

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



**EFFECTO DE LA APLICACIÓN SUCESIVA DE LODOS PROVENIENTES DE LA
INDUSTRIA DE CELULOSA SOBRE UNA PRADERA DE *Lolium perenne* L. Y EL
CONTENIDO DE FÓSFORO EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA.**

Tesis presentada a la Facultad de
Ciencias Agropecuarias y Forestales de
la Universidad de La Frontera como
parte de los requisitos para optar al
título de Ingeniero Agrónomo.

CRISTÓBAL RENÉ OYARCE ANGUITA

TEMUCO-CHILE

2011

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



**EFFECTO DE LA APLICACIÓN SUCESIVA DE LODOS PROVENIENTES DE LA
INDUSTRIA DE CELULOSA SOBRE UNA PRADERA DE *Lolium perenne* L. Y EL
CONTENIDO DE FÓSFORO EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA.**

Tesis presentada a la Facultad de
Ciencias Agropecuarias y Forestales de
la Universidad de La Frontera como
parte de los requisitos para optar al
título de Ingeniero Agrónomo.

CRISTÓBAL RENÉ OYARCE ANGUITA
PROFESOR GUÍA: FELIPE GALLARDO ARRIAGADA
TEMUCO-CHILE

2011

**EFECTO DE LA APLICACIÓN SUCESIVA DE LODOS PROVENIENTES DE LA
INDUSTRIA DE CELULOSA SOBRE UNA PRADERA DE *Lolium perenne* L. Y EL
CONTENIDO DE FÓSFORO EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA.**

PROFESOR GUÍA:

FELIPE GALLARDO ARRIAGADA
QUÍMICO LABORATORISTA, MSc.
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

PROFESOR CONSEJERO:

ROLANDO DEMANET FILIPPI
INGENIERO AGRÓNOMO
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

CALIFICACIÓN PROMEDIO:

AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, quisiera agradecer a mis padres, **Claudio y Verónica**, que gracias a su esfuerzo, me dieron la oportunidad de crecer como persona y obtener un título profesional. Me enseñaron que nada es imposible, y que con esfuerzo y perseverancia, se puede lograr el éxito en la vida.*

*A mis hermanos **Felipe y Bárbara**, que estuvieron siempre conmigo.*

*A ti **Alejandra**, por tu amor incondicional y compañía.*

*A la **Cote**, por la paciencia de enseñarme el trabajo en el laboratorio.*

*Al proyecto FONDECYT 1080427, que financió este trabajo y a mi profesor guía, Don **Felipe Gallardo Arriagada**.*

Al Centro Agronómico de Investigación y Desarrollo (CAID) del Departamento de Ciencias Químicas y Recursos Naturales, Universidad de La Frontera por otorgar información.

A todos ellos, MUCHAS GRACIAS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Hipótesis.....	2
1.2 Objetivo general	2
1.3 Objetivos específicos.....	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Industria de celulosa.....	4
2.1.1 Características intrínsecas de los lodos.....	3
2.1.2 Aporte de Macro y Micronutrientes del lodo al suelo.....	4
2.1.3 Fósforo presente en el lodo.....	4
2.1.4 Comportamiento del suelo con la aplicación de lodos	5
2.1.5 Limitaciones del uso de lodo en el suelo	6
2.1.6 Aspectos generales de la aplicación de lodos en la agricultura.....	7
2.2 Suelo como factor principal en la agricultura	8
2.2.1 Tipos de suelo	8
2.2.2 Características del suelo Andisol.....	9
2.3 Comportamiento del Fósforo en el suelo	9
2.3.1 Formas de Fósforo en el suelo	10
2.3.2 Disponibilidad de Fósforo en el suelo	11
2.3.3 Incidencia del Fósforo en la producción vegetal	12
2.4 Ballica perenne (<i>Lolium perenne</i> L.).....	12
2.4.1 Descripción de la variedad (<i>Lolium perenne</i> var. Banquet).....	13
2.4.2 Requerimientos de la variedad (<i>Lolium perenne</i> var. Banquet).....	13

3. MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1 Materiales.....	14
3.1.1 Lodo aplicado.....	14
3.1.2 Suelo utilizado.....	15
3.1.3 Especie vegetal.....	15
3.2 Diseño experimental.....	15
3.2.1 Ubicación del ensayo en campo	15
3.2.2 Parcelas del estudio	16
3.2.3 Dosis de lodo aplicado	16
3.2.4 Siembra de la ballica perenne (<i>Lolium perenne</i> var. Banquet)	16
3.3 Metodología	17
3.3.1 Extracción de muestras en campo.....	17
3.3.1.1 Muestras de suelo	17
3.3.1.2 Muestras foliares	18
3.3.2 Análisis químicos	18
3.3.2.1 Determinación de P-Olsen.....	18
3.3.2.2 Determinación de P foliar.....	19
3.4 Análisis estadístico	20
3.5 Parámetros productivos de la ballica perenne.....	20
3.5.1 Producción de materia seca de la ballica perenne	21
3.5.2 Conteo de macollos	21
3.5.3 Point Quadrat	22
3.5.4 Composición botánica	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1 Caracterización química del suelo serie Freire y lodo.	23

4.2 Efecto de la aplicación sucesiva de lodo sobre el contenido de P-Olsen en el suelo.....	25
4.3 Efecto de la aplicación sucesiva de lodo sobre el contenido de P a nivel foliar de la ballica perenne (<i>Lolium perenne</i> L. var Banquet).	29
4.4 Producción de materia seca de ballica perenne (<i>Lolium perenne</i> L. var Banquet) según aplicación y corte realizado.....	34
4.5 Efecto de la aplicación de lodo sobre la producción acumulada de materia seca de la ballica perenne (<i>Lolium perenne</i> L. var Banquet).	38
4.6 Efecto de la aplicación de lodo sobre el número de macollos/m ² de la ballica perenne (<i>Lolium perenne</i> L. var Banquet).	41
4.7 Efecto de la aplicación de lodo sobre la cobertura de la ballica perenne (<i>Lolium perenne</i> L. var Banquet) sobre la pradera.	44
4.8 Efecto de la aplicación de lodo sobre la composición botánica de la ballica perenne (<i>Lolium perenne</i> L. var Banquet) sobre la pradera.	48
5. CONCLUSIONES.....	52
6. RESUMEN.....	53
7. SUMMARY	54
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
9. ANEXOS	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 4.1: Caracterización química del suelo serie Freire y del lodo proveniente de la industria de la celulosa.**¡Error! Marcador no definido.**

Cuadro 4.2: Precipitación acumulada expresada en (mm) durante el periodo de Agosto del 2009 a Agosto del 2010.**¡Error! Marcador no definido.**

