recuperación de suelos disturbados será más efectiva si se complementa con otras medidas, como lo son la aplicación de enmiendas orgánicas y el uso de cultivos de la Familia Fabaceae.

Según diversos autores (Kemper y Rosenau, 1986; Brady y Weil, 2000), niveles adecuados de materia orgánica en el suelo promueven la formación de macroporos estables y, consecuentemente, mejoran la tasa de infiltración, además de facilitar la labranza y permitir una adecuada aireación del suelo. Una tasa de infiltración estable es producto de la mayor estabilidad de los macroporos, debido a la depositación de materia orgánica en las paredes de éstos; mientras menor sea el contenido de materia orgánica, mayor será el riesgo de colapso de la estructura al regar el suelo (Le Bissonnais y Arrouays, 1997).

Zhang *et al.* (2005) mencionan que la incorporación de enmiendas orgánicas en suelos de texturas gruesas aumenta el contenido de poros con un tamaño menor a 6 μm y disminuyen aquellos mayores a 50 μm . Una retención de agua adecuada para el crecimiento de un cultivo se obtiene con una importante presencia de poros entre 0-30 μm de diámetro (Tisdall y Oades, 1982), por lo que una enmienda orgánica cumple con estos objetivos.

Por otra parte, los cultivos de la familia de las leguminosas elevan la cantidad de N en el suelo, debido a la capacidad que tienen de establecer simbiosis con bacterias del género *Rhizobium* (Herrera-Cervera *et al.*, 1999). En las leguminosas, aunque generalmente se distingue la raíz primaria, el sistema radical tiende a ser fasciculado y, en algunos casos, fibroso, presentando las distintas variedades una amplia variación (Faiguenbaum y Mouat, 1998). El desarrollo de raíces de estas especies permite que el suelo sea homogéneamente penetrado por esta masa radical, otorgándole una distribución homogénea del N fijado dentro de los 50 cm superficiales de suelo (Amarger *et al.*, 1997).

El cultivo de *Phaseolus vulgaris* var. Magnum requiere de suelos en donde exista una adecuada aireación junto con una buena infiltración, que le permita desarrollar adecuadamente su sistema de raíces (Faiguenbaum, 2003). Las propiedades del suelo muestran una notoria variación espacial y temporal, asociada a la estructura del suelo, de manera que las raíces se concentran en las zonas del perfil con baja resistencia a la penetración y con una relación aire-agua-suelo favorable (Ellies *et al.*, 1992). En suelos que han sido alterados por la extracción de áridos es necesario establecer las condiciones adecuadas para el desarrollo vegetal, de manera tal de acelerar la recuperación del recurso suelo.

Trabajos previos se han orientado a habilitar suelos de textura gruesa post extracción de áridos mediante el uso de enmiendas orgánicas (Macaya, 2008) o mediante una labor de precompactación (Cárcamo, 2009), ambas por separado, no utilizándose en conjunto ni relacionándolas con el cultivo a establecer

En el presente estudio se plantea que el suelo de la Serie Rinconada de Lo Vial, al que se le ha alterado la estructura debido a la extracción de arenas subsuperficiales, tendrá una recuperación exitosa al combinar la incorporación de materia orgánica con una labor de precompactación que mejore la distribución de los tamaños de poros y favorezca la recultivación utilizando una especie leguminosa.

Objetivo General

El propósito de esta investigación fue evaluar el efecto de la densificación artificial y la incorporación de cama de broiler, como enmienda orgánica, sobre las propiedades físicas del suelo y el desarrollo de poroto verde en macetas.

Objetivos específicos

- Evaluar la porosidad total, la distribución de tamaño de poros del suelo y la retención de agua con distintos niveles de precompactación e incorporación de enmienda orgánica.
- Evaluar la estabilidad de agregados y la hidrofobia, al cabo de una temporada de crecimiento de un cultivo de poroto para verde.
- Evaluar la producción de materia seca de la planta y su rendimiento comercial para los distintos niveles de densificación de suelo e incorporación de residuos orgánicos al suelo.
- Analizar la interacción de la precompactación con los distintos niveles de incorporación de residuos orgánicos.

MATERIALES Y MÉTODO

Materiales

El estudio se realizó en la Estación Experimental Agronómica Germán Greve Silva, Comuna de Maipú (33° 28` LS- 70° 50` LW) durante la temporada 2007. Se utilizó suelo disturbado (SD) proveniente de un sector donde se extrajo toda la subsuperficie de áridos. El suelo corresponde a La Serie Rinconada de Lo Vial, miembro de la familia franca gruesa, mixta, térmica de los Typic Xerochrepts, que presenta suelos aluviales, estratificados, ligeramente profundos, emplazados en terrazas planas, con o sin microrrelieve, del Río Mapocho. A partir de los 76 cm de profundidad, su textura es arenosa, pudiendo encontrarse un fragipán (CIREN, 1996). Como consecuencia de la extracción de la arena, el suelo superficial quedó totalmente mezclado y sin estructura.

La enmienda orgánica correspondió a una cama de broiler (CB) proveniente de Santo Domingo, Región de Valparaíso, la que encontraba en estado fresco, sin estabilizar.

Se utilizaron contenedores plásticos de 45 cm de altura y 30 cm de diámetro, los cuales fueron perforados en su base para permitir el drenaje del agua de riego. Las macetas fueron llenadas con las distintas mezclas (suelo-enmienda) estableciéndose un cultivo de *Phaseolus vulgaris* var. Magnum.

Las propiedades físicas y químicas fueron evaluadas en los laboratorios de Física y Química de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Tratamientos y diseño del experimento

Los tratamientos consideraron la incorporación de CB en dosis de 0; 15; 30 y 60 Mg ha⁻¹ y 3 niveles de precompactación. Las macetas de 20 L constituyeron las unidades experimentales: las mezclas se homogeneizaron mezclando las distintas dosis de CB con el suelo, y se realizaron antes de llenar a los recipientes de 20 L.

Se utilizó cama de broiler por ser un material fácilmente disponible, con alto contenido de nutrientes (P y K principalmente) y una persistencia media en el tiempo. Inicialmente, las mezclas poseían un elevado nivel de conductividad eléctrica y una alta relación nitrato:amonio, por lo que se realizó un período de estabilización de las mezclas de dos

meses, en los cuales se realizaron lavados, mediante riegos a capacidad de campo, frecuentes de las macetas.

Las macetas se ubicaron dentro de un invernadero con ventilación. El nivel de precompactación P0 (sin compactar) fue la resultante del asentamiento natural de las partículas de suelo al mojarlo en un riego (dejando una carga de 5 cm de altura de agua) mientras que los niveles de precompactación P1 (precompactación media) y P2 (precompactación alta) se realizaron mediante la metodología basada en Carter (2006): donde las mezclas cercanas a capacidad de campo (saturado y dejado drenar por 48 horas) fueron colocadas en las macetas, en capas de 10 cm de espesor, dejando caer un disco metálico de 7,5 kg, a través de dos rieles metálicos, desde una altura de 1 metro, sobre otro disco metálico ubicado sobre la superficie del suelo, ejerciendo así una fuerza aproximada de 73,5 Newton sobre éste. El disco fue lanzado 5 veces para la pre-compactación alta y 3 veces para la pre-compactación media (Figura 1).



Figura 1. Secuencia de pre compactación con sistema de discos.

Para el establecimiento del cultivo se utilizó semilla de *Phaseolus vulgaris L.* variedad Magnum. En el invernadero se controló la temperatura mediante un termómetro de máxima y mínima.

Los tratamientos resultantes se especifican en el Cuadro 1. Se realizó un diseño de bloques al azar con estructura factorial de tratamientos 3 x 4 (3 niveles de compactación y 4 niveles de materia orgánica) con 3 repeticiones por tratamiento. Debido a que se realizaron dos evaluaciones en el tiempo, se consideró el doble de macetas, totalizando 72 unidades experimentales (Figura 2).

Cuadro 1. Tratamientos producto de la condición de 3 niveles de pre-compactación y 4 aportes de CB.

Pre-compactación (P _n)	Dosis de CB (Mg ha ⁻¹) (O _n)			
	0	15	30	60
0. Sin Pre-compactación	P ₀ O ₀	P ₀ O ₁₅	P ₀ O ₃₀	P ₀ O ₆₀
1. Pre-compactación media	P ₁ O ₀	P ₁ O ₁₅	P ₁ O ₃₀	P ₁ O ₆₀
2. Pre-compactación alta	P ₂ O ₀	P ₂ O ₁₅	P ₂ O ₃₀	P ₂ O ₆₀

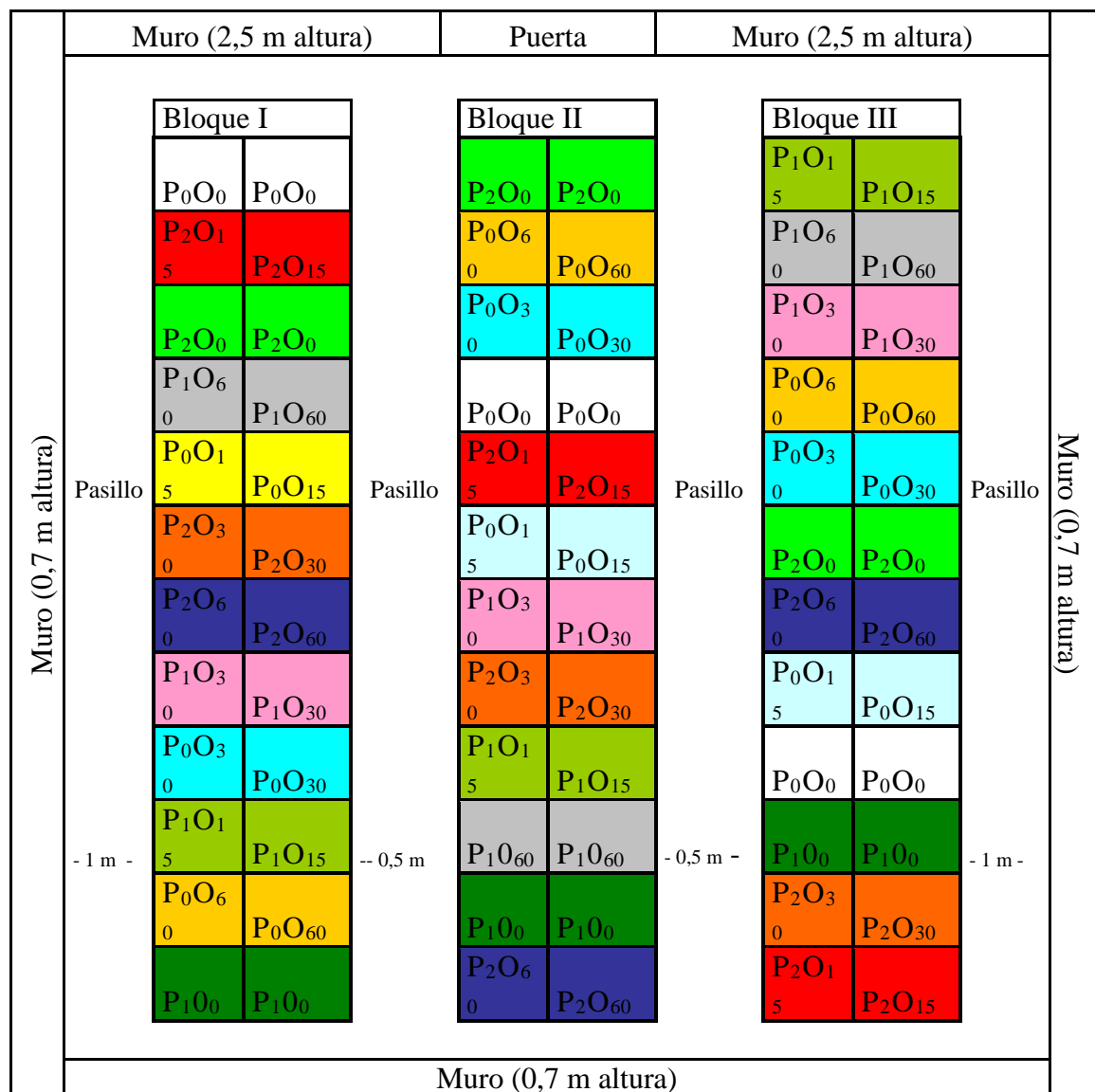


Figura 2. Diagrama de la disposición de las macetas del ensayo en el invernadero.

Se estableció riego por goteo y el seguimiento del contenido de agua se realizó mediante la determinación de la masa de las macetas. Se aplicó un criterio único de riego en base a parámetros climáticos, manteniendo los tratamientos cercanos a capacidad de campo.

Se realizó un análisis químico de las mezclas de los distintos tratamientos y en base a él se realizó una fertilización de corrección; para ello se utilizó salitre potásico (N y K₂O) y superfosfato triple (P₂O₅) para satisfacer los requerimientos del cultivo de poroto, que son

de 60 kg ha⁻¹ de N parcializado en siembra y botón floral, 70 kg ha⁻¹ de P y 100 kg ha⁻¹ de K (Faiguenbaum, 2003).

Dentro de las labores de control de plagas, se realizó una desinfección líquida al suelo, mediante aspersión de clorpirifos (0.8 L ha⁻¹), para control de gusano cortador (*Agrotis ipsilon*) y gusano barrenador (*Elasmopalpus angustellus*). También se realizó una inoculación con *Rhizobium leguminosarum* bv. Phaseoli 24 horas antes de la siembra.

Por último, se realizó la siembra de *Phaseolus vulgaris*, variedad Magnum, el día 31 de enero de 2007, estableciendo 4 plantas por maceta, en una única hilera, distanciadas a 6 cm una de otra, siendo las 2 plantas centrales las utilizadas para las distintas mediciones. Cada maceta estuvo en contacto con otras macetas, de manera tal de generar una hilera continua y así simular la condición de competencia que poseen las plantas en el campo (Figura 3). Pasados 7 días desde la siembra (7 febrero de 2007) se resembró en algunas macetas en las que no hubo emergencia.



Figura 3. Plantas en estado de inicio de botón floral, dispuestas de modo de simular la competencia en el espacio.

Evaluación de propiedades de suelo y del cultivo

Se realizaron evaluaciones en dos tiempos de desarrollo del cultivo, en botón floral (Tiempo 1; T1) y en cosecha (Tiempo 2; T2)

Propiedades generales

Se realizaron análisis de fertilidad y salinidad del suelo, de la cama broiler y de las mezclas según Sadzawka *et al.* (2004). La caracterización química inicial se realizó en una muestra compuesta de la CB y las mezclas de cada tratamiento, mientras que al final del ensayo se realizó un análisis de fertilidad completa a una muestra compuesta por tratamiento.

Antes de montar el ensayo se realizó el test de Próctor (Das, 1997), para evaluar la máxima densidad aparente posible de obtener en relación a la dosis de enmienda orgánica.

En el Tiempo 2 se midió la densidad real de cada uno de los tratamientos, por medio del método del picnómetro (Flint y Flint, 2002), con el objetivo de calcular el número poroso.

Caracterización del sistema poroso

En los tiempos T1 y T2 se caracterizó el sistema poroso de muestras no disturbadas. Se utilizaron cilindros de 6 cm de diámetro y 5 cm de altura, con los cuales se tomó una muestra de suelo inalterado de cada tratamiento a 2 profundidades (0-20 y 20-40 cm) midiendo la retención de agua y la distribución de tamaño de poros mediante cama de arena y olla a presión, ejerciendo tensiones de 2, 10, 30, 60, 100 y 330 hectoPascales (hPa); finalmente se utilizó plato de presión para determinar la retención de agua a 15.000 hPa (Dane y Hopmans, 2002). A partir de la curva característica de retención de agua se determinó la distribución de tamaño de poros según Hartge y Horn (2009). Con la muestra seca a estufa se determinó la densidad aparente (D_a) (Grossman y Reinsch, 2002) y junto con la densidad real (D_r), se calculó el número poroso (e), mediante la relación:

$$e = (D_r/D_a) - 1.$$

Repelencia al agua

Al Tiempo 2, y con muestras equilibradas a -330 hPa, se midió el índice R, de repelencia al agua (Hallett y Young, 1999) basado en la medición de la infiltración de etanol y agua en una muestra de suelo, calculando el índice R como:

$$R = 1,95 \times \frac{S_e}{S_w}$$

Donde: S_e y S_w corresponden a la sorptividad en etanol y agua, respectivamente. Valores de $R < 2$ corresponden a suelos hidrófilos, con $2 \leq R \leq 4$ se tiene suelos con repelencia subcrítica y $R > 4$ denotan suelos hidrófobos (Hallet *et al.*, 2001)

Estabilidad de agregados del suelo

La condición de los agregados del suelo fue evaluada por medio del método de la estabilidad de agregados por tamizaje en seco y húmedo (Hartge y Horn, 2009) en el tiempo T2 y en una muestra compuesta por cada unidad experimental que incluyó la profundidad total del suelo (0 – 40 cm).

El procedimiento se realizó pesando 200 g de suelo de cada tratamiento, de una muestra no disturbada y seca al aire. Se colocó un set de tamices, montados uno sobre otro, de 9,52; 6,68; 4,75; 2 y 1 mm de diámetro, agitando la muestra a 50 Hertz durante 1 minuto. Se tomó la masa de cada tamiz y se repitió el procedimiento, esta vez en un agitador con agua a 60 rpm durante 1 minuto. Finalmente, se determinó la masa de suelo presente después del tamizado. Considerando la masa inicial seca de la muestra se graficó la fracción acumulada de la masa de suelo de cada tamizaje. Finalmente, la estabilidad de los agregados (VD70) se determinó midiendo la variación relativa del diámetro de los agregados al pasar del tamizado seco al tamizado sumergido en agua, considerando el 70% de la fracción acumulada en base a masa para cada tamizado. Es decir, la VD70 está dada por:

$$VD70 = \frac{B - A}{B} \cdot 100$$

Donde: A y B corresponden al diámetro de agregado intersectado al 70% de la fracción acumulada de la masa de suelo para el tamizado seco y el tamizado húmedo, respectivamente. A modo de ejemplo, la Figura 4 presenta el cálculo de la estabilidad de agregados para una muestra con dosis de 15 Mg ha⁻¹ de CB.

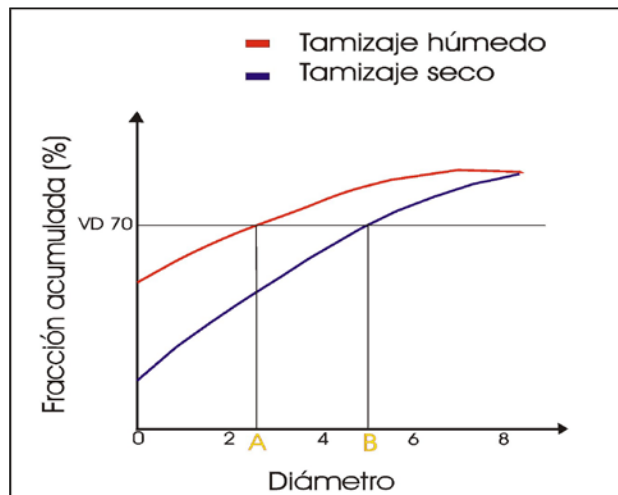


Figura 4. Fracción del suelo acumulada para distintos tamaños de agregados en un tamizaje en seco y húmedo, al realizar el método de estabilidad de agregados.

Propiedades mecánicas

En forma complementaria, en el Tiempo 2 se midió la resistencia mecánica mediante penetrómetro de cono (Koolen y Kuipers, 1983), en cuatro profundidades por maceta (1; 5; 10 y 20 cm). La evaluación se hizo a capacidad de campo, 24 horas después de un riego.

Evaluación del cultivo

Las evaluaciones del cultivo se realizaron en las dos plantas centrales de cada maceta. En el T1 se cuantificó la materia seca del cultivo en estado de botón floral, mediante secado a 70°C hasta masa constante. En T2, además, se evaluó:

- Número y peso de vainas de desecho por plantas (curvas y deformes).
- Rendimiento promedio de vainas comerciales por tratamiento (ton ha⁻¹)

Análisis estadístico

Para cada tratamiento se realizaron tres repeticiones. Las 72 macetas, de ambas fechas de evaluación, se dispusieron en un diseño de bloques completos al azar, siendo la maceta la unidad experimental. Para la curva Proctor se realizó un ajuste cuadrático, de manera de determinar el contenido de agua con el cual se logra la máxima densidad aparente. Para cada una de las propiedades físicas evaluadas, se realizó un análisis de varianza con el programa JMP 8 (ANDEVA, $\alpha \leq 0,05$) y, en caso de existir diferencias significativas, se realizó una prueba de comparación múltiple (Tukey HSD, $\alpha \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización química del suelo disturbado (SD) y la cama de broiler (CB)

Se muestreó el SD y la CB (Cuadro 2), se realizó análisis químicos para establecer el contenido de N, P, K, pH, C.E, MO, NO_3^- y NH_4^+ . Si la relación de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ es mayor a 1:10, indica que puede generarse un medio fitotóxico a la siembra (Varnero, 2006)¹, por lo que esta situación obliga a realizar labores culturales paliativas.

Cuadro 2. Análisis químico inicial de cama de broiler y el suelo disturbado (3 de octubre de 2006).

Propiedad	Cama Broiler (CB)	Suelo Disturbado (SD)
pH (muestra/agua 1:5)	6,7	7,8
C.E. (dS/m)	18,8	7,01
Materia orgánica (%)	73	0,54
Nitrógeno (mg/kg)	3960	4
Fósforo (mg/kg)	2700	9
Potasio (mg/kg)	25400	117
Nitrato (ppm)	360	
Amonio (ppm)	3600	

El SD, luego del proceso de extracción de áridos, es redepositado cercano al nivel freático, por lo que aumenta la concentración salina debido a fenómenos de ascenso capilar. La CB también presenta una alta concentración salina, pero, además, contiene aminoácidos entre sus compuestos finales, por lo que la CB presenta un alto contenido de N, en estado amoniacal principalmente. Debido a lo anterior, la CB debió descomponerse (madurar) para lograr la estabilidad de los compuestos nitrogenados y evitar posibles problemas de fitotoxicidad en la germinación de las semillas.

En el Cuadro 3 presenta los resultados del análisis de CE, NO_3^- y NH_4^+ luego de un mes de realizadas las mezclas.

¹ Comunicación verbal con la señora M^a Teresa Varnero (Químico-Farmacéutico y Licenciado en Química. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile).

Cuadro 3. Análisis químico inicial a las distintas mezclas de Suelo: Cama Broiler (3 de noviembre de 2006).

Propiedad	Dosis de CB (Mg ha ⁻¹)			
	O ₀	O ₁₅	O ₃₀	O ₆₀
C.E. (dS/m)	6,9	12,3	20,2	20,7
Nitrato (mg/kg)	96,6	236,6	420,6	453,0
Amonio (mg/kg)	7,0	8,0	9,3	12,6

El análisis químico inicial de los sustratos (Cuadro 2) mostró una alta CE, tanto en el SD como en la CB, y una relación nitrato:amonio en el límite del nivel fitotóxico en la CB, por lo que se dejó las mezclas de suelo en las macetas, para permitir que la enmienda madurara y se lograra la estabilidad del N. Al cabo de un mes, la mineralización de la CB permitió mejorar la relación nitrato:amonio, pero persistieron los altos niveles de conductividad eléctrica (CE, Cuadro 3), por lo que se decidió continuar con los lavados al suelo. El cultivo se estableció, finalmente, el 31 de enero de 2007, una vez comprobado que la salinidad no sería limitante. En el Cuadro 4 se presenta el análisis químico de los tratamientos al Tiempo 1 (muestras compuestas entre niveles de pre-compactación).

Cuadro 4. Análisis químico de SD con distintas dosis de CB (23 de marzo de 2007).

Propiedad	Dosis de CB (Mg ha ⁻¹)			
	O ₀	O ₁₅	O ₃₀	O ₆₀
pH (muestra/agua 1:5)	7,7	7,8	7,4	7,1
C.E. (dS/m)	2,36	1,17	3,66	2,09
Materia Orgánica (%)	1,86	1,33	1,32	0,97
Nitrógeno (mg/kg)	5	1	4	3
Fósforo (mg/kg)	75	142	232	322
Potasio (mg/kg)	141	281	712	729

Posterior al lavado de las mezclas, y tras dos meses de cultivo, la CE disminuyó significativamente (Cuadro 4), aunque se mantuvo en valores por sobre el umbral de tolerancia del poroto, limitando su rendimiento a valores de 50 a 97 % del potencial productivo (Oster, 1995). La tolerancia a la salinidad de *Phaseolus vulgaris* el umbral de rendimiento para distintos casos de salinidad se indican en Anexo I, mientras que los rangos de pH y macronutrientes se presentan en el Anexo II

El P y K, macroelementos con menor movilidad en la solución suelo, responden proporcionalmente a la dosis de enmienda, sin embargo, los niveles de N disminuyeron drásticamente a niveles muy bajos (INIA, 2010), lo que podría estar acusando pérdidas por volatilización, inmovilización biológica (Taiz y Zeiger, 2006), percolación ó lavado (provocando éstos últimos un riesgo de contaminación de napas freáticas, si el ensayo estuviese montado en campo). La MO presentó un comportamiento inverso en relación a la dosis de enmienda, seguramente porque las aplicaciones orgánicas provocan una activación biológica, promoviendo la combustión de la MO por respiración de microorganismos del suelo. Este fenómeno es explicado por Bohn *et al.* (1993), quienes señalan que la

descomposición de los materiales orgánicos en los suelos es proporcional al suministro, mientras más materia orgánica se agrega, más fuerte es su disminución en el mediano plazo por efecto de una mayor actividad microbiológica, lo que se acompaña de una fuerte demanda de N. El aumento de MO en relación a la condición inicial del suelo, en el caso del tratamiento sin enmienda, se pudo deber a la descomposición de residuos frescos propios del sitio de extracción de áridos, el que se encontraba con abundante presencia de malezas.

Cuadro 5. Análisis químico de los distintos tratamientos al tiempo T2 (30 de Abril de 2007). Cada valor es el resultado de una muestra compuesta de las tres repeticiones de cada tratamiento.

Dosis	Dosis de CB (Mg ha ⁻¹)			
	O ₀	O ₁₅	O ₃₀	O ₆₀
pH				
Precompactación				
P ₀	7,9	7,6	7,5	7,2
P ₁	7,9	7,8	7,4	7,3
P ₂	7,8	7,6	7,2	7,3
C.E. (dS/m)				
P ₀	1,83	3,53	4,93	4,84
P ₁	1,64	2,28	2,50	4,84
P ₂	3,05	5,75	7,28	7,40
MO (%)				
P ₀	1,03	1,32	1,52	2,56
P ₁	1,15	0,49	1,90	2,61
P ₂	1,18	3,12	2,05	2,77
N (mg/kg)				
P ₀	1	44	48	5
P ₁	17	15	16	45
P ₂	8	59	37	50
P (mg/kg)				
P ₀	276	174	245	193
P ₁	92	156	224	293
P ₂	96	122	193	291
K (mg/kg)				
P ₀	155	414	575	1139
P ₁	161	406	533	1349
P ₂	161	450	846	1462

En un medio con rangos de pH mayores a 6, el grupo funcional de la materia orgánica del suelo tiende a disociarse, liberando H⁺, lo que explica que el pH disminuye a medida que aumenta la dosis de CB (Bhon *et al.*, 1993). En general la CE, la MO, el P y el K presentaron un comportamiento ascendente a medida que aumentó la dosis de CB, en respuesta a la etapa final de la mineralización de un residuo orgánico con baja relación C/N (Brady y Weil, 2000), en que se liberan nutrientes al cesar la actividad de microorganismos.

Al igual que al Tiempo 1, el P presentó niveles muy altos, mientras que el K mostró un rango medio en los tratamientos sin enmienda y muy alto en los tratamientos con aplicación de CB (INIA, 2010).

El N presentó un comportamiento más errático y sus contenidos estarían respondiendo a la fijación de N atmosférico por parte del cultivo de poroto, los que se presentan en rangos de 2 a 118 kg ha⁻¹ (0-20 cm y considerando una densidad aparente de 1,0 Mg m⁻³), lo que es considerado niveles muy bajos a muy altos (Mera y Rouanet, 2003). No se observan tendencias claras respecto al efecto de la precompactación sobre las propiedades químicas del suelo, aunque el exceso de ésta (P₂), al promover un sistema poroso más tortuoso, estaría dificultando el lavado de sales, generando altos niveles de CE, indistintamente de la dosis de enmienda orgánica.