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 3.1:** Lodo aplicado proveniente de la industria de celulosa.; **Error! Marcador no definido.**
- Figura 3.2:** Ballica perenne (*Lolium perenne* L. var. Banquet) en campo. ; **Error! Marcador no definido.**
- Figura 3.3:** Parcelas en el campo.....; **Error! Marcador no definido.**
- Figura 3.4:** Muestreo de suelo con barreno geológico. 17
- Figura 3.5:** Corte realizado con el método del cuadrante.....; **Error! Marcador no definido.8**
- Figura 3.6:** Macollos de la ballica perenne (*Lolium perenne* var. Banquet); **Error! Marcador no definido.1**
- Figura 3.7:** Separación entre ballica perenne (*Lolium perenne* var. Banquet) y especies residentes. ; **Error! Marcador no definido.2**
- Figura 4.1:** Efecto de la aplicación sucesiva de lodo en diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha) sobre el nivel de P-Olsen expresado en (mg/kg) presente en los primeros 20 cm del suelo. *Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$).*; **Error! Marcador no definido.5**
- Figura 4.2:** Efecto de dos aplicaciones sucesivas de lodos en diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha), correspondiente a la primera y segunda aplicación, sobre el nivel de P foliar expresado en (%) en la ballica perenne, detallado por el mes en que se extrajo la muestra. *Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$).*; **Error! Marcador no definido.29**
- Figura 4.3:** Efecto de dos aplicaciones sucesivas de lodos en diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha), correspondiente a la tercera y cuarta aplicación, sobre el nivel de P foliar expresado en (%) en la ballica perenne, detallado por el mes en que se extrajo la muestra. *Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$).*; **Error! Marcador no definido.1**
- Figura 4.11:** Efecto de dos aplicaciones sucesivas de lodos en diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha), correspondiente a la primera y segunda aplicación, sobre la producción de materia seca expresada en ton MS/ha, detallado por mes de corte. *Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$).*; **Error! Marcador no definido.4**

Figura 4.12: Efecto de dos aplicaciones sucesivas de lodos en diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha), correspondiente a la tercera y cuarta aplicación, sobre la producción de materia seca expresada en ton MS/ha, detallado por mes de corte. *Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$).* **¡Error! Marcador no definido.**6

Figura 4.13: Efecto de la aplicación sucesiva de lodos en diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha) sobre la producción acumulada de materia seca desde la primera aplicación hasta la cuarta aplicación de lodo expresada en ton MS/ha. *Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$).*..... 38

Figura 4.14: Efecto de la aplicación sucesiva de lodo sobre el número de macollos/m² en la ballica perenne según las diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha) aplicado al suelo en dos fechas distintas, 19 de Abril del 2010 (a) y 3 de Septiembre del 2010 (b)..... **¡Error! Marcador no definido.**1

Figura 4.15: Efecto de la aplicación sucesiva de lodo sobre el porcentaje (%) de cobertura de la ballica perenne, según las diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha), en comparación con el suelo y otras especies vegetales presentes, referente a las dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha) de lodo aplicado al suelo, analizado el 19 de Abril del 2010. **¡Error! Marcador no definido.**4

Figura 4.16: Efecto de la aplicación sucesiva de lodo sobre el porcentaje (%) de cobertura de la ballica perenne, según las diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha), en comparación con el suelo y otras especies vegetales presentes, referente a las dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha) de lodo aplicado al suelo, analizado el 3 de Septiembre del 2010. **¡Error! Marcador no definido.**6

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El sector forestal se ha convertido en uno de los pilares fundamentales en la economía de nuestro país, aportando grandes cantidades de ingresos monetarios, debido a las exportaciones que se realizan. Asimismo, el principal producto forestal elaborado y exportado en Chile es la celulosa, existiendo 12 plantas cuyo modelo de tratamiento principal es de tipo Kraft. Este último es un proceso biológico en la cual se extrae una gran cantidad de materia orgánica, donde se elabora la celulosa, produciéndose residuos industriales llamados lodos, los cuales generalmente se disponen en un relleno de seguridad o también llamado *landfill*, ya que no poseen un uso aparente.

Según Bettioli y Santos (2001) el uso de este tipo de residuos está altamente recomendado en la agricultura, ya que contiene materia orgánica y es rico en macro y micronutrientes. Además, modifica la estructura del suelo y favorece la acción de microorganismos presentes en él, por lo que puede ser utilizado como un indicador de calidad del suelo. Otro de los parámetros que se destaca con la aplicación de los lodos, es el aumento en el pH del suelo siendo un aspecto importante en el sur de Chile, debido a la acidez que presentan por ser suelos volcánicos en transición.

Dentro de los macronutrientes esenciales que posee el lodo se encuentra el Fósforo (P), cuyas concentraciones varían según el tratamiento en que es sometido el residuo. El P es un nutriente indispensable en el crecimiento y reproducción de las plantas, ya que ayuda a almacenar y transferir energía en el proceso de fotosíntesis. A la vez, es un componente esencial del material genético de todas las células: ADN y ARN.

El P en el suelo se presenta principalmente en forma orgánica, estado en el cual la planta no puede absorberlo. Para que la planta pueda utilizarlo, el P es mineralizado por los microorganismos presentes, dejando el P en estado inorgánico.

El P soluble o disponible, es la fracción aprovechable por la planta que se encuentra en la solución del suelo. Las formas inorgánicas en que el P es absorbido por la planta es como iones Fosfatos (HPO_4^- ; H_2PO_4^-). Además, está el P intercambiable o también llamado fósforo lábil, el cual posee una menor capacidad de absorción, debido al proceso de adsorción de los fosfatos con los agregados del suelo. Por último existe el P insoluble, aquel que no es aprovechable por la planta, ya que se pierde por adsorción con los coloides del suelo o en menor grado por lixiviación a estratas profundas.

HIPÓTESIS

La incorporación sucesiva de lodo proveniente de la industria de la celulosa posee un efecto significativo en el suelo, al incrementar los niveles de P en el sistema suelo-planta en una pradera de *Lolium perenne* L., mejorando la productividad vegetal.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la aplicación sucesiva de lodo proveniente de la industria de celulosa en un Andisol serie Freire sobre el contenido de P en el sistema suelo-planta y la productividad en una pradera de *Lolium perenne* L.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la disponibilidad de P en un suelo Andisol serie Freire.
- Evaluar el contenido de P a nivel foliar en una pradera de *Lolium perenne* L.
- Evaluar el efecto de la aplicación sucesiva de lodo proveniente de la industria de celulosa sobre la productividad de una pradera de *Lolium perenne* L.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN

BIBLIOGRÁFICA

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Industria de la celulosa

El sector forestal genera grandes divisas al PIB nacional, aportando también en las exportaciones que realiza el país. Según datos de CORMA (Corporación Chilena de la Madera) del 2007, el sector forestal participa con un 3,3 % del PIB nacional y en un 6,7 % de las exportaciones totales con US\$ 3897 millones.

El producto forestal que abarca la mayor parte del mercado nacional para exportación es la celulosa. Nuestro país ocupa el cuarto lugar como exportador mundial de este “commodity”, ocupando el 47,5 % del total nacional, seguido muy de lejos por papeles y cartones con un 14,2 % (CORMA, 2009).

Existen dos procesos de fabricación de celulosa: el mecanizado y el de tipo Kraft. En nuestro país, existen 13 industrias de celulosa ubicadas en el sur, de las cuáles 9 utilizan el proceso Kraft y 4 realizan el proceso mecánico (Xavier, 2006). Para poder producir la pulpa, se debe separar los compuestos no-celulósicos de la materia prima, en el cual el proceso Kraft es el más eficiente, separando el 90-95 % de lignina, siendo el más utilizado entre los dos (Altesor *et al.*, 2008).

2.1.1 Características intrínsecas de los lodos

El proceso de fabricación de celulosa genera grandes cantidades de residuos orgánicos heterogéneos, donde su composición está relacionada con la materia prima utilizada y el tipo de elaboración con que se realice.