Propiedades físicas de suelo

Susceptibilidad a la compactación del suelo. Test de Próctor

Se evaluó la susceptibilidad a la compactación del suelo para las distintas dosis de CB. Se observa el resultado para la menor y la máxima dosis de CB de las mezclas de suelo (Figura 5), y considerando las distintas mezclas se aprecia que el coeficiente de curvatura va disminuyendo en relación al aumento de la M.O. (25,1; 12,6; 10,9 y 7,7, respectivamente, para O₀, O₁₅, O₃₀ y O₆₀), lo que evidencia el efecto de la enmienda orgánica sobre el comportamiento mecánico del suelo, demostrándose que al aumentar la dosis de enmienda existe una mayor retención de agua y una menor compactabilidad del suelo. En el caso de suelos de clase textural gruesa, la acción de la materia orgánica se concentra entre las partículas individuales, promoviendo un aumento del comportamiento elástico del suelo (Zhang *et al.*, 2005). El contenido de agua para una máxima compactación presenta una baja variabilidad, encontrándose entre 18 y 19%, con lo cual se logran niveles de densidad aparente máximos en un rango que va de 1,47 a 1,69 Mg m⁻³

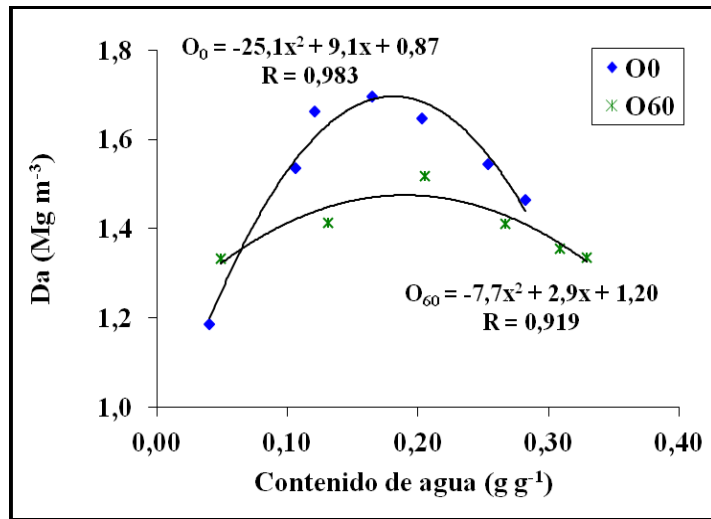


Figura 5. Densidad aparente, al realizar el Test de Próctor para los tratamientos con aplicación de CB en dosis de 0 (O_0) y 60 (O_{60}) $Mg\ ha^{-1}$.

Densidad aparente (D_a) y porosidad

A pesar de ser un sustrato areno francoso, los resultados de D_a (Cuadro 6) presentaron rangos típicos de suelos de texturas finas (Brady y Weil, 2000).

Cuadro 6. Densidad aparente ($Mg\ m^{-3}$) para dos profundidades y dos tiempos de evaluación. Para distintos tratamientos letras distintas reflejan diferencias estadísticas significativas a un mismo tiempo y profundidad.

Precompactación	Densidad aparente ($Mg\ m^{-3}$)			
	Dosis de CB ($Mg\ ha^{-1}$)			
	O_0	O_{15}	O_{30}	O_{60}
0 – 20 cm (T1)				
P_0	1,25 ab	1,20 ab	1,07 bc	0,95 c
P_1	1,26 ab	1,10 abc	1,07 bc	1,11 abc
P_2	1,28 a	1,21 ab	1,25 ab	1,07 bc
20 – 40 cm (T1)				
P_0	1,34 a	1,16 abc	1,06 cd	0,94 d
P_1	1,20 abc	1,13 bcd	1,19 abc	1,08 cd
P_2	1,28 ab	1,22 abc	1,23 abc	1,11 bcd
0 – 20 cm (T2)				
P_0	1,14 abcd	1,01 cd	1,16 abcd	0,95 d
P_1	1,24 abc	1,13 abcd	1,19 abc	1,08 bcd
P_2	1,33 a	1,28ab	1,20 abc	1,10 bcd

		Densidad aparente (Mg m^{-3})			
Dosis		Dosis de CB (Mg ha^{-1})			
Precompactación		O ₀	O ₁₅	O ₃₀	O ₆₀
		20 – 40 cm (T2)			
P ₀		1,23 ab	0,97 c	0,99 c	1,02 c
P ₁		1,23 ab	1,09 bc	1,13 bc	1,16 abc
P ₂		1,34 a	1,29 ab	1,33 a	1,24 ab

T1: Tiempo 1 (23 marzo 2007); T2: Tiempo 2 (30 abril 2007)

En términos generales, la Da no fue restrictiva para el cultivo, ya que no hubo valores elevados que pudieran mermar el crecimiento y el desarrollo de raíces (Casanova *et al.*, 2008).

Al Tiempo 1 existe interacción entre los factores (Apéndice Ia y Ic), existe una secuencia lógica en los resultados, en donde aquel tratamiento en que se incorporó la mayor cantidad de CB y se aplicó la menor precompactación (P₀O₆₀) se presentó la densidad aparente más baja, tanto en superficie como en profundidad, diferenciándose estadísticamente de los tratamientos con bajas dosis de enmienda, mientras que la Da en los tratamientos sin incorporación de CB fue más alta, tanto en superficie como en profundidad. El nivel de precompactación sigue una lógica sólo en las muestras de 20 - 40 cm de profundidad, y en dosis mayores a 30 Mg ha^{-1} de CB, destacando al agua como un agente de ordenamiento de partículas más efectivo que la densificación antrópica (Semmel *et al.*, 1990).

Al comparar entre profundidades, no se detectaron diferencias significativas, si bien era esperable un aumento de la Da, esto no se produjo dada la alta homogeneidad del material y la metodología del llenado de macetas, que tendió a homogenizar los materiales en profundidad.

En el Tiempo 2 no hay interacción entre los factores (Apéndice I A y I D), en cuanto a un aumento de la densidad aparente a medida que aumenta la precompactación en ambas profundidades, existiendo en este tiempo (T2) un mayor desarrollo de raíces y riegos, que favorecen un ordenamiento de partículas en forma inversamente proporcional al nivel de densificación, generándose la mayor soltura de suelo en las situaciones en que las raíces encontraron la menor resistencia mecánica (P₀).

En relación a los niveles máximos de Da posibles de alcanzar según la prueba de Próctor, los tratamientos sin enmienda orgánica (O₀) alcanzaron niveles de compactación de entre 70 y 80 %, mientras que para la dosis mayor de CB (O₆₀) el nivel de compactación se ubicó entre el 65 y el 76 %, aunque en una situación (P₂O₆₀) se superó el 80 %. Estos niveles acusan la baja estabilidad del material arenoso, incluso con altas dosis de MO, destacando la labor descompactadora de la raíz del cultivo al tiempo T2.

El cultivo de poroto verde es muy sensible a la falta de aireación en las raíces, siendo común que las plantas mueran o vean significativamente afectado su crecimiento cuando no existe la adecuada renovación del aire del suelo. En este sentido, son preferibles suelos de texturas medias a gruesas, ya que presentan mejor infiltración (Faiguenbaum, 2003). La

proporción de espacio poroso total fue evaluada según el número poroso (cm^3 de poros cm^{-3} sólidos), resultados que se presentan en el Cuadro 7. Para los cálculos se utilizaron los valores de densidad real, que correspondieron a 2,63; 2,61; 2,57 y 2,59 Mg m^{-3} , para los tratamientos con dosis de CB de 0; 15; 30 y 60 Mg ha^{-1} , respectivamente.

Cuadro 7. Número poroso ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) a dos profundidades y dos tiempos de evaluación. Para distintos tratamientos, letras distintas reflejan diferencias estadísticas significativas a un mismo tiempo y profundidad.

		Número poroso (-)			
		Dosis de CB (Mg ha^{-1})			
Dosis	Precompactación	O₀	O₁₅	O₃₀	O₆₀
0 – 20 cm (T1)					
	P ₀	1,10 b	1,18 b	1,41 ab	1,76 a
	P ₁	1,08 b	1,38 ab	1,40 ab	1,34 ab
	P ₂	1,06 b	1,16 b	1,07 b	1,43 ab
20 – 40 cm (T1)					
	P ₀	0,96 c	1,24 bc	1,42 ab	1,76 a
	P ₁	1,18 bc	1,31 abc	1,16 bc	1,39 abc
	P ₂	1,05 bc	1,14 bc	1,08 bc	1,34 abc
0 – 20 cm (T2)					
	P ₀	1,30 abc	1,58 ab	1,22 bc	1,75 a
	P ₁	1,13 bc	1,30 abc	1,17 bc	1,39 abc
	P ₂	0,98 c	1,04 c	1,15 bc	1,36 abc
20 – 40 cm (T2)					
	P ₀	1,13 cde	1,69 a	1,61 ab	1,54 abc
	P ₁	1,15 cde	1,40 abcd	1,28 abcde	1,23 bcde
	P ₂	0,95 e	1,03 de	0,94 e	1,10 cde

T1: Tiempo 1 (23 marzo 2007); T2: Tiempo 2 (30 abril 2007)

El número poroso es una proporción volumétrica que permite comparar directamente la cantidad de vacíos de un suelo sometido a distintos manejos, ya que relaciona el volumen de poros respecto al volumen de sólidos, siendo este último constante. Valores de número poroso mayores a 1 reflejan una porosidad mayor al 50%, siendo un parámetro más sensible a los cambios a consecuencia del manejo (Hartge y Horn, 2009).

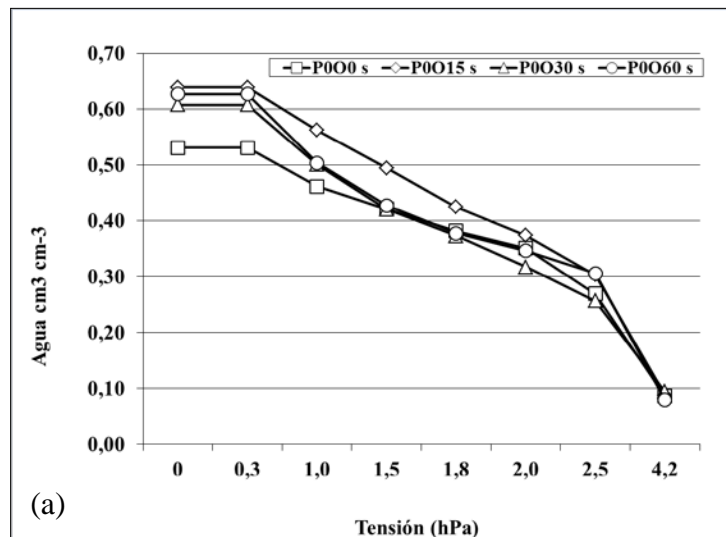
En el tiempo T1 existe interacción entre los factores (Apéndice IIA y IIB). No se observó la lógica de un menor número poroso a medida que aumentó la precompactación, como tampoco un aumento del número poroso a medida que aumentó la dosis de CB, salvo si no se aplicó precompactación previamente (P₀). Aún así se observa el resultado lógico, en que con P₀O₆₀ se da la mayor porosidad y con P₂O₀ la menor porosidad, con diferencias estadísticas significativas en ambas profundidades. Al tiempo T2 sí se observó un efecto de la precompactación sobre el número poroso, aunque en relación a las dosis de enmiendas las tendencias fueron erráticas. Esto estaría indicando que las tensiones externas (niveles de precompactación) estarían jugando un rol importante en la estabilización y capacidad de

soporte del suelo (Horn, 2003) generando las condiciones para el enraizamiento del cultivo, aunque dosis excesivas de MO podrían atentar contra la estabilidad mecánica de la matriz del suelo (Zhang *et al.*, 2005).

En cuanto a la evolución en el tiempo, en el tiempo T2 no existe interacción entre los factores (Apéndice II C y II D), se observó un aumento de porosidad en aquel tratamiento que tuvo dosis de 15 Mg ha⁻¹, en ambas profundidades, lo que resulta concordante con la disminución de la Da como consecuencia del sistema poroso estable generado por la raíz del cultivo (Baginsky *et al.*, 2010). Dosis mayores de enmienda, si bien promueven una alta proliferación de raíces, no tendrían la suficiente estabilidad mecánica que asegure la persistencia de la porosidad secundaria en el tiempo.

Distribución de tamaño de poros y retención de agua

El efecto de la MO en la retención de humedad (Figura 6) se midió en el momento de inicio de botón floral (T1) y al momento de cosecha (T2) a dos profundidades (0-20 cm y 20-40 cm) para el suelo sin precompactación con distintas dosis de CB.



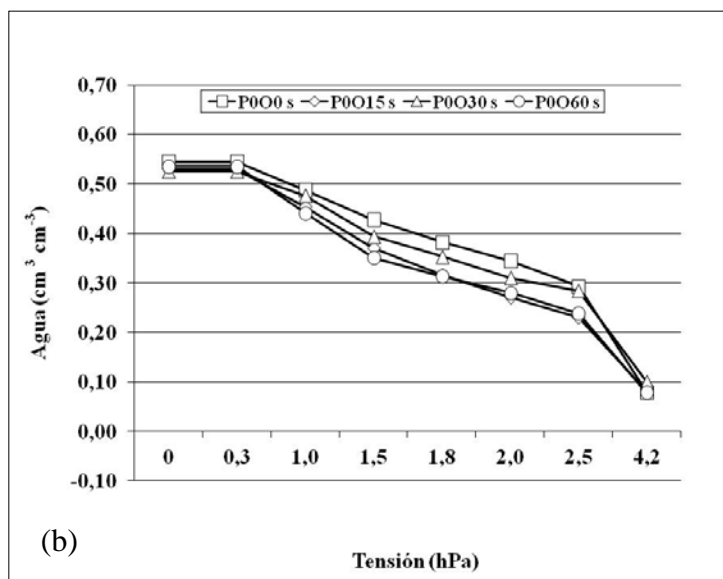


Figura 6. Retención de agua en función de la tensión, para muestras superficiales (0-20 cm), sin precompactación, con distintas dosis de CB, para distintos tiempos: (a) T1 y (b) T2.

En el tiempo T1 se puede observar un mayor contenido de agua en los tratamientos sin precompactación que tuvieron un aporte de CB, observándose pérdidas de humedad drásticas entre las distintas tensiones ejercidas, lo que indica una mayor acumulación de agua pero débil retención, reflejo de la mayor cantidad de poros gruesos; al contrario, el tratamiento sin aplicación de CB presentó menor cantidad de agua; sin embargo, en el tiempo T2 se generó un equilibrio en la retención de agua, siendo el tratamiento con menor cantidad de CB incorporada el que presentó una mayor humedad, aunque con pérdidas similares a los otros tratamientos a medida que el suelo se seca.

A partir de las diferencias de contenido volumétrico de agua entre distintas tensiones es posible estimar la distribución de tamaño de poros, de acuerdo a los rangos propuestos por Hartge y Horn (2009) (cuadros 8, 9 y 10)

Cuadro 8. Poros de drenaje rápido (PDR, > 50 μm) en los tiempos T1 y T2. Para distintos tratamientos, letras distintas reflejan diferencias estadísticas significativas a un mismo tiempo y profundidad.