Este tipo de sustancias contiene materias orgánicas como la celulosa, lignina y microorganismos, así como sustancias inorgánicas como nitrógeno, fósforo, potasio, limo, arcilla, carbonato de calcio y metales (Zhang *et al.*, 2004). Gallardo *et al.* (2010), realizó un estudio donde se aplicó

lodo proveniente del proceso de celulosa Kraft en dos suelos, un Andisol serie Gorbea y un Ultisol serie Collipulli, ambos ubicados en el sur de Chile, donde el lodo poseía un 76 % de materia orgánica.

En general, los lodos presentan un contenido de sólidos en un rango de 1-20 % dependiendo del tratamiento en que son sometidos los desechos de la celulosa y de las características intrínsecas del efluente original. Están constituidos por un 70 % de materia orgánica, un 30 % de material inorgánico y nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de un vegetal, en un rango de 5-15 % (Gallardo *et al.*, 2007).

2.1.2 Aporte de Macro y Micronutrientes del lodo al suelo

Los lodos poseen altos niveles de macronutrientes (N, P y K) y micronutrientes (B, Cu, Ni, Zn, Mn, S), los que son esenciales para completar los requerimientos nutricionales de las plantas. Además poseen bajas concentraciones de metales trazas y contaminantes orgánicos (Gallardo *et al.*, 2007). En un estudio publicado por Gallardo *et al.* (2010), se evaluó el uso de lodos proveniente de la industria de la celulosa sobre los parámetros biológicos en un suelo de origen volcánico, dentro de los macronutrientes, se presentó una cantidad significativa de Nitrógeno (586 mg kg^{-1}), Fósforo (313 mg kg^{-1}) y una menor cantidad de Potasio ($3,62 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$). Dentro de los micronutrientes, el estudio presentó un alto contenido de Zinc (376 mg kg^{-1}), Manganeso (111 mg kg^{-1}) y Suma de Total de Bases ($86 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$).

2.1.3 Fósforo presente en el lodo

El lodo presenta un alto contenido de P, el cual es expresado como P total. Gallardo *et al.*, (2010) evaluaron los parámetros biológicos de suelos de origen volcánico utilizando lodos provenientes de la industria de la celulosa, se utilizaron 2 tipos de suelo: un Andisol que pertenece a la serie Gorbea (Mesic, Typic Hapludands) y un Ultisol que pertenece a la serie Collipulli (Typics Rhodoxeralfs), donde tenían un contenido de P total (mg kg^{-1}) de 11,53 y 10,20 respectivamente, y el P total (mg kg^{-1}) presente en el lodo fue de 313, donde el muestreo se realizó a 20 cm de

profundidad. Por lo tanto, se puede observar que, frente al contenido de P presente en los 2 suelos mencionados, existe una gran cantidad de este mineral en el lodo, siendo una atractiva forma de adicionarlo a suelos con déficit de este nutriente.

Cabe destacar que el P del lodo está expresado como P total, por lo tanto está presente en formas donde la planta no puede absorberlo directamente, ya que la mayor parte es P orgánico, el cual debe ser mineralizado por los microorganismos del suelo previo a la absorción de las raíces de la planta.

2.1.4 Comportamiento del suelo con la aplicación de lodos

Según lo antes mencionado, los lodos provenientes de la industria de la celulosa poseen altos contenidos de macro y micronutrientes. Asimismo, la aplicación de éstos residuos conduce a un aumento en la materia orgánica del suelo (Rato Nunes *et al.*, 2008), además de un incremento en la actividad microbiológica del mismo (Sánchez-Monedero *et al.*, 2008).

Con la aplicación de lodo al suelo, se generan una serie de modificaciones que conllevan a un cambio positivo en las cualidades del mismo. Entre ellos está el incremento de la capacidad de retención de agua y nutrientes en el interior del suelo, disminuye la acidificación del suelo con una consecuente disminución de % saturación de Al y un incremento en la disponibilidad de P, además de incrementar la penetración radicular de las plantas y mejora la textura y estructura de los suelos (Aravena *et al.*, 2007; Gallardo *et al.*, 2007; Rato Nunes *et al.*, 2008). Además, podría ser utilizado como una forma de renovación parcial en el tiempo de fertilizantes químicos costosos (Aravena *et al.*, 2007; Gallardo *et al.*, 2007).

La aplicación de lodo aumenta el pH del suelo, disminuyendo la toxicidad de las plantas por una menor absorción de Al^{+3} . Esto debido a que existe una menor cantidad de dicho metal disponible al elevar el pH, lo que se traduce en una mayor productividad del suelo. Además, es una buena alternativa para nuestro país, considerando que Chile presenta un 46 % de suelos erosionados o degradados en tres niveles: seria, moderada y suave (Aravena *et al.*, 2007).

Mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, incrementando la producción vegetal. Según un estudio publicado por Gallardo *et al.* (2007), el aumento de las dosis aplicadas de lodo proveniente de la industria de celulosa Kraft al suelo (25-75 ton/ha) provocó un incremento en la biomasa vegetal, tanto en las raíces como en la parte aérea de la planta, comparado con el con testigo.

La biomasa microbiana es un componente importante de la actividad biológica del suelo. Además, es frecuentemente utilizada como un indicador de cambios producidos en el suelo, variando según el manejo que se le dé y a diversos stress ambiental que pueda estar expuesto en el ecosistema agrícola (Gallardo *et al.*, 2010). Al aplicar lodos de una planta de tratamiento al suelo, causa alteraciones en la estructura y en su funcionamiento biológico. Según Pontes (2002), los microorganismos responsables de la descomposición y la mineralización de la materia orgánica del suelo usan parte de los compuestos presentes en el lodo como fuentes de nutrientes y energía para su formación de biomasa microbiana. Cabe destacar que el comportamiento de la población microbiana depende de la calidad y la cantidad de lodos que se agreguen al suelo (Fernandes *et al.*, 2005).

La respiración, el cociente metabólico y la actividad enzimática son indicadores para medir la actividad biológica del suelo. Además, son parámetros para analizar las modificaciones que ocurren debido a la incorporación de residuos de plantas y animales, el manejo, la cantidad de contaminantes que presente el suelo (Wardle and Ghani, 1995), y para evaluar el efecto de la aplicación de lodos provenientes de plantas de tratamiento (Moreno *et al.*, 2001). Por otro lado, el carbono biomásico es considerado un método representativo para estimar la entidad funcional de un suelo y, además, juega un rol importante en los ciclos de nutrientes y la transformación de la materia orgánica (Hojati and Nourbakhsh, 2006). La actividad FDA representa una estimación de la actividad microbiana, mostrando la capacidad hidrolítica del suelo para la descomposición de la materia orgánica (Sánchez-Monedero *et al.*, 2008).

2.1.5 Limitaciones del uso de lodo en el suelo

Los lodos pueden contener metales pesados e iones orgánicos tales como B, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Hg, Ag y Zn en bajas concentraciones, siendo algunos de ellos micronutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de una planta. En el caso de los metales pesados, son considerados contaminantes del suelo debido a su presencia generalizada en éste, y provocando en las plantas efectos tóxicos crónicos y agudos al ser absorbidos por ellas (Yadav, 2010). Debido a esto, las aplicaciones de lodos al suelo deben ser controladas y así evitar daños irreversibles en la planta. Por lo tanto, una de las principales consideraciones para utilizar el lodo es la concentración de metales pesados, ya que constituye un daño para el crecimiento y desarrollo de los cultivos y en el caso del Cd ingresar a la cadena alimenticia (Bonomelli *et al.*, 2003). En un estudio realizado por John *et al.* (2009), se evaluó el crecimiento de la planta, la concentración de pigmentos, parámetros bioquímicos y absorción de metales pesados de *Brassica juncea* L. Los resultados demostraron que la absorción de metales pesados como el Cd y el Pb disminuyeron el crecimiento y pigmentación de la planta. En lugares con menor cantidad de metales pesados, hubo un incremento en el contenido de proteínas y prolina pero en lugares con mayor cantidad de metales pesados, se observó una disminución.

2.1.6 Aspectos generales de la aplicación de lodos en la agricultura

Un ejemplo de aplicación en la agricultura de desechos orgánicos es el uso de lodos provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales, siendo altamente recomendado, ya que contiene materia orgánica y posee una gran cantidad de macro y micronutrientes (Bettiol and Santos, 2001).

El pH del suelo influye en gran medida la disponibilidad tanto de micronutrientes como de macronutrientes, y por lo tanto, la aplicación del lodo influye indirectamente en la disponibilidad tanto del contenido natural de nutrientes presentes en el suelo como los incorporados mediante fertilizantes inorgánicos (Krogstad *et al.*, 2005).

Krogstad *et al.* (2005) concluyó que al incorporar lodo inoculado con cloruro de hierro a un suelo de origen glacial incrementó el pH, debido al alto pH que tenía el lodo. Por otro lado, utilizando

lodos con igual o mayor cantidad de Fe y Al que el suelo, el pH de éste disminuyó. Probablemente esto se debió a la formación de hidróxidos de Fe y Al en el suelo como resultados del consumo de iones OH⁻.

La aplicación de lodos a suelos agrícolas degradados presenta grandes ventajas, ya que aumenta productividad del suelo debido a un aumento en el pH, aumenta la materia orgánica y aporta en la disponibilidad de nutrientes esenciales para la planta como N, P y K (Gallardo *et al.*, 2007). Sin embargo, la aplicación debe ser controlada, ya que grandes cantidades pueden afectar la densidad aparente del suelo y sus propiedades hidráulicas (Goyal *et al.*, 1999).

Por otro lado, la aplicación debe ser medida debido a la respuesta de la especie vegetal con el lodo. En un estudio publicado por Gallardo *et al.* (2010), se evaluó la fitotoxicidad del lodo mediante la prueba de germinación de especies como el trébol blanco (*Trifolium repens* L.), trébol rosado (*Trifolium pratense* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.) y ballica perenne (*Lolium perenne* L.), donde se evidenció un alta tasa de germinación en *Trifolium pratense* L. con un 133 % y en *Medicago Sativa* L. con un 145 %, a diferencia de *Trifolium repens* L. y *Lolium perenne* L., que obtuvieron una tasa de germinación de 76 % y 43 %, respectivamente. Por lo tanto, según este estudio, se puede deducir que la germinación de las semillas de diferentes especies es un factor importante a considerar en la aplicación de lodo en el suelo.

2.2 Suelo como factor principal en la agricultura

El suelo es un constituyente principal en el proceso de producción en la agricultura, ya que actúa como fuente esencial de nutrientes para el crecimiento y desarrollo de una planta, retenedor de agua y oxígeno, otorga un anclaje para la planta, entre otras características. La materia orgánica junto a otros parámetros químicos del suelo como su fertilidad, pH y suma de bases puede determinar la disponibilidad de los nutrientes presentes en el suelo y, por lo tanto, está relacionado directamente con el rendimiento potencial de los cultivos (Honorato. 2000).

2.2.1 Tipos de suelo

Los suelos se pueden dividir según las características generales que posean. Esta clasificación se puede basar en la morfología y en su constitución interna. Algunas características que se pueden citar son la profundidad del suelo, textura, color, estructura y la composición química que contenga. La mayoría de los suelos tienen capas características, llamadas horizontes; la naturaleza, el número, el grosor y la disposición de estas también es importante en la identificación y clasificación de los suelos (Sánchez *et al.*, 2003). Otros parámetros para poder clasificar los suelos son su contenido de materia orgánica y pH.

Dependiendo del origen que tenga un suelo, tendrá características físico-químicas y biológicas específicas. Los suelos de origen volcánico o también llamados “Andisoles” del sur de Chile constituyen alrededor del 60 % de los suelos arables presentes en el país (Besoain, 1985).

2.2.2 Características del suelo Andisol

Los suelos derivados de cenizas volcánicas poseen una serie de propiedades que lo diferencian de otro tipo de suelos provenientes de otros materiales parentales. Entre ellas está su baja densidad aparente, carga variable, elevado contenido orgánico, alta fijación de fosfatos (Besoain, 1985), poseen una alta capacidad de contracción (Bartoli *et al.*, 2007; Dörner *et al.*, 2009). Además, son moderadamente ácidos, con una buena capacidad de infiltración del agua, buen drenaje, una gran capacidad para almacenar agua (Redel *et al.*, 2008) y presentan una formación estable de los agregados del suelo (Hoyos y Comeford, 2005).

Otra de las características de este tipo de suelos es que poseen un pH ácido, entre 4,7 a 6,5, con un promedio de 5,5, alto contenido de Al extractable, un alto nivel de fijación de P aumentando cuando el pH disminuye (Mora *et al.*, 2006a). La toxicidad producida por el alto contenido de Al extractable es considerado uno de los factores limitantes más importantes en el crecimiento de las plantas en suelos con un alto grado de acidez (Gallardo *et al.*, 2005).

2.3 Comportamiento del Fósforo en el suelo

La mayoría del P inorgánico adicionado al suelo en forma de fertilizantes químicos es rápidamente adsorbido o precipitado con componentes de Aluminio (Al) y Hierro (Fe), lo que conlleva a una menor disposición para los cultivos (Kimble *et al.*, 2000). Algunos investigadores sugieren que el uso eficiente de P por los cultivos se puede lograr mediante la mejora biológica del suelo mediada por la mineralización del P orgánico en suelos con gran capacidad de fijación de P (Bunemann *et al.*, 2004).

En general, menos del 25 % del Fósforo (P) aplicado al suelo es recuperado por el cultivo. Aplicando las dosis que se recomiendan según el resultado del análisis de suelo, se puede verificar que la cantidad de P generalmente permanece igual o aumenta ligeramente a través que transcurre el tiempo, dependiendo de la tasa de P presente, del tipo de suelo y la extracción por parte del cultivo (Havlin *et al.*, 1999).

A pesar de que el P se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, es un recurso limitado y es un elemento deficitario en la mayoría de los suelos (Fuentes *et al.*, 2006).

2.3.1 Formas de Fósforo en el suelo

El P se encuentra en dos grandes formas: orgánico e inorgánico. En la forma orgánica, la principal fuente está constituida por los residuos vegetales y animales que se adicionan al suelo. Los compuestos fosfatados más importantes de la materia orgánica son nucleoproteínas, fosfolípidos y fosfoazúcares (California Fertilizer Foundation, 2009).