Dosis	PDR (%)			
	Dosis de CB (Mg ha^{-1})			
	O ₀	O ₁₅	O ₃₀	O ₆₀
Precompactación	0-20 cm (T1)			
P ₀	16,2 b	20,3 ab	23,7 ab	25,7 a
P ₁	22,0 ab	26,7 a	26,5 a	24,9 ab
P ₂	20,0 ab	21,0 ab	18,8 ab	21,5 ab

20 – 40 cm (T1)				
P ₀	20,4 ab	24,0 ab	24,0 ab	22,3 ab
P ₁	22,4 ab	21,3 ab	25,6 a	22,4 ab
P ₂	18,4 ab	26,0 a	24,8 ab	15,9 b
0 – 20 cm (T2)				
P ₀	17,0 a	22,2 a	17,8 a	22,9 a
P ₁	17,3 a	22,2 a	19,5 a	18,5 a
P ₂	15,7 a	16,3 a	16,8 a	20,6 a
20 – 40 cm (T2)				
P ₀	19,9 abc	18,4abc	24,6 ab	20,6 ab
P ₁	18,9 abc	27,4 a	27,7 a	19,0 abc
P ₂	20,2 abc	20,9 abc	16,3 bc	13,4 c

T1: Tiempo 1 (23 marzo 2007); T2: Tiempo 2 (30 abril 2007)

En el tiempo T1 no existe interacción entre los factores, tanto en superficie como en profundidad (Apéndice III A y III B). En superficie se observa un resultado no esperado, ya que las mayores macroporosidades se presentan en aquellos tratamientos en donde existe un grado ligero de precompactación (P₁); la acción conjunta de las tensiones externas (precompactación artificial) e internas (ciclos de secado y humectación del suelo), en el caso de P₁, resulta en un sistema poroso estable, mecánicamente hablando, cumpliendo con la teoría de la tensión efectiva (Nearing, 1995). En profundidad existe la tendencia de aumentar la macroporosidad en los tratamientos hasta la dosis de 30 Mg ha⁻¹ de CB; con dosis de 60 Mg ha⁻¹ los macroporos disminuyen, demostrando la inestabilidad que generan las aplicaciones excesivas de materia orgánica (Seguel *et al.*, 2003). Al tiempo T2 solo se observó interacción entre los factores en profundidad (Apéndice IIIC y IIID), las muestras superficiales (0-20 cm) se homogeneizan, no presentando diferencias estadísticas significativas, mientras que en profundidad (20-40 cm) se mantiene la tendencia del tiempo T1, con mayor abundancia de poros gruesos en las dosis intermedias de enmienda orgánica y con un nivel de precompactación medio.

Realizando la comparación entre el comportamiento de la macroporosidad entre los tiempos T1 y T2 se observa una disminución, tanto en superficie (0 -20 cm) como en profundidad (20 -40 cm) debido al aumento de contracción por secado (Seguel y Horn, 2005). Aún así los macroporos (>50 µm) para todas las muestras, se encuentran en cantidad abundante, de acuerdo a Pagliai y Vignozzi (2002).

Cuadro 9. Poros de drenaje lento (PDL, 50 – 10 µm) en los tiempos T1 y T2. Para distintos tratamientos, letras distintas reflejan diferencias estadísticas significativas a un mismo tiempo y profundidad.

PDL (%)				
Dosis	Dosis de CB (Mg ha⁻¹)			
	O ₀	O ₁₅	O ₃₀	O ₆₀
Precompactación	0 – 20 cm (T1)			
P ₀	12,1 a	11,6 a	11,8 a	7,4 a
P ₁	15,2 a	10,9 a	12,1 a	9,9 a
P ₂	6,9 a	13,3 a	12,1 a	7,7 a
	20 – 40 cm (T1)			
P ₀	15,5 ab	18,2 a	15,6 ab	14,0 ab
P ₁	14,4 ab	13,9 ab	17,2 ab	14,8 ab
P ₂	12,9 ab	20,3 a	19,4 a	9,3 b
	0 – 20 cm (T2)			
P ₀	9,3 ab	8,8 ab	7,1 ab	7,7 ab
P ₁	10,0 ab	7,3 ab	8,3 ab	6,1 b
P ₂	9,6 ab	10,2 a	9,3 ab	7,5 ab
	20 – 40 cm (T2)			
P ₀	13,1 ab	10,1 ab	14,1 ab	12,9 ab
P ₁	11,9 ab	17,0 a	14,4 ab	11,5 ab
P ₂	13,8 ab	11,2 ab	11,9 ab	9,1 b

T1: Tiempo 1 (23 marzo 2007); T2: Tiempo 2 (30 abril 2007)

Los poros de drenaje lento corresponden a un tamaño de poro que se desatura como consecuencia de la atracción gravitacional, pero a una velocidad tal que la raíz de los vegetales podría absorberla, considerándose como una humedad altamente disponible. En el Tiempo 1 se observa interacción entre los factores en profundidad (Apéndice IV B), al igual que en el Tiempo 2 (Apéndice IV D).

Con una proporción menor respecto a los poros gruesos, los resultados mantienen la tendencia antes vista, en la que la dosis intermedia de CB y de precompactación se conjugan en forma ideal para el enraizamiento, generando un sistema poroso altamente estable, el que incluso puede aumentar producto de la renovación del sistema radical del cultivo (Trükmann *et al.*, 2006).

Cuadro 10. Poros de agua útil (PAU, 10 – 0,2 μm) en los tiempos T1 y T2. Para distintos tratamientos, letras distintas reflejan diferencias estadísticas significativas a un mismo tiempo y profundidad.

PAU (%)				
Dosis	Dosis de CB (Mg ha⁻¹)			
	O ₀	O ₁₅	O ₃₀	O ₆₀
Precompactación	0 – 20 cm (T1)			
P ₀	20,5 abc	20,0 abc	16,5 bc	23,6 ab
P ₁	18,0 bc	15,7 c	17,4 bc	25,3 a
P ₂	18,8 abc	19,7 abc	21,2 abc	25,8 a

20 – 40 cm (T1)				
P ₀	22,1 a	19,1 a	17,4 a	23,2 a
P ₁	18,6 a	20,7 a	16,6 a	25,8 a
P ₂	19,9 a	20,4 a	20,6 a	29,4 a
0 – 20 cm (T2)				
P ₀	22,4 a	15,7 a	19,3 a	16,7 a
P ₁	16,4 a	17,7 a	17,0 a	22,6 a
P ₂	14,7 a	17,2 a	15,9 a	20,9 a
20 – 40 cm (T2)				
P ₀	23,4 a	17,7 a	15,8 a	17,8 a
P ₁	18,6 a	19,7 a	15,6 a	23,0 a
P ₂	15,9 a	14,4 a	21,6 a	28,1 a

T1: Tiempo 1 (23 marzo 2007); T2: Tiempo 2 (30 abril 2007)

No se observa interacción entre los factores a ningún tiempo ni profundidad (Apéndice V A-D). En cuanto a la presencia de poros de agua útil, solo se observan diferencias estadísticas en el tiempo T1 en superficie (0 -20 cm), en donde aquellos tratamientos con mayor cantidad de dosis de CB y grados de precompactación (P₁ y P₂) presentaron el mayor porcentaje de este tipo de poros, confirmando que la incorporación de enmiendas orgánicas en suelos de texturas gruesas aumenta el contenido de poros con un tamaño menor a 10 μm (Kay *et al.*, 1997), favoreciendo la retención de agua útil para la planta. Los resultados presentaron una alta variabilidad, por lo que no fue posible detectar diferencias estadísticas en rangos de contenido de agua de 14 a 28 % en el tiempo T2.

Repelencia al agua

La repelencia al agua es la reducción de la tasa de mojamiento y de retención de agua en el suelo causado por la presencia de cubiertas hidrofóbicas, generalmente de naturaleza orgánica, ubicadas sobre las partículas del suelo (Hallet, 2008). Un exceso de hidrofobia es negativo en el suelo, por cuanto dificulta el proceso de infiltración y genera una mala distribución del agua dentro del suelo; sin embargo, es necesario un mínimo comportamiento hidrófobo para mantener una buena estabilidad al agua (Ellies *et al.*, 1995).

Cuadro 11. Índice de repelencia al agua R. Evaluación realizada al tiempo T2. Para distintos tratamientos, letras distintas reflejan diferencias estadísticas significativas a un mismo tiempo y profundidad.

Índice R (-)				
Dosis	Dosis de CB (Mg ha ⁻¹)			
	O ₀	O ₁₅	O ₃₀	O ₆₀
Precompactación	0 – 20 cm			
P ₀	1,9 a	2,6 a	2,7 a	3,0 a
P ₁	1,9 a	2,3 a	2,3 a	1,8 a
P ₂	2,4 a	2,0 a	1,7 a	3,5 a
	20 – 40 cm			
P ₀	1,9 a	2,6 a	2,7 a	3,0 a
P ₁	1,9 a	2,3 a	2,3 a	1,8 a
P ₂	2,4 a	2,0 a	1,7 a	3,5 a

Los resultados (Cuadro 11), no muestran interacción en ambas profundidades (Apéndice VI A y VI B). A pesar de no presentar diferencias estadísticas, muestran que los tratamientos con una mayor dosis de CB tienen la tendencia de un mayor valor R, lo cual indica un mayor grado de hidrofobia. Los bajos niveles de MO (< 1,2 %, Cuadro 5) en los tratamientos sin enmienda (O₀) permiten manifestar un comportamiento hidrófilo, el que implicará una entrada violenta del agua al suelo, provocando el colapso estructural. Esta situación se revierte con la precompactación, la cual afecta la *sortividad* del agua por la menor disponibilidad de poros de conducción. Llama la atención el comportamiento hidrófilo de algunos tratamientos que tuvieron aplicaciones de altas dosis de MO, de hecho, no existió una correlación significativa entre el contenido de MO y el índice R, ni entre éste y la estabilidad de agregados. Esto deja de manifiesto la compleja relación órgano-mineral en el proceso de estructuración, en la que la hidrofobia no depende exclusivamente del contenido total de MO, sino del tipo de ésta, ubicación, actividad biológica, superficie específica y contenido de agua (Hallet, 2008). En este caso las evaluaciones fueron realizadas a capacidad de campo (-33 kPa) lo que previno una manifestación de una hidrofobia más fuerte, como ocurre en el caso de suelos sometidos a mayor tensión (Orellana *et al.*, 2004).

Estabilidad de agregados

Los procesos de humedecimiento del suelo, como son las precipitaciones o riegos, generan inestabilidad de las uniones órgano-minerales, las que pueden ser destruidas, provocando la dispersión del suelo (Chenu *et al.*, 2000). Mediante la variación del diámetro (VD) de los agregados entre un tamizaje en seco y otro en húmedo a una determinada fracción acumulada, es posible determinar la tendencia del suelo a ser dispersado, de manera tal que un suelo inestable presentará mayores valores de VD (Cuadro 12).

Cuadro 12. Variación del diámetro de los agregados (VD 70%) entre un tamizaje en seco y otro en húmedo al tiempo T2. Para distintos tratamientos, letras distintas reflejan diferencias estadísticas significativas a un mismo tiempo y profundidad.

		VD 70 (%)			
Dosis		Dosis de CB (Mg ha ⁻¹)			
Precompactación		O ₀	O ₁₅	O ₃₀	O ₆₀
P ₀		84,3 a	42,3 bc	17,2 cd	19,3 cd
P ₁		79,6 a	67,4 ab	17,6 cd	24,3 cd
P ₂		79,9 a	43,9 bc	15,8 cd	5,9 d

No existe interacción entre los factores (Apéndice VII). Existe una fuerte relación entre la dosis de enmienda y la estabilidad estructural, consiguiéndose diferencias significativas con respecto al testigo, incluso con bajas dosis de MO.

A pesar que la menor estabilidad de agregados se observó en aquel tratamiento que posee la menor pre-compactación y menor dosis de CB (P₀O₀), así como la mayor estabilidad de agregados se da en el tratamiento P₂O₆₀, se puede observar que la precompactación no favorece el contacto materia orgánica-partícula mineral, por lo que la VD es indiferente a ésta. Los resultados indican que el suelo, posterior a la extracción de áridos, presentará dispersión de un 80% promedio de sus agregados si se prescinde de una enmienda orgánica, resultando crucial el efecto de ésta sobre la recuperación de la calidad del suelo.

Resistencia mecánica

La resistencia mecánica que ofrece el suelo dice relación con la capacidad de éste para soportar cargas externas (Kézdi, 1980) así como la facilidad de enraizamiento de los cultivos (Busscher y Bauer, 2003). La resistencia mecánica depende, entre otros, de la distribución de partículas, tipo de arcilla y cationes extractables, contenido y tipo de materia orgánica, agregación, densidad aparente y contenido de agua (Horn y Lebert, 1994).

El Cuadro 13 presenta los resultados de la evaluación realizada 24 horas después de un riego posterior a la cosecha. Como el potencial mátrico es el mismo para todos los tratamientos, las diferencias dependen exclusivamente del contenido de materia orgánica y del nivel de precompactación y, como era de esperar, se cumplió la respuesta física-mecánica de un suelo sometido a pre-compactación, en el sentido que al aumentar esta última aumenta la resistencia mecánica, especialmente con dosis elevadas de enmienda. Se observa interacción en todas las profundidades entre los factores (Apéndice VIII A-B-C y D). Claramente, el tratamiento P₂O₀ presentó los mayores valores de resistencia, mientras que el tratamiento P₀O₆₀ mantuvo un nivel de soltura en todo el perfil, ayudado por la estructura fibrosa de la enmienda (Burés, 1997); sin embargo, no se cumple con claridad la

secuencia descendente de resistencia a medida que aumenta la dosis de enmienda. La CB utilizada incluía materiales fibrosos, de tamaño grueso (hasta 5 cm) de difícil descomposición, lo que pudo mantener en el perfil una condición de alta heterogeneidad, generando los resultados variables del Cuadro 13. Para el caso de los tratamientos O₀, estos presentaron, para un mismo nivel de precompactación, un aumento gradual de resistencia en profundidad, lo que es lógico al considerar el peso acumulativo del material sobreyacente (Hartge, 1988). Esta lógica no se dio claramente en los tratamientos que tuvieron aplicación de CB, por cuanto el material grueso de la enmienda genera heterogeneidades dentro del perfil.

Cuadro 13. Resistencia mecánica (kPa) de las distintas mezclas del suelo para distintas profundidades. Para distintos tratamientos, letras distintas reflejan diferencias estadísticas significativas a un mismo tiempo y profundidad.

Resistencia (hPa)				
Dosis	Dosis de CB (Mg ha⁻¹)			
	O₀	O₁₅	O₃₀	O₆₀
Precompactación				
0-2 cm				
P ₀	138 a	71 ab	33 b	22 b
P ₁	71 ab	66 ab	95 ab	71 ab
P ₂	129 a	94 ab	127 a	119 a
2-5 cm				
P ₀	166 ab	72 cde	17 e	53 de
P ₁	138 abc	148 ab	148 ab	114 bcd
P ₂	200 a	143 ab	185 a	140 abc
5-10 cm				
P ₀	233 ab	94 ef	40 f	99 ef
P ₁	165 cd	152 de	132 de	137 de
P ₂	260 ab	165 cd	280 a	215 bc
10-20 cm				
P ₀	250 bc	53 e	80 de	77 de
P ₁	203 c	220 bc	133 d	107 de
P ₂	315 a	240 bc	315 a	270 ab

T1: Tiempo 1 (23 marzo 2007); T2: Tiempo 2 (30 abril 2007)

Taylor y Brar (1991) señalan un valor crítico de entre 150 y 600 kPa a partir del cual se comienza a afectar la penetración radical, valor que depende del cultivo y sus condiciones ambientales (nutrición, agua, aire). Sin embargo, la fuerza axial que son capaces de ejercer las raíces le permiten desarrollarse en suelos con hasta 2 MPa, por lo que la condición final del ensayo no sería restrictiva para el enraizamiento de los cultivos.

Rendimiento del cultivo

El poroto verde se siembra en la zona central entre los meses de noviembre y enero, la fecha de siembra de este ensayo fue tardía. La emergencia fue desuniforme entre tratamientos, por lo que se realizó una resiembra a los 7 días de la fecha de siembra (7 de febrero).

Cuadro 14. Rendimiento de materia seca aérea (g) en los tiempos T1 y T2.

Rendimiento Materia Seca				
Dosis Precompactación	Dosis de CB (Mg ha ⁻¹)			
	O ₀	O ₁₅	O ₃₀	O ₆₀
Materia Seca T1 (g)				
P ₀	11,1 a	18,9 a	21,3 a	19,1 a
P ₁	12,9 a	20,1 a	21,0 a	12,2 a
P ₂	9,8 a	21,0 a	16,4 a	9,0 a
Materia Seca T2 (g)				
P ₀	19,7 bc	31,3 abc	31,4 abc	23,8 abc
P ₁	28,8 abc	41,6 a	27,5 abc	22,6 bc
P ₂	20,8 bc	35,5 ab	25,3 abc	15,0 c

T1: Tiempo 1 (23 marzo 2007); T2: Tiempo 2 (30 abril 2007)

No existe interacción entre los factores en ambos tiempos de evaluación (Apéndice IX A y IX B). Hasta botón floral (T1), no se observó mayores diferencias de peso de materia seca entre los tratamientos (Cuadro 14). Al Tiempo 2 se observó una diferencia significativa en el crecimiento del cultivo, observándose un mayor crecimiento de masa vegetal en el tratamiento P₁O₁₅ y el más bajo crecimiento con el tratamiento P₂O₆₀. Cuando se realizaron aplicaciones de MO en altas dosis (> 30 Mg ha⁻¹) la precompactación máxima (P2) resultó detrimental para el desarrollo del cultivo, por cuanto se disminuyó el diámetro de los poros, generando condiciones de alta humedad, baja aireación y menor temperatura.

Diversos autores señalan un comportamiento de parábola invertida al relacionar la MS producida en función de la densidad aparente (Lindstrom y Voorhees, 1994; Cárcamo, 2009; Kuth y Reintam, 2001). Sin embargo, el resultado depende también del equilibrio agua/aire influenciado por aspectos climáticos, de manera tal que altas dosis de MO pueden generar un exceso de retención de agua (Cuadro 10), afectando el desarrollo del cultivo en forma directa con cada nivel de densificación (Lipiec y Simota, 1994). Con dosis bajas de CB (< 15 Mg ha⁻¹), la precompactación ligera (P1) logró el mejor contacto suelo-raíz-agua, generando los mayores rendimientos, tal como lo observaron Cárcamo *et al.* (2007) en un ensayo de campo.

Considerando un cultivo establecido con 290 mil plantas ha^{-1} , se genera una producción de materia seca de 1,5 y 4 Mg ha^{-1} para los tratamientos P_2O_{60} y P_1O_{15} , respectivamente. Una buena pradera para pastoreo en la zona sur del país (X Región) rinde entre 4,1 y 14 toneladas de materia seca total anual por ha, siendo los “peak” entre 3 y 7,8 ton ha^{-1} , dependiendo del estado fenológico de la pradera (bota y grano, respectivamente) (Teuber y Balocchi, 2003), lo que indica que altos rendimientos de poroto verde mantienen una cantidad de materia seca que queda en el campo similar o menor en comparación a la materia seca producida por una pradera.

Respecto de las vainas producidas (2 plantas por unidad experimental), separándolas en categorías de vainas útiles (rectas y con más de 10 cm de largo) y vainas de desecho (menos de 10 cm de largo y/o curvas) (Cuadro 15), se aprecia que el efecto causado por los tratamientos, en cuanto a la producción de vainas de desecho, no se manifestó, no existiendo interacción entre los factores en las variables peso y número de vainas de desecho (Apéndice X y XI). Existe la tendencia de una menor producción de vainas y masa de éstas en los tratamientos extremos (P_0O_0 y P_2O_{60}), aunque la alta variabilidad de los resultados impidió tener diferencias significativas en la masa.

Cuadro 15. Número y masa respectiva de vainas de desecho. Total de 6 plantas por tratamiento. Letras distintas implican diferencias estadísticas entre los tratamientos a una misma profundidad.

		Número / Masa (g) Vainas de desecho			
Dosis		Dosis de CB (Mg ha^{-1})			
Precompactación		O_0	O_{15}	O_{30}	O_{60}
P_0		13 b / 5,4 a	38 a / 30,9 a	22 ab / 25,5 a	22 ab / 21,4 a
P_1		26 ab / 12 a	32 ab / 25,2 a	24ab / 17,8 a	16 ab / 8,8 a
P_2		12 b / 14,5 a	23 ab / 17,3 a	17 ab / 14,4 a	10 b / 7,9 a

Al realizar la estimación del rendimiento de vainas productivas en cosecha, en base a 290 mil plantas ha^{-1} , el rendimiento (Cuadro 16), no considerando aquellas vainas curvas o bajo calibre, que son inútiles para la industria y generalmente desechadas por las máquinas cosechadoras, en el presente ensayo, los rendimientos obtenidos fueron bajos en general, lo que se debió, principalmente, a la fisiología del cultivo, a la salinidad presente en el sustrato y la fecha tardía de siembra, lo que significó una merma en la producción. Sin embargo se obtuvo un rendimiento comercial positivo (11,92 ton ha^{-1}) para el tratamiento con labores de manejo intermedio (P_1O_{15}). Se puede apreciar que el tratamiento P_0O_0 es aquel en que se observaron los menores rendimientos (en vainas de desecho y vainas productivas), cumpliéndose la condición desfavorable para el buen desarrollo de un cultivo; por otra parte, las dosis excesivas de materia orgánica tampoco aseguran una condición favorable para la productividad agrícola

Cuadro 16. Rendimiento de vaina útil (ton ha⁻¹). Letras distintas implican diferencias estadísticas entre los tratamientos.

		Rendimiento (ton ha⁻¹)			
Dosis		Dosis de CB (Mg ha⁻¹)			
Precompactación		O₀	O₁₅	O₃₀	O₆₀
P ₀		3,28 a	4,09 ab	5,20 ab	6,00 ab
P ₁		7,57 ab	11,92 b	4,74 ab	7,30 ab
P ₂		5,06 ab	4,70 ab	6,94 ab	4,24 ab

No existe interacción entre los factores para la evaluación de rendimiento (Apéndice XII). Para una plantación comercial se esperan rendimientos de entre 6 – 14 ton ha⁻¹ (Urzua *et al.*, 2003).

CONCLUSIONES

El suelo disturbado, producto de la extracción de arenas subsuperficiales del perfil, puede ser mejorado mediante una labor de precompactación de intensidad media en conjunto con la incorporación de una enmienda orgánica en base a cama de broiler, lo que resulta en niveles de fertilidad altos y una adecuada relación sólidos/agua/aire.

Valores de densidad aparente de $1,1 \text{ Mg m}^{-3}$ y dosis de 15 Mg ha^{-1} de enmienda orgánica promovieron altos niveles de macroporosidad, con niveles intermedios de estabilidad de agregados y de resistencia mecánica. Esta condición de suelo aseguró los mayores rendimientos en el cultivo de poroto, tanto de materia seca como de vainas comerciales, lo que lo proyecta como una buena alternativa para recuperar suelos degradados, con expectativas de buenos rendimientos comerciales.

Niveles de cama de broiler mayores a 30 Mg m^{-3} y exceso de pre-compactación, si bien promueven una mayor estabilidad de agregados, generan aportes salinos y exceso de nutrientes, además de una retención de agua elevada, con menor proporción de macroporos, lo que finalmente afecta la adecuada relación agua/aire/resistencia mecánica del suelo, disminuyendo la producción de biomasa.

BIBLIOGRAFÍA

- AMARGER, N., V. MACHERET and G. LAGUERRE. 1997. *Rhizobium gallicum* sp. nov and *Rhizobium giardinii* sp. nov., from *Phaseolus vulgaris* nodules. Int. J. Syst. Bacterial 47: 996-1006.
- BAGINSKY, C., O. SEGUEL Y A. CONTRERAS. 2010. Impacto en la utilización de cultivos y enmiendas orgánicas sobre la funcionalidad del suelo. Universidad de Chile. Serie Ciencias Agronómicas N° 17. Santiago, Chile. 122 p.
- BOHN, H., B. McNEAL y G. O'CONNOR. 1993. Química del suelo. Limusa S.A. D.F., México. 370 p.
- BRADY, N.C. and R.R. WEIL. 2000. Elements of the nature and properties of soils. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA. 559 p.
- BURÉS, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas SL. Madrid, España. 341 p.
- BUSSCHER, W. J. and P. J. BAUER. 2003. Soil strength, cotton root growth and line yield in a southeastern USA coastal loamy sand. Soil and Tillage Research 74: 151-159.
- CÁRCAMO, I. 2009. Pre-compactación como herramienta para mejorar la relación raíz/agua/aire en habilitación de suelos sometidos a extracción de áridos. Memoria Ingeniero Agrónomo, Mención Manejo de Suelo y Aguas. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 31 p.
- CÁRCAMO, I., O. SEGUEL, C. BENAVIDES, M. CASANOVA, I. HOMER, X. LÓPEZ y J. HABERLAND. 2007. Pre-compactación como herramienta para mejorar la relación raíz/agua/aire en habilitación de suelos sometidos a extracción de áridos. pp: 232-240. En: M. Bocco y J. Cosiansi (eds.). Avances en Ingeniería Rural. IX Congreso Argentino de Ingeniería Rural y I del Mercosur. Córdoba, Argentina.
- CARTER, C. 2006. Método de calibración en laboratorio para sonda de capacitancia Diviner 2000. Memoria Ingeniero Agrónomo, Mención Manejo de Suelo y Aguas. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 45 p.
- CASANOVA, M., O. SEGUEL, J. HABERLAND Y C. KREMER. 2008. Propiedades físicas: Indicadores de calidad y salud de suelos. Rev. Antumapu 6 (1-2): 32-34.
- CHENU, C., Y. LE BISSONNAIS and D. ARROUAYS. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. Soil Science Society of America Journal 64: 1479-1486.
- CIREN, 1996. Estudio Agrológico Región Metropolitana. Descripción de suelos, materiales y símbolos. Publicación Centro de Información de Recursos Naturales N°115. 425 p.
- CUEVAS, J., J. DÖRNER. y A. ELLIES. 2004. Elementos de física y mecánica para evaluar la sustentabilidad de suelos agrícolas. R.C. Suelo Nutr. Veg. 4(2): 1-13
- DANE, J.H. and J.W. HOPMANS. 2002. Water retention and storage. pp: 671-720. In: Dane, J. H., Topp, G. C. (eds.). Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods. Soil Science Society of America. Book Series N° 5. Madison, Wisconsin, USA.
- DAS, B. M. 1997. Soil mechanics laboratory manual. Engeneering Press. Austin, Texas. USA. 278 p.

- ELLIES, A., C. RAMIREZ., R. MC DONALD y J. GAYOSO, 1992. Efecto de la compactación de suelos volcánicos sobre el crecimiento de *Lolium multiflora* y *Trifolium pratense*. Agricultura Técnica 52: 450-455.
- ELLIES, A., R. GREZ, C. RAMÍREZ. 1995. Cambios en las propiedades humectantes de suelos sometidos a diferentes manejos. Turrialba 45: 42-48.
- FAIGUENBAUM, H. 2003. Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Ograma S.A. Santiago, Chile. 760p.
- FAIGUENBAUM, H y P. MOUAT. 1998. Biología de cultivos anuales: Morfología y estados de desarrollo en cereales, leguminosas, papas y remolacha. [on line]. [citado 21 Octubre 2006]. Disponible en: http://www.puc.cl/sw_educ/cultivos/index.html
- FLINT, A. L. and L. E. FLINT, 2002. Particle density. pp: 229-240. In: Dane, J. H., Topp, G. C. (eds.). Methods of soil analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America Book Series N° 5. Madison, Wisconsin, USA.
- GROSSMAN, R. B. and T.G. REINSCH. 2002. Bulk density and linear extensibility. pp: 201-228. In: Dane, J. H., Topp, G. C. (eds.). Methods of soil analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America. Book Series N° 5. Madison, Wisconsin, USA.
- HALLETT, P.D. 2008. A brief overview of the causes, impacts and amelioration of soil water repellency – a review. Soil & Water Res. 3 (1): 521-529.
- HALLETT, P.D., T. BAUMGARTL and J. M. YOUNG. 2001. Subcritical water repellency of aggregates from a range of soil management practices. Soil Science Society of America Journal. 65: 184-190.
- HALLETT, P.D. and I. M. YOUNG. 1999. Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity. Eur. J. Soil Sci. 50: 35-40.
- HARTGE, K. H. 1988. The reference base for compaction state of soils. pp: 73-77. In: J Drescher, R. Horn and M. de Boodt (Eds). Impact of water and external forces on soil structure. Catena Supplement 11. Cremlingen, Germany. 171 p.
- HARTGE, K. H. und R. HORN. 1991. Einführung in die Bodenphysik, 2., überarbeitete Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, Germany. 303 p.
- HARTGE, K. H. und R. HORN. 2009. Die physikalische Untersuchung von Böden. Praxis, Messmethodem, Auswertung. E. Schweizerbastsche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart, Germany. 178 p.
- HERRERA-CERVERA, J., J. CABALLERO-MELLADO, G. LAGUERRE, H.V. TICHY, N. REQUENA, N. AMAGUER, E. MARTÍNEZ-ROMERO, J. OLIVARES Y J. SANJUÁN. 1999. At least five rhizobial species nodulate *Phaseolus vulgaris* in a Spanish soil. Federation of European Microbiological Societies. Microbiology Ecology. Volume 30: 87-97.
- HILLEL, D. 1998. Environmental soil physics. Academic Press, San Diego, CA. 771 p.
- HORN, R. 2003. Stress-strain effects in structured unsaturated soils on coupled mechanical and hydraulic processes. Geoderma 116: 77-88.
- HORN, R. and M. LEBERT. 1994. Soil compactibility and compressibility. pp: 45-69. In: B. D. Soane and C. van Ouwerkerk (eds). Soil compaction in crop production. Elsevier Science. Amsterdam, The Netherlands.
- INIA. 2010. Laboratorio de suelos. Interpretación de análisis químicos de suelos. Disponible en: <http://www.inia.cl/link.cgi/suelo/resultados/7706> . Leído el 2 de Enero de 2010.