Dentro del P inorgánico en el suelo se puede clasificar en soluble, intercambiable e insoluble. En el primero, las plantas lo absorben con mayor frecuencia como iones fosfato H_2PO_4^- y en menor cantidad como HPO_4^{2-} . Estos iones reaccionan fácilmente con el suelo y se convierten en parte de las partículas del suelo en un proceso llamado “fijación”, evitando la lixiviación del P a estratas más profundas del suelo, además de dejarlo en una forma en que la planta no lo puede absorber.

En el P intercambiable o también llamado P lábil, es aquel que se encuentra adsorbido, gracias a la carga negativa del P frente a la carga positiva de los coloides, aumentando dicho fenómeno en suelos con pH ácido.

Por último se encuentra el P insoluble, el cual forma parte de los minerales primarios y secundarios, y constituye la gran reserva de fósforo inorgánico en el suelo (California Fertilizer Foundation, 2009).

2.3.2 Disponibilidad de Fósforo en el suelo

El P disponible para las plantas en un suelo es un tema complejo que está relacionada con muchas variables, como las condiciones climáticas, la masa microbiana presente y de las características tanto de la fuente originaria del P como de la aplicada como abono (O'Connor *et al.*, 2004).

El P en el suelo procede tanto de fuentes antropogénicas y pedogenéticas, siendo la mayoría del P colocado en forma de abonos minerales (Bolan *et al.*, 2005) o con residuos orgánicos; una cantidad significativa de P insoluble y un poco más estable puede acumularse en los suelos con una regular aplicación de éste nutriente a través del tiempo (Verma *et al.*, 2005).

La disponibilidad el P en el suelo está directamente relacionada con la actividad enzimática de los microorganismos presentes, ya que son los encargados de mineralizar el P orgánico. La Fosfatasa ácida es una enzima específica importante cuya actividad está relacionada directamente con el ciclo del P en el suelo. Específicamente, su función es la mineralización del P a través de la incidencia del enlace Fosfomonoesterasa presente en la materia orgánica del suelo, aumentando el P disponible para los microorganismos y para las plantas en forma inorgánica (Fernandes *et al.*, 2005; Ros *et al.*, 2006; Gallardo *et al.*, 2010). Por lo tanto, el comportamiento de las fosfatasas puede estar relacionado con los niveles de P en el suelo, siendo un buen indicador en suelos derivados de cenizas volcánicas (Mora *et al.*, 2006b).

La deficiencia de P en el suelo es una de las restricciones más importantes en la producción vegetal en suelos de tipo Andisol (Takeda *et al.*, 2009). En este tipo de suelo, el P disponible para los cultivos es limitada principalmente debido a procesos de sorción y precipitación, pero la aplicación de materiales orgánicos pueden mejorar la disponibilidad de P en el suelo debido a la

mejora de la mineralización de P que se efectúa por los microorganismos presentes (Takeda *et al.*, 2009).

2.3.3 Incidencia del Fósforo en la producción vegetal

El P es uno de los 17 elementos químicos que se requieren para el crecimiento y reproducción de las plantas, refiriéndose a éste como el “energizante biológico” ya que ayuda a almacenar y a transferir la energía durante el proceso de fotosíntesis. También, el P es un componente del material genético de las células, tanto del ADN como del ARN. (Takeda *et al.*, 2009).

Otra de las funciones que posee el P en la planta es la estimulación de la proliferación de las flores y el desarrollo de las semillas, acumulándose en grandes cantidades en su interior. Además, mejora el vigor de la planta y la capacidad para tolerar condiciones desfavorables del medio ambiente y mejora la capacidad para absorber agua y otros nutrientes presentes en el suelo (Takeda *et al.*, 2009).

Todas las plantas requieren P durante sus etapas rápidas de crecimiento. Las plantas anuales, es decir, aquellas que crecen, se reproducen y mueren en 1 año, requieren grandes cantidades de P al momento en que comienzan a crecer. Las plantas que crecen en climas fríos, que poseen una cantidad de raíces limitadas y un crecimiento aéreo vegetativo rápido, como por ejemplo la lechuga (*Lactuca sativa* L.), requieren de altos niveles de P en el suelo. (Takeda *et al.*, 2009).

2.4 Ballica perenne (*Lolium perenne* L.)

Las ballicas perennes son el principal componente de las pasturas de la zona sur del país, debido a que presentan una buena adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas, poseen un

potencial de producción elevado (> 15 ton MS/ha) y generan un producto de alto valor nutritivo bajo condiciones adecuadas de manejo. Las ballicas perennes se clasifican de acuerdo a la floración, donde pueden ser precoces, intermedios o tardíos, afectando directamente en su desarrollo el largo el día o también llamado fotoperiodo y acumulación de horas frío llamado vernalización (Demanet, 2008).

2.4.1 Descripción de la variedad (*Lolium perenne* var. Banquet)

Es un cultivar tetraploide de floración tardía, creada en Nueva Zelanda. Posee hojas de tamaño mediano y un crecimiento de tipo semirrecto. Debido a su alta proporción de macollos/planta, permite la utilización intensiva y frecuente de pastoreo sin generar un deterioro en el rendimiento y persistencia de la planta. En estado vegetativo presenta niveles de proteína entre 22-28 % y energía metabolizable superior a 2,5 Mcal/kg (Demanet, 2008).

2.4.2 Requerimientos de la variedad (*Lolium perenne* var. Banquet)

Es un cultivar de baja tolerancia a la acidez del suelo. Por lo tanto, previo a la siembra es absolutamente necesaria la corrección de los parámetros de acidez de los suelos mediante enmiendas calcáreas (Demanet, 2008).

Para que la planta exprese su potencial productivo, presenta requerimientos nutricionales mínimos anuales por ha, los cuales son: 200 kg de Nitrógeno (N), 200 kg de Fósforo (P_2O_5), 66 kg de Potasio (K_2O), 66 kg de Azufre (S), 50 kg de Magnesio (MgO) y 1 kg de Boro (B) (Demanet, 2008).

CAPÍTULO 3

MATERIALES

Y

MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio en campo durante un año, cuyo objetivo fue evaluar, a largo plazo, las diferentes aplicaciones de lodo proveniente de la industria de la celulosa en un suelo Andisol serie Freire sobre una siembra de ballica perenne (*Lolium perenne* L. var Banquet). El ensayo se estableció en la Estación Experimental Maquehue, ubicado en el Llano Central de la Región de la Araucanía, perteneciente a la Universidad de La Frontera. Se evaluó el impacto que posee el lodo en el contenido de P-Olsen, el % de P foliar y en la productividad de la ballica perenne. El diseño experimental corresponde a bloques al azar en triplicado, donde cada parcela posee una dimensión de 6 m x 2 m. Las dosis de lodo fueron de 0, 10, 20 y 30 ton/ha, parcializadas en 4 aplicaciones cada tres meses. Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio de Nutrición Vegetal, perteneciente al Departamento de Ciencias Químicas y Recursos Naturales de la Universidad de La Frontera.

3.1 Materiales

3.1.1 Lodo aplicado

El lodo utilizado proviene de un tratamiento biológico de aguas residuales de una planta de celulosa, extraído de un landfill donde fue almacenad. Este lodo fue secado al aire y tamizado con un diámetro de 2 mm.