- KAY, B. D., A. P. DA SILVA and J. A. BALDOCK. 1997. Sensitivity of soil structure to changes in organic C content: predictions using pedotransfer functions. *J. Can. Soil Science*: 77: 655-667.
- KEMPER, W., and R. ROSENAU. 1986. Aggregate stability and size distribution. pp: 425-442. In: Klute, A. (Ed.) *Methods of soil analysis*. Vol.1, 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- KÉZDI, A. 1980. *Handbook of soil mechanics*. Vol. 2. Soil Testing. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, The Netherlands. 225p.
- KOOLEN, A. J. and H. KUIPERS. 1983. *Agricultural soil mechanics*. Advances Series in Agricultural Sciences 13. Springer-Verlag. Berlín, Germany. 241 p.
- KUTH, J. and R. REINTAM. 2001. The impact of deep rooted plants on the qualities of compacted soils. pp: 632-636. In: D.E. Stott, R.H. Mohtar and G.C. Steinhardt (eds.). *Sustaining the Global Farm. Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting*. Purdue, USA.
- LE BISSONNAIS, Y. and D. ARROUAYS. 1997. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodability: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *European Journal of Soil Science* 48: 39-48.
- LINDSTROM, M.J. and W.B. VOORHEES. 1994. Responses of temperate crops in North America to soil compaction. pp: 265-286. In: B.D. Soane and C. van Ouwerkerk (eds.). *Soil compaction in crop production Developments in Agricultural Engineering* 11. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands.
- LIPIEC, J. and C. SIMOTA. 1994. Role of soil and climate factors in influencing crop responses to soil compaction in central and eastern Europe. pp: 365-390. In: B.D. Soane and C. van Ouwerkerk (eds.). *Soil compaction in crop production. Developments in Agricultural Engineering* 11. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands.
- MACAYA, C. 2008. Evaluación de la rehabilitación en suelos de aptitud agrícola de la Región Metropolitana sometidos a la extracción de áridos. Memoria Ingeniero Agrónomo, Mención Manejo de Suelo y Aguas. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 170 p.
- MERA M. y J. L. ROUANET. 2003. Contribución de las leguminosas de grano en rotación con cereales. In: E. Acevedo (ed.). *Sustentabilidad de cultivos anuales: Cero labranza y manejo de rastrojos*. pp: 135-156. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago. Serie Ciencias Agronómicas N°8. 184 p
- NEARNING, M. A. 1995. Compressive strength for an aggregated and partially saturated soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:35-38.
- ORELLANA, I., A. ELLIES y O. SEGUEL. 2004. Variación de la capacidad de humectación de suelos en relación al contenido de materia orgánica. *Boletín* 20: 399-406. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Simposio Residuos Orgánicos y su Uso en Sistemas Agroforestales. Temuco, Chile.
- OSTER, J. 1995. Riego con aguas salinas. INIA Intihuasi. La Serena, Chile. 91 p.
- PAGLIAI, M. and N. VIGNOZZI. 2002. The soil pore system as a indicator of soil quality. pp: 71-82. In: M. Pagliai, and R. Jones (eds). *Sustainable land management—environmental protection. A soil physical approach*. Advances in Geocology 35. IUSS. Catena Verlag. Reiskirchen, Germany.

- SADZAWKA, A., CARRASCO, M.A., GREZ, R., MORA, M.L. 2004. Métodos de Análisis recomendados para los suelos Chilenos. CNA, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. 113 p.
- SEGUEL, O., V. GARCÍA DE CORTÁZAR y M. CASANOVA. 2003. Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. *Agricultura Técnica (Chile)* 63 (3): 287 – 297.
- SEGUEL, O. and R. HORN. 2005. Structure properties and pore dynamics in aggregate beds due to wetting and drying cycles. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169: 221-232.
- SEMMEL, H., R. HORN, A. R. DEXTER and D. E. SCHULZE. 1990. The dynamics of soil aggregate formation and the effect on soil physical properties. *Soil Technology* 3: 113–129.
- TAIZ, L. y E. ZEIGER. 2006. *Fisiología Vegetal Volumen 1*. Universitat Jaume I D. L., Colecció experimentals. Castelló de la Olana, España. 1338 p.
- TAYLOR, H. M. and G. S. BRAR. 1991. Effect of soil compaction on root development. *Soil and Tillage Research* 19: 111-119.
- TEUBER, N. y O. BALOCCHI. 2003. Recursos forrajeros en producción de leche I. Balance alimenticio con los recursos del sur. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Remehue, Osorno. Serie Actas N° 24. 12p
- TISDALL, J.M. and J. M. OADES. 1982. Organic matter and water-stable aggregates. *Journal of Soil Science* 33:141-163.
- TRÜKMANN, K., E. REINTAM, J. KUHT and V. RÄÄTS. 2006. Growing of Mugwort (*Artemisia vulgaris L.*), Canadian Thistle (*Cirsicium arvense L.*) and Yellow Lupine (*Lupinus luteus L.*) on compacted soil. pp: 362-369. In: R. Horn, H. Fleige, S. Peth and X. Peng (eds.). *Soil management for sustainability. Advances in Geocology* 38. IUSS. Catena Verlag. Reiskirchen, Germany.
- URZUA, H., L. BARRALES, H. FAIGUENBAUM, M. GALVEZ, R. ORMAZABAL y R. PIZARRO. 2003. Fertilización nitrogenada de porotos verdes para uso agroindustrial en la zona central de Chile: indicaciones preliminares. *Ciencia e Investigación Agraria* 30 (I): 57-60.
- ZHANG, B., R. HORN. and P. HALLETT. 2005. Mechanical resilience of degraded soil amended whit organic matter. *Soil Science Society of America Journal.* 69: 864-871.

Apéndice I C

Densidad Aparente

Análisis estadístico Densidad aparente superficie Tiempo 2

Análisis de varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Modelo	11	0,37670000	0,034245	5,7155
Error	24	0,14380000	0,005992	Prob > F
C. Total	35	0,52050000		0,0002*

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
Precompactación	2	2	0,15411667	12,8609	0,0002*
Cama Broiler	3	3	0,17832222	9,9206	0,0002*
Precompactación*Cama Broiler	6	6	0,04426111	1,2312	0,3254

Diferencias de LSMeans. Tukey HSD

$\alpha=0,050$ $Q=3,60563$

LSMeans[i] por LSMean [j]

Promedio[i] -	LSMeans [j]											
Promedio [j]	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
0,0	0	0,13	-0,013	0,19	-0,096	0,01	-0,05	0,06	-0,183	-0,136	-0,056	0,046
0,15		0	-0,143	0,06	-0,226	-0,12	-0,18	-0,07	-0,313	-0,266	-0,1867	-0,083
0,30			0	0,203	-0,083	0,023	-0,036	0,073	-0,17	-0,123	-0,0433	0,06
0,60				0	-0,286	-0,18	-0,24	-0,13	-0,373	-0,326	-0,246	-0,143
1,0					0	0,106	0,046	0,156	-0,086	-0,04	0,04	0,143
1,15						0	-0,06	0,05	-0,193	-0,146	-0,066	0,036
1,30							0	0,11	-0,133	-0,086	-0,006	0,096
1,60								0	-0,243	-0,196	-0,116	-0,013
2,0									0	0,046	0,126	0,23
2,15										0	0,08	0,183
2,30											0	0,103
2,60												0

Precompactación				Cama Broiler			
Nivel	Least Sq Mean			Dosis de	Least Sq Mean		
Precompactación				Cama			
0	A		1,2366667	Broiler			
30	A		1,1833333	2	A		1,2258333
15	A	B	1,1422222	1	A		1,1625000
60	B		1,0444444	0		B	1,0666667

Apéndice I D

Densidad Aparente

Análisis estadístico Densidad aparente profundidad Tiempo 2

Análisis de varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Modelo	11	0,54720833	0,049746	10,7883
Error	24	0,11066667	0,004611	Prob > F
C. Total	35	0,65787500		<,0001*

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación	2	2	0,36221667	39,2765	<,0001*
Cama Broiler	3	3	0,12727500	9,2006	0,0003*
Precompactación*Cama Broiler	6	6	0,05771667	2,0861	0,0927

Diferencias de LSMeans. Tukey HSD

$\alpha = 0,050$ $Q = 3,60563$

LSMeans[i] por LSMeans [j]

Promedio[i]	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
Promedio [j]												
0,0	0	0,26	0,2433	0,21	0	0,1433	0,1033	0,0733	0,11	0,0533	0,0967	0,0033
0,15		0	0,0167	0,05	0,26	0,1167	0,1567	0,1867	0,37	0,3133	0,3567	0,2633
0,30			0	0,0333	0,2433	0,1	0,14	0,17	0,3533	0,2967	0,34	0,2467
0,60				0	0,21	0,0667	0,1067	0,1367	0,32	0,2633	0,3067	0,2133
1,0					0	0,1433	0,10333	0,0733	0,11	0,0533	0,0967	0,0033
1,15						0	0,04	0,07	0,2533	0,1967	0,24	0,1467
1,30							0	0,03	0,2133	0,1567	0,2	0,1067
1,60								0	0,1833	0,1267	0,17	0,0767
2,0									0	0,0566	0,0133	0,1066
2,15										0	0,0433	0,05
2,30											0	0,0933
2,60												0

Precompactación			Cama Broiler		
Nivel		Media de Sq mínima	Dosis de Cama Broiler		Media de Sq mínima
2	A	1,2991667	0	A	1,2700000
1	B	1,1533333	30	B	1,1500000
0	C	1,0550000	60	B	1,1400000
			15	B	1,1166667

Apéndice II C

Número poroso

Análisis estadístico número poroso superficie Tiempo 2

Análisis e varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio	Prob > F
Modelo	11	1,5894750	0,144498	5,4476	
Error	24	0,6366000	0,026525		
C. Total	35	2,2260750			0,0003*

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación	2	2	0,67111667	12,6506	0,0002*
Cama Broiler	3	3	0,71218611	8,9499	0,0004*
Precompactación*Cama Broiler	6	6	0,20617222	1,2955	0,2969

Diferencia de LSMeans. Tukey HSD

$\alpha=0,050$ $Q=3,60563$

LSMeans[i] por LSMeans [j]

Promedio[i] - Promedio [j]	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
0,0	0	-0,283	0,08	-0,446	0,166	0,003	0,133	-0,09	0,32	0,256	0,15	-0,06
0,15		0	0,363	-0,163	0,45	0,286	0,416	0,193	0,603	0,54	0,433	0,223
0,30			0	-0,526	0,086	-0,076	0,053	-0,17	0,24	0,176	0,07	-0,14
0,60				0	0,613	0,45	0,58	0,356	0,766	0,703	0,596	0,386
1,0					0	-0,163	-0,033	-0,256	0,153	0,09	-0,016	-0,226
1,15						0	0,13	-0,093	0,316	0,253	0,146	-0,063
1,30							0	-0,223	0,186	0,123	0,016	-0,193
1,60								0	0,41	0,346	0,24	0,03
2,0									0	-0,063	-0,17	-0,38
2,15										0	-0,106	-0,316
2,30											0	-0,21
2,60												0

Precompactación				Cama Broiler			
Nivel de Precompactación		Least Sq Mean		Nivel de cama broiler		Least Sq Mean	
0	A	1,4658333		60	A	1,5022222	
1	B	1,2500000		15	A B	1,3111111	
2	B	1,1366667		30	B	1,1822222	
				0	B	1,1411111	

Apéndice II D

Número poroso

Análisis estadístico número poroso profundidad Tiempo 2

Análisis de Varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Model	11	2,1502222	0,195475	9,4585
Error	24	0,4960000	0,020667	Prob > F
C. Total	35	2,6462222		<,0001*

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación	2	2	1,4472056	35,0130	<,0001*
Cama Broiler	3	3	0,4199778	6,7738	0,0018*
Precompactación*Cama Broiler	6	6	0,2830389	2,2826	0,0695

Diferencia de LSMeans. Tukey HSD

$\alpha=0,050$ $Q=3,60563$

LSMeans[i] por LSMeans [j]

Promedio [i] - Promedio [j]	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
0,0	0	-0,556	-0,48	-0,41	-0,016	-0,266	-0,143	-0,096	0,18	0,103	0,196	0,036
0,15		0	0,076	0,146	0,54	0,29	0,413	0,46	0,736	0,66	0,753	0,593
0,30			0	0,07	0,463	0,213	0,336	0,383	0,66	0,583	0,676	0,516
0,60				0	0,393	0,143	0,266	0,313	0,59	0,513	0,606	0,446
1,0					0	-0,25	-0,126	-0,08	0,196	0,12	0,213	0,053
1,15						0	0,123	0,17	0,446	0,37	0,463	0,303
1,30							0	0,046	0,323	0,246	0,34	0,18
1,60								0	0,276	0,2	0,293	0,133
2,0									0	-0,076	0,016	-0,143
2,15										0	0,093	-0,066
2,30											0	-0,16
2,60												0

Precompactación			Cama Broiler		
Nivel de precompactación		Least Sq Mean	Nivel de Cama Broiler		Least Sq Mean
0	A	1,4983333	15	A	1,3766667
1	B	1,2675000	60	A	1,2933333
2	C	1,0075000	30	A	1,2788889
			0	B	1,0822222

Apéndice III A

Poros de drenaje rápido

Análisis estadístico PDR en superficie Tiempo 1

Análisis de Varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Modelo	11	0,03560008	0,003236	3,3015
Error	24	0,02352667	0,000980	Prob > F
C. Total	35	0,05912675		0,0070*

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación Superficie	2	2	0,01433517	7,3118	0,0033*
Cama broiler Superficie	3	3	0,01099808	3,7398	0,0246*
Precompactación *Cama broiler	6	6	0,01026683	1,7456	0,1536

Diferencia de LSMeans. Tukey HSD

$\alpha=0,050$ $Q=3,60563$

LSMeans[i] por LSMeans [j]