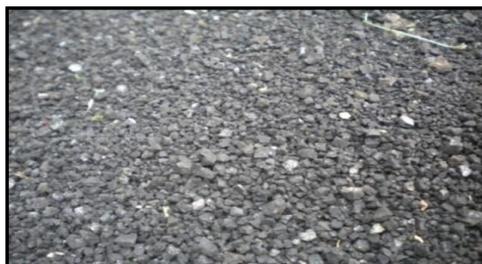


Figura 3.1: Lodo aplicado proveniente de la industria de celulosa.

3.1.2 Suelo utilizado

El suelo que se utilizó fue un Andisol de origen volcánico, serie Freire (pH, 5.4; M.O, 10 %; P, 17,5 mg/kg; N, 19,2 mg/kg), perteneciente al Llano Central de la Región de la Araucanía.

3.1.3 Especie vegetal

Como material vegetal se utilizó una ballica perenne tetraploide de floración tardía (*Lolium perenne* L. var. Banquet).



Figura 3.2: Ballica perenne (*Lolium perenne* L. var. Banquet) en campo.

3.2 Diseño experimental

3.2.1 Ubicación del ensayo en campo

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Maquehue (38° 75' LS, 72° 6' LO) ubicado en el Llano Central de la Región de la Araucanía, comuna de Freire, provincia de Cautín (38°50' LS, 72°42' LO, 70 m.s.n.m.) perteneciente a la Universidad de La Frontera.

3.2.2 Parcelas del estudio

El estudio en campo corresponde a un sistema de bloques al azar en triplicado, donde cada parcela posee una dimensión de 6 m de largo x 2 m de ancho, teniendo un área de trabajo de 12 m² cada una.



Figura 3.3: Parcelas en el campo

3.2.3 Dosis de lodo aplicado

Se aplicaron dosis de lodo equivalentes a 0, 10, 20 y 30 ton/ha, divididas en 4 aplicaciones por el período de 1 año.

3.2.4 Siembra de la ballica perenne (*Lolium perenne* var. Banquet)

La siembra se efectuó el día 6 de Septiembre del 2009 con una dosis de semilla de 37 kg/ha. Se utilizaron semillas certificadas. Se realizó fertilización a la siembra con 100 kg Superfosfato Triple (46 % P₂O₅) y 100 kg de Sulpomag (22 % K₂O; 22 % S; 18 % MgO) en el surco.

3.3 Metodología

3.3.1 Extracción de muestras en campo

3.3.1.1 Muestras de suelo

Las muestras fueron recolectadas con la utilización de un barreno geológico a 20 cm de profundidad en el perfil del suelo, según dosis y parcela específica. Posteriormente, fueron secadas a temperatura ambiente y se tamizó el suelo con un diámetro de 2 mm mediante el uso de una malla.



Figura 3.4: Muestreo de suelo con barreno geológico.

3.3.1.2 Muestras foliares

Se realizaron cortes periódicos cada 1 mes por el año completo de estudio. Las muestras se obtuvieron mediante el “método del cuadrante”, realizando 2 cortes por parcela para obtener una muestra significativa de cada una. El material vegetal se colocó en bolsas de polietileno y se rotularon según dosis y parcela específica.



Figura 3.5: Corte realizado con el método del cuadrante.

3.3.2 Análisis químicos

3.3.2.1 Determinación de P-Olsen

Para el análisis de P-Olsen de las muestras de suelo recolectadas en campo se utilizó el método de “Extracción con solución de bicarbonato de sodio 0,5 mol/L a pH 8.5 y determinación colorimétrica del azul de molibdeno” con suelo seco a temperatura ambiente y tamizado a 2 mm descrito por Sadzawka *et al.* 2004.

- **Agitador magnético:** Se utilizó para mezclar en forma homogénea los diversos reactivos utilizados en el análisis.
- **Agitador recíproco:** Posee un movimiento horizontal, el cual mezcla en forma homogénea la solución de suelo con carbón activado y bicarbonato de sodio a 0,5 M.
- **Balanza digital:** Se utilizó para pesar las muestras de suelo.
- **Espectrofotómetro:** Equipo especializado para leer absorbancias. El filtrado junto con el reactivo de desarrollo color se lee bajo una absorbancia contra agua de 880 nm.
- **Frascos de plástico:** Son de base cuadrada y poseen una capacidad de 150 ml. En ellos se realiza la mezcla de las muestras de suelo junto al carbón activado y al bicarbonato de sodio a 0,5 M.
- **Papel filtro:** Se utilizó para filtrar la mezcla entre el suelo, carbón activado y el bicarbonato de sodio a 0,5 M.

3.3.2.2 Determinación de P foliar

Para realizar el análisis de P foliar, se colocó el material vegetal en bolsas de papel y fueron secadas en una estufa con ventilación forzada a 65 °C en un período de 48 horas. Luego se utilizó el método de “Calcinación a 500 °C y disolución con HCl” y posterior a ello el método “Determinación por colorimetría de Fosfo-vanadomolibdato”, ambas descritas por Sadzawka *et al.* 2004.

- **Balanza digital:** Se utilizó para pesar las muestras foliares previamente molidas con un molino triturador.

- **Bandeja calefactora de arena:** Plancha de arena que mantiene una temperatura homogénea a los crisoles para hervir la solución de material vegetal calcinado junto con agua destilada y HCl a 2M.
- **Crisoles:** Capsulas de porcelana que se utilizaron para dejar las muestras vegetales.
- **Espectrofotómetro:** Equipo especializado para leer absorbancias. El filtrado junto con el reactivo nitro-vanadomolibdato se lee bajo una absorbancia contra agua de 466 nm.
- **Molino triturador:** Se utilizó para moler las plantas de *Lolium perenne* L. var. Banquet muestreadas en campo.
- **Mufla:** Horno utilizado para mantener las muestras vegetales molidas a 500 °C durante 4-8 horas.
- **Papel filtro:** Se utilizó para filtrar el material vegetal calcinado mezclado con agua y HCl a 2M luego de ser hervido en una plancha calefactora de arena.

3.4 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó al estudio de P-Olsen, P foliar y a los rendimientos de materia seca. Las repeticiones se compararon mediante pruebas de rango múltiple de Tukey, a una probabilidad de $p \leq 0,05$, con el uso del programa estadístico SPSS versión 17.0.

3.5 Parámetros productivos de la ballica perenne

Los análisis en terreno se enfocaron en la producción de materia seca, cobertura que ejerce la ballica perenne (*Lolium perenne* var. Banquet) en la pradera y sobre el suelo, número de macollos/m² y en la composición botánica de las diferentes dosis aplicadas de lodos.

3.5.1 Producción de materia seca de la ballica perenne

Se utilizó el método del cuadrante para la extracción de las muestras. Este último tenía 1 m de largo por 60 cm de ancho, teniendo un área de corte de 0,6 m². En cada parcela se realizaron cortes mensuales con el uso de tijeras de césped dejando el material vegetal en bolsas de polietileno. Se extrajeron submuestras de cada una, la cual fue pesada en verde y luego fue deshidratada en un horno de ventilación forzada en un período de 48 horas a 65 °C. Luego de esto, se pesó la submuestra secada en el horno para determinar el % de materia seca, dividiendo el peso seco de la submuestra por el peso de materia verde de la misma. Para poder obtener la producción de materia seca total, la cual se expresa en ton MS/ha, se multiplica el % de materia seca calculada por la producción de materia verde total.