Promedio[i]	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
Promedio [j]												
0,0	0	-0,041	-0,075	-0,095	-0,058	-0,105	-0,103	-0,087	-0,038	-0,048	-0,026	-0,053
0,15		0	-0,034	-0,054	-0,017	-0,063	-0,061	-0,046	0,003	-0,007	0,014	-0,011
0,30			0	-0,02	0,017	-0,029	-0,027	-0,012	0,037	0,027	0,049	0,022
0,60				0	0,037	-0,009	-0,007	0,008	0,057	0,047	0,069	0,042
1,0					0	-0,046	-0,044	-0,029	0,020	0,009	0,031	0,005
1,15						0	0,002	0,017	0,067	0,056	0,078	0,052
1,30							0	0,015	0,065	0,054	0,076	0,05
1,60								0	0,049	0,039	0,061	0,034
2,0									0	-0,010	0,011	-0,015
2,15										0	0,022	-0,004
2,30											0	-0,026
2,60												0

Precompactación			Cama Broiler		
Nivel de precompactación		Least Sq Mean	Nivel de Cama Broiler		Least Sq Mean
1	A	0,25016667	60	A	0,24044444
0	B	0,21483333	30	A B	0,23011111
2	B	0,20325000	15	A B	0,22666667
			0	B	0,19377778

Apéndice III B

Poros de drenaje rápido

Análisis estadístico PDR en profundidad Tiempo 1

Análisis de varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Model	11	0,02933675	0,002667	2,7351
Error	24	0,02340200	0,000975	Prob > F
C. Total	35	0,05273875		0,0190*

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación	2	2	0,00199317	1,0220	0,3750
Cama Broiler	3	3	0,01489208	5,0909	0,0072*
Precompactación*Cama Broiler	6	6	0,01245150	2,1283	0,0871

Diferencias de LSMMeans. Tukey HSD

$\alpha=0,050$ $Q=3,60563$

LSMeans[i] por LSMMeans [j]

Promedio[i] -	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
Promedio [j]												
0,0	0	-0,033	-0,036	-0,018	-0,019	-0,009	-0,051	-0,02	0,020	-0,055	-0,043	0,045
0,15		0	-0,001	0,017	0,015	0,026	-0,016	0,015	0,056	-0,02	-0,008	0,081
0,30			0	0,018	0,016	0,027	-0,015	0,016	0,057	-0,019	-0,007	0,082
0,60				0	-0,001	0,009	-0,033	-0,001	0,039	-0,037	-0,025	0,064
1,0					0	0,010	-0,032	-0,000	0,040	-0,035	-0,024	0,065
1,15						0	-0,042	-0,011	0,029	-0,046	-0,034	0,054
1,30							0	0,031	0,072	-0,003	0,008	0,097
1,60								0	0,040	-0,035	-0,027	0,065
2,0									0	-0,076	-0,064	0,025
2,15										0	0,011	0,101
2,30											0	0,089
2,60												0

Precompactación			Cama Broiler		
Noivel de Precompactación		Least Sq Mean	Nivel de Cama Broiler		Least Sq Mean
1	A	0,22941667	30	A	0,24822222
0	A	0,22683333	15	A B	0,23755556
2	A	0,21250000	0	B	0,20400000
			60	B	0,20188889

Apéndice III C

Poros de drenaje rápido

Análisis estadístico PDR en superficie Tiempo 2

Análisis de varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Model	11	0,02105622	0,001914	1,3830
Error	24	0,03321933	0,001384	Prob > F
C. Total	35	0,05427556		0,2433

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación	2	2	0,00443872	1,6034	0,2220
Cama Broiler	3	3	0,00965422	2,3250	0,1003
Precompactación*Cama Broiler	6	6	0,00696328	0,8385	0,5526

Diferencias de LSMMeans. Tukey HSD
 $\alpha = 0,050$ $Q = 3,60563$
LSMeans[i] por LSMMeans [j]

Promedio [i]	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
Promedio [j]												
0,0	0	-0,052	-0,008	-0,059	-0,003	-0,052	-0,025	-0,015	0,012	0,006	0,001	-0,036
0,15		0	0,044	-0,007	0,049	-0,000	0,027	0,037	0,064	0,058	0,053	0,015
0,30			0	-0,051	0,005	-0,044	-0,017	-0,007	0,020	0,014	0,009	-0,023
0,60				0	0,056	0,007	0,034	0,044	0,072	0,066	0,061	0,023
1,0					0	-0,049	-0,022	-0,012	0,015	0,009	0,004	-0,033
1,15						0	0,027	0,037	0,065	0,059	0,053	0,016
1,30							0	0,01	0,037	0,031	0,026	-0,011
1,60								0	0,027	0,021	0,016	-0,021
2,0									0	-0,006	-0,011	-0,049
2,15										0	-0,005	-0,043
2,30											0	-0,037
2,60												0

Precompactación			Cama Broiler		
Nivel de Precompactación		Least Sq Mean	Nivel de Cama Broiler		Least Sq Mean
0	A	0,19958333	60	A	0,20666667
1	A	0,19350000	15	A	0,20222222
2	A	0,17358333	30	A	0,18022222
			0	A	0,16644444

Apéndice IV A

Poros de drenaje lento

Análisis estadístico PDL en superficie Tiempo 1

Análisis de varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Model	11	0,02068031	0,001880	1,4557
Error	24	0,03099600	0,001292	Prob > F
C. Total	35	0,05167631		0,2126

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación Superficie	2	2	0,00245006	0,9485	0,4014
Cama broiler Superficie	3	3	0,00824208	2,1273	0,1232
Precompactación *Cama broiler	6	6	0,00998817	1,2890	0,2996

Diferencias de LSMeans. Tukey HSD
 $\alpha = 0,050$ $Q = 3,60563$
LSMeans[i] por LSMeans [j]

Promedio[i] - Promedio [j]	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
0,0	0	0,005	0,003	0,0473	-0,030	0,012	0,000	0,022	0,052	-0,01	0,000	0,044
0,15		0	-0,002	0,041	-0,036	0,006	-0,005	0,017	0,046	-0,017	-0,005	0,038
0,30			0	0,043	-0,034	0,008	-0,003	0,019	0,048	-0,015	-0,003	0,040
0,60				0	-0,077	-0,035	-0,046	-0,024	0,004	-0,059	-0,047	-0,003
1,0					0	0,042	0,031	0,053	0,082	0,018	0,030	0,077
1,15						0	-0,011	0,010	0,04	-0,024	-0,011	0,0323
1,30							0	0,022	0,051	-0,012	-0,000	0,043
1,60								0	0,029	-0,034	-0,022	0,021
2,0									0	-0,064	-0,051	-0,007
2,15										0	0,012	0,056
2,30											0	0,044
2,60												0

Precompactación			Cama Broiler		
Nivel de Precompactación		Least Sq Mean	Nivel de Cama Broiler		Least Sq Mean
1	A	0,12008333	30	A	0,11977778
0	A	0,10716667	15	A	0,11944444
2	A	0,10016667	0	A	0,11411111
			60	A	0,08322222

Apéndice IV C

Poros de drenaje lento

Análisis estadístico PDL en superficie Tiempo 2

Análisis de varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Model	11	0,00564497	0,000513	2,7996
Error	24	0,00439933	0,000183	Prob > F
C. Total	35	0,01004431		0,0169*

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación	2	2	0,00102639	2,7997	0,0808
Cama Broiler	3	3	0,00305364	5,5529	0,0049*
Precompactación*Cama Broiler	6	6	0,00156494	1,4229	0,2469

Diferencias de LSMeans. Tukey HSD

$\alpha=0,050$ $Q=3,60563$

LSMeans[i] por LSMeans [j]

Promedio[i] -	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
Promedio [j]												
0,0	0	0,005	0,021	0,015	-0,007	0,02	0,01	0,031	-0,003	-0,009	-0,000	0,017
0,15		0	0,016	0,010	-0,012	0,015	0,005	0,026	-0,008	-0,014	-0,005	0,0126
0,30			0	-0,006	-0,029	-0,001	-0,011	0,01	-0,025	-0,031	-0,022	-0,004
0,60				0	-0,023	0,004	-0,005	0,016	-0,019	-0,025	-0,016	0,002
1,0					0	0,027	0,017	0,039	0,004	-0,002	0,007	0,025
1,15						0	-0,01	0,011	-0,023	-0,029	-0,020	-0,002
1,30							0	0,021	-0,013	-0,019	-0,010	0,007
1,60								0	-0,035	-0,041	-0,032	-0,014
2,0									0	-0,006	0,003	0,021
2,15										0	0,009	0,027
2,30											0	0,018
2,60												0

Precompactación			Cama Broiler		
Nivel de Precompactación		Least Sq Mean	Nivel de Cama Broiler		Least Sq Mean
2	A	0,09200000	0	A	0,09677778
0	A	0,08241667	15	A B	0,08788889
1	A	0,07950000	30	A B	0,08255556
			60	B	0,07133333

Apéndice V A

Poros de agua útil

Análisis estadístico PAU en superficie Tiempo 1

Análisis de varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Model	11	0,03581156	0,003256	5,3090
Error	24	0,01471733	0,000613	Prob > F
C. Total	35	0,05052889		0,0003*

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación Superficie	2	2	0,00311039	2,5361	0,1002
Cama broiler Superficie	3	3	0,02691133	14,6284	<.0001*
Precompactación *Cama broiler	6	6	0,00578983	1,5736	0,1980

Diferencias de LSMeans. Tukey HSD

$\alpha=0,050$ $Q=3,60563$

LSMeans[i] por LSMeans [j]

Promedio [i]	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
Promedio [j]												
0,0	0	0,005	0,040	-0,031	0,025	0,048	0,031	-0,047	0,017	0,008	-0,006	-0,053
0,15		0	0,034	-0,036	0,02	0,042	0,025	-0,053	0,012	0,002	-0,012	-0,058
0,30			0	-0,071	-0,014	0,007	-0,009	-0,088	-0,022	-0,032	-0,046	-0,093
0,60				0	0,056	0,079	0,062	-0,016	0,048	0,039	0,024	-0,022
1,0					0	0,022	0,005	-0,073	-0,008	-0,017	-0,032	-0,078
1,15						0	-0,016	-0,095	-0,030	-0,04	-0,054	-0,101
1,30							0	-0,079	-0,013	-0,023	-0,037	-0,084
1,60								0	0,065	0,0556	0,0413	-0,005
2,0									0	-0,009	-0,024	-0,070
2,15										0	-0,014	-0,061
2,30											0	-0,046
2,60												0

Precompactación			Cama Broiler		
Nivel de Precompactación		Least Sq Mean	Nivel de Cama Broiler		Least Sq Mean
2	A	0,21408333	60	A	0,24955556
0	A	0,20191667	0	B	0,19122222
1	A	0,19133333	15	B	0,18511111
			30	B	0,18388889

Apéndice V B

Poros de agua útil

Análisis estadístico PAU en profundidad Tiempo 1

Análisis de varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Model	11	0,04265231	0,003877	1,9002
Error	24	0,04897333	0,002041	Prob > F
C. Total	35	0,09162564		0,0914

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación	2	2	0,00364106	0,8922	0,4229
Cama Broiler	3	3	0,03187697	5,2072	0,0065*
Precompactación*Cama Broiler	6	6	0,00713428	0,5827	0,7405

Diferencias de LSMeans. Tukey HSD

$\alpha=0,050$ $Q=3,60563$

LSMeans[i] por LSMeans [j]

Promedio[i] - Promedio [j]	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
0,0	0	0,030	0,047	-0,010	0,034	0,014	0,055	-0,036	0,021	0,017	0,015	-0,072
0,15		0	0,016	-0,041	0,004	-0,016	0,025	-0,067	-0,008	-0,013	-0,015	-0,103
0,30			0	-0,057	-0,012	-0,033	0,008	-0,083	-0,025	-0,029	-0,031	-0,119
0,60				0	0,045	0,024	0,066	-0,026	0,032	0,028	0,026	-0,062
1,0					0	-0,020	0,020	-0,071	-0,013	-0,017	-0,019	-0,107
1,15						0	0,041	-0,050	0,007	0,003	0,001	-0,086
1,30							0	-0,092	-0,033	-0,038	-0,04	-0,128
1,60								0	0,058	0,054	0,052	-0,036
2,0									0	-0,004	-0,006	-0,094
2,15										0	-0,002	-0,09
2,30											0	-0,088
2,60												0

Precompactación			Cama Broiler		
Nivel de Precompactación		Least Sq Mean	Nivel de Cama Broiler		Least Sq Mean
2	A	0,22591667	60	A	0,26133333
0	A	0,20466667	0	B	0,20255556
1	A	0,20450000	15	B	0,20077778
			30	B	0,18211111

Apéndice V C

Poros de agua útil

Análisis estadístico PAU en superficie Tiempo 2

Análisis de varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Model	11	0,02153431	0,001958	1,3081
Error	24	0,03591667	0,001497	Prob > F
C. Total	35	0,05745097		0,2789

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación	2	2	0,00085439	0,2855	0,7542
Cama Broiler	3	3	0,00534831	1,1913	0,3341
Precompactación*Cama Broiler	6	6	0,01533161	1,7075	0,1625

Diferencias de LSMMeans. Tukey HSD

$\alpha=0,050$ $Q=3,60563$

LSMeans[i] por LSMMeans [j]

Promedio[i] - Promedio [j]	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
0,0	0	0,067	0,031	0,057	0,060	0,047	0,054	-0,001	0,067	0,052	0,0656	0,015
0,15		0	-0,036	-0,010	-0,007	-0,02	-0,013	-0,069	-0,000	-0,015	-0,002	-0,052
0,30			0	0,025	0,028	0,016	0,022	-0,033	0,035	0,020	0,034	-0,016
0,60				0	0,003	-0,009	-0,003	-0,058	0,01	-0,005	0,008	-0,042
1,0					0	-0,012	-0,006	-0,061	0,007	-0,008	0,005	-0,045
1,15						0	0,006	-0,049	0,019	0,004	0,018	-0,032
1,30							0	-0,055	0,013	-0,002	0,011	-0,039
1,60								0	0,068	0,053	0,067	0,016
2,0									0	-0,015	-0,001	-0,052
2,15										0	0,013	-0,037
2,30											0	-0,050
2,60												0

Precompactación			Cama Broiler		
Nivel de Precompactación		Least Sq Mean	Nivel de Cama Broiler		Least Sq Mean
0	A	0,18550000	60	A	0,20100000
1	A	0,18441667	0	A	0,18211111
2	A	0,17466667	30	A	0,17411111
			15	A	0,16888889

Apéndice V D

Poros de agua útil

Análisis estadístico PAU en profundidad Tiempo 2

Análisis de varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Model	11	0,05430567	0,004937	0,9503
Error	24	0,12467533	0,005195	Prob > F
C. Total	35	0,17898100		0,5131