3.5.2 Conteo de macollos

Se realizaron dos conteos de macollos por parcela en una hilera de plantas para obtener una muestra significativa. El primero se realizó el 19 de Abril del 2010, donde se utilizó un área de conteo de 0,105 m², y el segundo se realizó el 3 de Septiembre del 2010, con un área de conteo de 0,008 m².



Figura 3.6: Macollos de la ballica perenne (*Lolium perenne* var. Banquet)

3.5.3 Point Quadrat

En una de las diagonales de cada parcela se dispuso una línea de 4 m de largo, donde se midieron 100 puntos (cada 4 cm) verificando si hay contacto con la ballica perenne, especies residentes o suelo. Con esto se mide la cobertura de la ballica perenne sobre el suelo, la cual es expresada en %.

3.5.4 Composición botánica

Se tomaron submuestras de las muestras extraídas de cada parcela y se separó la ballica perenne de las especies residentes. Para obtener el % de la ballica perenne respecto a las especies residentes, se colocan las fracciones separadas en un horno de ventilación forzada por un periodo de 48 horas a 65 °C. Finalmente, se relacionó el valor de peso seco total de cada muestra con el valor del peso seco de cada fracción de la submuestra, determinando el % de ballica perenne que se encuentra en la pradera según las diferentes dosis de lodo aplicado.



Figura 3.7: Separación entre ballica perenne (*Lolium perenne* var. Banquet) y especies residentes.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Y

DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización química del suelo serie Freire y lodo.

En el Cuadro 4.1 se muestra la caracterización química del suelo serie Freire y la caracterización del lodo proveniente de la industria de la celulosa utilizado en este estudio, donde se puede evidenciar los macronutrientes (N, P, K), micronutrientes (Na, Ca, Mg, Zn, Mn Cu, Fe), pH y materia orgánica

Cuadro 4.1: Caracterización química del suelo serie Freire y del lodo proveniente de la industria de la celulosa.

Parámetros	Unidad	Suelo serie Freire	Lodo
Nitrógeno	(mg/kg)	19,12	586,25±6,55
Fósforo	(mg/kg)	17,50	313±19,16
pH	(H ₂ O)	5,47	6,97±0,02
Materia Orgánica	(%)	10,5	76,07±0,96
Potasio	(cmol+/kg)	0,89	3,62±0,31
Sodio	(cmol+/kg)	3,50	41,55±1,67
Calcio	(cmol+/kg)	3,50	27,95±1,63
Magnesio	(cmol+/kg)	0,92	13,68±0,39
Aluminio	(cmol+/kg)	0,07	0,03±0,00
Suma Bases	(cmol+/kg)	8,81	86,80
CICE ¹	(cmol+/kg)	8,89	86,80
Saturación de Al	(%)	0,78	0,04
Zinc	(ppm)	0,83	376,30±1,31
Manganeso	(ppm)	11,62	111,05±1,97
Cobre	(ppm)	3,29	5,04±0,05
Hierro	(ppm)	29,72	18,47±0,11
Al Extraíble	(ppm)	---	8,00

(¹) CICE: Capacidad de Intercambio de Cationes Efectiva.

La caracterización química del suelo serie Freire muestra un nivel adecuado de macroelementos (N, P K), los que son esenciales para el crecimiento de las plantas (Gallardo *et al.*, 2010). El P presente en el suelo expresado en (mg/kg) posee un nivel adecuado para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ejerciendo funciones vitales en los primeros estadios de desarrollo como el crecimiento radicular, fotosíntesis, transferencia genética, componente de las proteínas, de las múltiples reacciones energéticas en la planta al ser constituyente de la molécula energética adenosín trifosfato (ATP), entre otras. Por otro lado el suelo presenta un pH levemente ácido, lo que puede afectar en la disponibilidad del P en el suelo debido a la alta fijación que se genera con el Al en suelos ácidos, decreciendo la retención cuando el pH aumenta (Mora *et al.*, 2006a). Posee un alto contenido materia orgánica, lo que puede determinar, junto a otros parámetros químicos como el pH, suma de bases y fertilidad, la disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo lo que conlleva a un mayor rendimiento en los cultivos (Honorato, 2000).

Por otro lado, el lodo presenta grandes niveles de macronutrientes (N, P, K), micronutrientes (Cu, Mg, Zn, Mn, Fe, S) y un alto contenido de materia orgánica, lo que le confiere el grado de fertilizante orgánico para aplicarlo al suelo. El macronutriente que mayor presencia posee en el lodo es el nitrógeno (N) con 52.360 mg/kg y luego el fósforo (P). La gran cantidad de éste último presente en el lodo, que corresponde a 6.279 mg/kg puede compensar, en cierta medida, la alta fijación de fosfatos que existen en suelos derivados de cenizas volcánicas, manteniendo una mayor cantidad de P lábil o disponible en la solución del suelo para ser absorbido por las plantas. Además, se puede observar un pH alcalino del lodo, lo que al aplicarlo a un suelo moderadamente ácido puede beneficiar la disponibilidad de P en él, debido a una disminución en el % de saturación de Al, que se fija con los iones fosfatos, quedando inutilizable para las plantas.

Estudios realizados por Gallardo *et al.* 2007, dejan en evidencia que al aplicar lodos provenientes de la industria de la celulosa en suelos acidificados, se puede lograr un aumento en el pH con una consecuente disminución del contenido de Al intercambiable, lo que genera una menor fijación de fosfatos en el suelo. Según Zhang *et al.* 2004, el aumento del pH se debe a que la gran cantidad de cationes como el Ca^{+2} , Na^{+} , K^{+} y Mg^{+} que están presentes en el lodo que desplazan al H^{+} de los sitios de intercambio y aumenta el contenido de saturación de bases en el suelo.

4.2 Efecto de la aplicación sucesiva de lodo sobre el contenido de P-Olsen en el suelo

La figura 4.8 presenta los resultados obtenidos con la aplicación de lodo sobre el nivel de P-Olsen en los primeros 20 cm del suelo. En forma general, se puede observar un incremento con respecto a la dosis 0 en las 4 aplicaciones a medida que aumenta la dosis.