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación	2	2	0,00107917	0,1039	0,9017
Cama Broiler	3	3	0,01823056	1,1698	0,3419
Precompactación*Cama Broiler	6	6	0,03499594	1,1228	0,3789

Diferencias de LSMeans. Tukey HSD

$\alpha=0,050$ $Q=3,60563$

LSMeans[i] por LSMeans [j]

Promedio[i] - Promedio [j]	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
0,0	0	0,057	0,076	0,056	0,048	0,037	0,078	0,004	0,075	0,090	0,018	-0,046
0,15		0	0,019	-0,001	-0,009	-0,02	0,020	-0,053	0,017	0,033	-0,039	-0,104
0,30			0	-0,02	-0,028	-0,039	0,001	-0,072	-0,001	0,014	-0,058	-0,123
0,60				0	-0,008	-0,019	0,021	-0,052	0,018	0,034	-0,038	-0,103
1,0					0	-0,01	0,029	-0,044	0,026	0,042	-0,030	-0,095
1,15						0	0,040	-0,033	0,037	0,053	-0,019	-0,084
1,30							0	-0,073	-0,003	0,012	-0,06	-0,125
1,60								0	0,070	0,086	0,013	-0,051
2,0									0	0,015	-0,057	-0,122
2,15										0	-0,072	-0,137
2,30											0	-0,065
2,60												0

Cama Broiler			Precompactación		
Nivel de Cama Broiler		Least Sq Mean	Nivel de precompactación		Least Sq Mean
60	A	0,22977778	2	A	0,20025000
0	A	0,19333333	1	A	0,19233333
30	A	0,17688889	0	A	0,18691667
15	A	0,17266667			

Apéndice VI A
Repelencia al agua
Análisis estadístico R en superficie

Análisis de varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Model	11	6,711646	0,610150	1,7051
Error	12	4,294050	0,357837	Prob > F
C. Total	23	11,005696		0,1863

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación	2	2	0,9606083	1,3422	0,2978
CB	3	3	1,8464792	1,7200	0,2159
Precompactación* Cama Broiler	6	6	3,9045583	1,8186	0,1779

Diferencias de LSMMeans. Tukey HSD

$\alpha = 0,050$ $Q = 3,97015$

LSMeans[i] por LSMMeans [j]

Promedio[i] -	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
Promedio [j]	0	-0,77	-0,825	-1,14	-0,015	-0,42	-0,4	0,015	-0,56	-0,1	0,19	-1,67
0,0		0	-0,055	-0,37	0,755	0,35	0,37	0,785	0,21	0,67	0,96	-0,9
0,15			0	-0,315	0,81	0,405	0,425	0,84	0,265	0,725	1,015	-0,845
0,30				0	1,125	0,72	0,74	1,155	0,58	1,04	1,33	-0,53
0,60					0	-0,405	-0,385	0,03	-0,545	-0,085	0,205	-1,655
1,0						0	0,02	0,435	-0,14	0,32	0,61	-1,25
1,15							0	0,415	-0,16	0,3	0,59	-1,27
1,30								0	-0,575	-0,115	0,175	-1,685
1,60									0	0,46	0,75	-1,11
2,0										0	0,29	-1,57
2,15											0	-1,86
2,30												0
2,60												

Precompactación			Cama Broiler		
Nivel de Precompactación		Least Sq Mean	Nivel de Cama Broiler		Least Sq Mean
0	A	2,5387500	60	A	2,7866667
2	A	2,3900000	15	A	2,2850000
1	A	2,0600000	30	A	2,2000000
			0	A	2,0466667

Apéndice VI B

Repelencia al agua

Análisis estadístico del factor R en profundidad

Análisis de varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Model	11	6,711646	0,610150	1,7051
Error	12	4,294050	0,357837	Prob > F
C. Total	23	11,005696		0,1863

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación	2	2	0,9606083	1,3422	0,2978
CB	3	3	1,8464792	1,7200	0,2159
Precompactación* Cama Broiler	6	6	3,9045583	1,8186	0,1779

Diferencias de LSMeans. Tukey HSD

$\alpha=0,050$ $Q=3,97015$

LSMeans[i] por LSMeans [j]

Promedio[i] -	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
Promedio [j]												
0,0	0	-0,77	-0,825	-1,14	-0,015	-0,42	-0,4	0,015	-0,56	-0,1	0,19	-1,67
0,15		0	-0,055	-0,37	0,755	0,35	0,37	0,785	0,21	0,67	0,96	-0,9
0,30			0	-0,315	0,81	0,405	0,425	0,84	0,265	0,725	1,015	-0,845
0,60				0	1,125	0,72	0,74	1,155	0,58	1,04	1,33	-0,53
1,0					0	-0,405	-0,385	0,03	-0,545	-0,085	0,205	-1,655
1,15						0	0,02	0,435	-0,14	0,32	0,61	-1,25
1,30							0	0,415	-0,16	0,3	0,59	-1,27
1,60								0	-0,575	-0,115	0,175	-1,685
2,0									0	0,46	0,75	-1,11
2,15										0	0,29	-1,57
2,30											0	-1,86
2,60												0

Precompactación			Cama Broiler		
Nivel de Precompactación		Least Sq Mean	Nivel de Cama Broiler		Least Sq Mean
0	A	2,5387500	60	A	2,7866667
2	A	2,3900000	15	A	2,2850000
1	A	2,0600000	30	A	2,2000000
			0	A	2,0466667

Apéndice VII

Estabilidad de agregados

Análisis estadístico de la estabilidad de agregados

Análisis de varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Model	11	27952,782	2541,16	26,7746
Error	24	2277,825	94,91	Prob > F
C. Total	35	30230,607		<,0001*

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación	2	2	714,163	3,7623	0,0379*
Cama Broiler	3	3	26175,834	91,9327	<,0001*
Precompactación*Cama Broiler	6	6	1062,785	1,8663	0,1284

Diferencias de LSMeans. Tukey HSD

$\alpha=0,050$ $Q=3,60563$

LSMeans[i] por LSMeans [j]

Promedio[i] - Promedio [j]	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
0,0	0	42,03	67,1	65	4,7	16,86	66,73	60,05	4,4	40,43	68,53	78,36
0,15		0	25,06	22,96	37,33	25,16	24,7	18,01	37,63	1,6	26,5	36,33
0,30			0	2,1	62,4	50,23	0,366	7,05	62,7	26,66	1,433	11,26
0,60				0	60,3	48,13	1,733	4,95	60,6	24,56	3,533	13,36
1,0					0	12,16	62,03	55,35	0,3	35,73	63,83	73,66
1,15						0	49,86	43,18	12,46	23,56	51,66	61,5
1,30							0	6,683	62,33	26,3	1,8	11,63
1,60								0	55,65	19,61	8,483	18,31
2,0									0	36,03	64,13	73,96
2,15										0	28,1	37,93
2,30											0	9,833
2,60												0

Precompactación			Cama Broiler		
Nivel de Precompactación		Least Sq Mean	Nivel de Cama Broiler		Least Sq Mean
1	A	47,212500	0	A	81,266667
0	A B	40,766667	15	B	51,188889
2	B	36,366667	30	C	16,844444
			60	C	16,494444

Apéndice IX A

Rendimiento Materia Seca

Análisis estadístico de rendimiento MS Tiempo 1.

Análisis de varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Model	11	741,6800	67,4255	3,5989
Error	24	449,6400	18,7350	Prob > F
C. Total	35	1191,3200		0,0042*

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación	2	2	80,03167	2,1359	0,1401
Cama Broiler	3	3	514,98444	9,1626	0,0003*
Precompactación*Cama Broiler	6	6	146,66389	1,3047	0,2929

Diferencias de LSMMeans. Tukey HSD

$\alpha=0,050$ $Q=3,60563$

LSMeans[i] por LSMMeans [j]

Mean[i] - Mean[j]	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
0,0	0	-7,8	-10,2	-8,033	-1,8	-8,966	-9,9	-1,1	1,266	-9,866	-5,266	2,066
0,15		0	-2,4	-0,233	6	-1,166	-2,1	6,7	9,066	-2,066	2,533	9,866
0,30			0	2,166	8,4	1,233	0,3	9,1	11,466	0,333	4,933	12,266
0,60				0	6,233	-0,933	-1,866	6,933	9,3	-1,833	2,766	10,1
1,0					0	-7,166	-8,1	0,7	3,066	-8,066	-3,466	3,866
1,15						0	-0,933	7,866	10,233	-0,9	3,7	11,033
1,30							0	8,8	11,166	0,033	4,633	11,966
1,60								0	2,366	-8,766	-4,166	3,166
2,0									0	-11,133	-6,533	0,8
2,15										0	4,6	11,933
2,30											0	7,333
2,60												0

Precompactación			Cama Broiler		
Nivel		Least Sq Mean	Nivel		Least Sq Mean
0	A	17,608333	15	A	19,977778
1	A	16,541667	30	A	19,555556
2	A	14,050000	60	B	13,455556
			0	B	11,277778

Apéndice X

Número de vainas de desecho

Análisis estadístico de N° vainas de desecho

Análisis de varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Model	11	2314,5556	210,414	2,9555
Error	24	1708,6667	71,194	Prob > F
C. Total	35	4023,2222		0,0128*

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación	2	2	572,7222	4,0222	0,0312*
Cama Broiler	3	3	1314,7778	6,1558	0,0030*
Precompactación*Cama Broiler	6	6	427,0556	0,9997	0,4482

Diferencias de LSMeans. Tukey HSD

$\alpha=0,050$ $Q=3,60563$

LSMeans[i] por LSMeans [j]

Mean[i] - Mean[j]	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
0,0	0	-25	-8,666	-8,666	-13,667	-19,333	-10,667	-2,666	0,666	-10,333	-4,333	3,333
0,15		0	16,333	16,333	11,333	5,666	14,333	22,333	25,666	14,666	20,666	28,333
0,30			0	-4e-15	-5	-10,667	-2	6	9,333	-1,666	4,333	12
0,60				0	-5	-10,667	-2	6	9,333	-1,666	4,333	12
1,0					0	-5,666	3	11	14,333	3,333	9,333	17
1,15						0	8,666	16,666	20	9	15	22,666
1,30							0	8	11,333	0,333	6,333	14
1,60								0	3,333	-7,666	-1,666	6
2,0									0	-11	-5	2,666
2,15										0	6	13,666
2,30											0	7,666
2,60												0

Precompactación			Cama Broiler		
Nivel		Least Sq Mean	Level		Least Sq Mean
1	A	24,583333	15	A	31,222222
0	A B	23,583333	30	A B	20,888889
2	B	15,666667	0	B	17,333333
			60	B	15,666667

Apéndice XII

Rendimiento Ton ha⁻¹

Análisis estadístico de rendimiento vainas útiles

Análisis de varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F Ratio
Model	11	656,8816	59,7165	1,8721
Error	24	765,5477	31,8978	Prob > F
C. Total	35	1422,4293		0,0964

Prueba de efecto

Fuente	Nparm	DF	Suma de cuadrados	F Ratio	Prob > F
Precompactación	2	2	265,18222	4,1567	0,0282*
Cama Broiler	3	3	48,39112	0,5057	0,6820
Precompactación*Cama Broiler	6	6	343,30827	1,7938	0,1430

Diferencias de LSMeans. Tukey HSD

$\alpha = 0,050$ $Q = 3,60563$

LSMeans[i] por LSMeans [j]

Mean[i] - Mean[j]	0,0	0,15	0,30	0,60	1,0	1,15	1,30	1,60	2,0	2,15	2,30	2,60
0,0	0	-1,576	-3,696	-5,256	-8,266	-16,663	-2,826	-7,75	-3,436	-2,746	-7,063	-1,866
0,15		0	-2,12	-3,68	-6,69	-15,087	-1,25	-6,173	-1,86	-1,17	-5,486	-0,29
0,30			0	-1,56	-4,57	-12,967	0,87	-4,053	0,26	0,95	-3,366	1,83
0,60				0	-3,01	-11,407	2,43	-2,493	1,82	2,51	-1,806	3,39
1,0					0	-8,396	5,44	0,516	4,83	5,52	1,203	6,4
1,15						0	13,836	8,913	13,226	13,916	9,6	14,796
1,30							0	-4,923	-0,61	0,08	-4,236	0,96
1,60								0	4,313	5,003	0,686	5,883
2,0									0	0,69	-3,626	1,57
2,15										0	-4,316	0,88
2,30											0	5,196
2,60												0

Precompactación			Cama Broiler		
Nivel		Least Sq Mean	Nivel		Least Sq Mean
1	A	15,200000	15	A	13,318889
2	A B	10,101667	60	A	11,281111
0	B	8,955833	30	A	10,852222
			0	A	10,224444

ANEXO I

Comportamiento de rendimiento del cultivo de *Phaseolus vulgaris* condicionado por el nivel de salinidad en la zona de raíces (Adaptado de Oster, 1995).

Cultivo	100% Rendimiento	85% Rendimiento	70% Rendimiento	40% Rendimiento
Phaseolus vulgaris	1 dS/m	1,8 dS/m	2,6 dS/m	4,2 dS/m

ANEXO II

Interpretación de Análisis Químico de Suelos		
Categoría de disponibilidad de nutrientes		
Nutriente	Rango	Categoría
pH en Agua suspensión 1:2,2 y determinación potenciométrica	menor o igual a 4,5	Extremadamente ácido
	4,6 – 5,0	Muy Fuertemente ácido
	5,1 – 5,5	Fuertemente ácido
	5,6 – 5,9	Moderadamente ácido
	6,0 – 6,5	Ligeramente ácido
	6,6 – 7,3	Neutro
	7,4 – 7,8	Ligeramente alcalino
	7,9 – 8,4	Moderadamente alcalino
	8,5 – 9,0	Fuertemente alcalino
	mayor a 9,0	Muy fuertemente alcalino
Nitrógeno disp. mg/kg Determinado por inyección de flujo	0 – 10,0	Muy Bajo
	11 – 20,0	Bajo
	21 – 35	Medio
	36 – 80	Alto
	mas de 81	Muy Alto
Potasio disponible mg/kg Acetato de amonio 1,0 M determinación EEA	menor o igual a 50	Muy Bajo
	50,1 - 100	Bajo
	100,1 - 180	Medio
	180,1 - 250	Alto
	igual o mayor a 250	Muy Alto
Fósforo Olsen mg/kg Extracción con bicarbonato de sodio 0,5M pH 8,5	menor o 5,0	Muy Bajo
	5,1 – 10,0	Bajo
	10,1– 20,0	Medio
	20,1– 30,0	Alto
	igual o mayor a 30,1	Muy Alto

Fuente: INIA, 2010