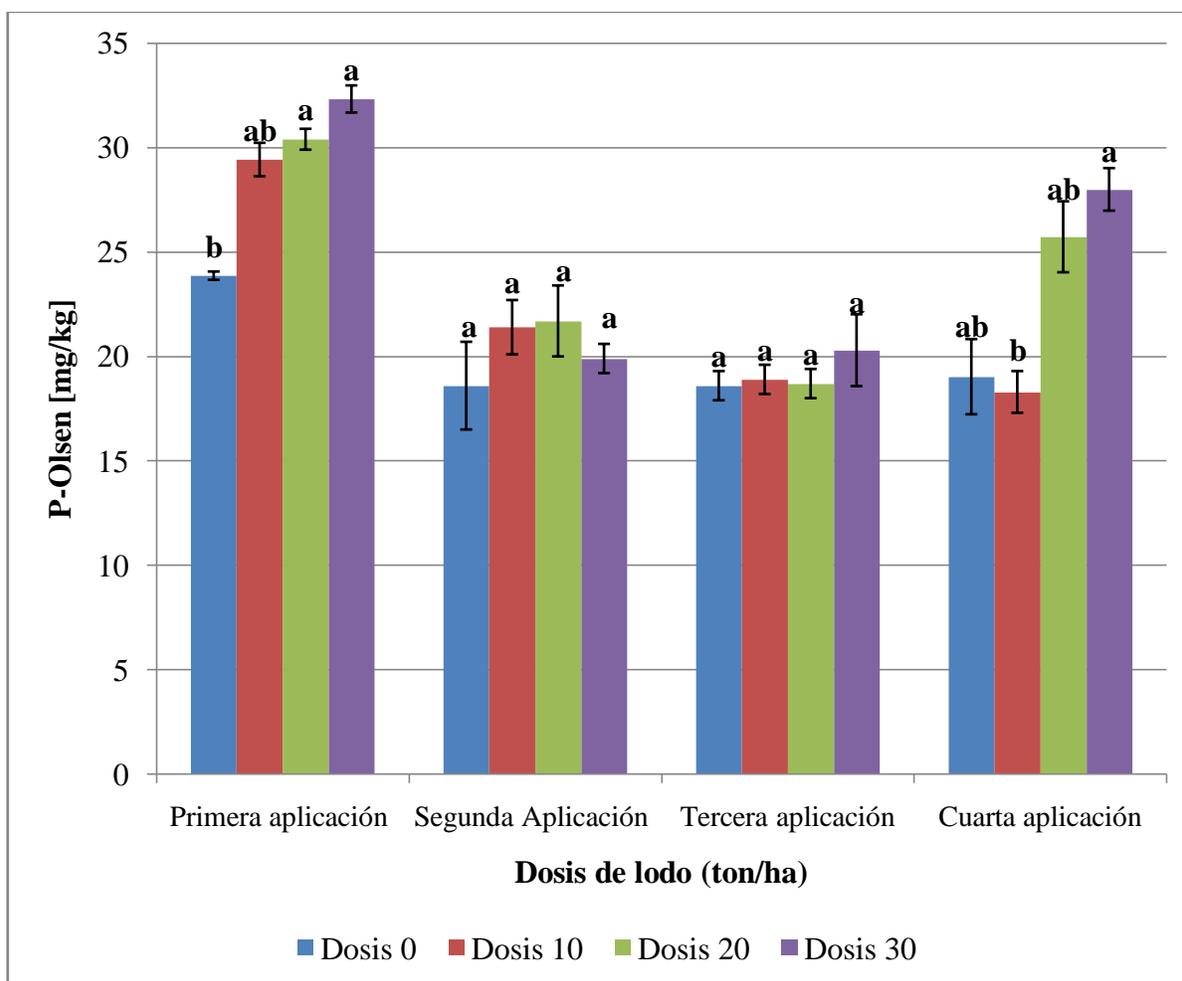


Figura 4.8: Efecto de la aplicación sucesiva de lodo en diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha) sobre el nivel de P-Olsen expresado en (mg/kg) presente en los primeros 20 cm del suelo. Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$).

En la primera aplicación de lodo, se observó un aumento del 23 %, 27 % y 35 % en el contenido de P en los tratamientos de 10, 20 y 30 ton/ha respectivamente con respecto a la dosis 0 ton/ha, evidenciándose diferencias significativas entre las dosis mayores (20 y 30 ton/ha) con las menores (10 y 0 ton/ha). El tratamiento testigo tuvo un valor de 23,87 mg/kg, 29,43 mg/kg en la dosis 10 ton/ha, 30,4 mg/kg para la dosis 20 ton/ha y finalmente en la dosis 30 ton/ha un valor de 32,33 mg/kg. En forma general, se evidenció un leve aumento entre los tratamientos a medida en que la dosis de lodo es mayor, siendo el valor más alto en la dosis 30 ton/ha. Cabe destacar que no existen diferencias significativas entre la dosis 30 ton/ha y 20 ton/ha. El alto contenido que se detectó en la primera aplicación se debe al primer impacto que ejerce el lodo sobre el suelo, dejando una alta cantidad de nutrientes disponibles para la planta (Criquet *et al.*, 2007).

En la segunda aplicación de lodo no se observaron diferencias significativas según el análisis estadístico entre los tratamientos. Se detectó una disminución en los niveles de P-Olsen con respecto a la primera aplicación, lo que se pudo deber a la alta fijación que se produce con el Al intercambiable en este tipo de suelos (Mora *et al.*, 2006a). El nivel máximo de P-Olsen se observó en la dosis 20 ton/ha con 21,7 mg/kg, seguido de la dosis 10 ton/ha con 21,4 mg/kg, luego la dosis 30 ton/ha con 19,9 mg/kg y finalmente, la dosis 0 ton/ha con 18,6 mg/kg, evidenciando la tendencia al alza respecto de ésta última con las dosis mayores de lodo.

En la tercera aplicación de lodo no se observaron, estadísticamente, diferencias significativas entre las dosis, donde hubo una estabilización del P disponible en relación a las diferentes dosis de lodo aplicado. Se observaron valores similares entre las diferentes dosis, con un valor de 18,6 mg/kg para la dosis 0 ton/ha y 20,3 mg/kg para la dosis 30 ton/ha, teniendo un leve aumento de P disponible. Para la dosis 10 y 20 ton/ha se detectaron 18,9 mg/kg y 18,7 mg/kg, evidenciándose una respuesta casi nula sobre la aplicación del lodo, teniendo en cuenta que el tratamiento testigo tuvo un contenido de P-Olsen de 18,6 mg/kg. Dicho efecto se puede deber a la baja humedad en el suelo que se detecta en el período aplicado, que corresponde entre el 25 de Febrero del 2010 hasta el 12 de Abril del 2010, donde se puede verificar en el cuadro 4.2.

En la cuarta aplicación de lodo se observaron diferencias significativas según el análisis estadístico entre las dosis, verificándose un aumento considerable en el contenido de P-Olsen en las dosis 20 y 30 ton/ha, con respecto a la segunda y tercera aplicación. La dosis 0 ton/ha tuvo un valor de 19,03 mg/kg, para la dosis 10 ton/ha un 18,3 mg/kg, aumentando el contenido de P en la dosis 20 ton/ha con 25,73 mg/kg y la dosis 30 ton/ha un valor de 28 mg/kg, evidenciándose un aumento de un 47 % con respecto a la dosis 0 ton/ha para el tratamiento con mayor cantidad de lodo aplicado.

Estos resultados se pueden explicar con un estudio realizado por Gallardo *et al.*, 2010, donde se comprueba que la aplicación de lodo proveniente de la industria de la celulosa a un suelo de origen volcánico incrementa la actividad microbiana, la actividad FDA del suelo, lo que conlleva a una mayor mineralización de la materia orgánica y por lo tanto, mayor cantidad de P disponible para las plantas. Además, se produce un aumento en de la fosfatasa ácida, enzima específica para la degradación y del ciclo del P en el suelo (Criquet *et al.*, 2007).

En los resultados expuestos anteriormente se pueden evidenciar épocas donde el P decrece los niveles en el suelo. La disponibilidad del P en el suelo está relacionado por varios factores, tales como el clima, la vegetación existente, la actividad microbiana, las características del P presente en el suelo y de la fuente del P aplicado (O'Connor *et al.*, 2004). Además, el P al ser un macronutriente, es absorbido en grandes cantidades por la planta, lo que disminuye el suministro del nutriente en el suelo.

Por otro lado, la disponibilidad del P está ligada con el contenido de humedad que contenga el suelo, donde el incremento del contenido de agua induce necesariamente a un mayor contenido de iones fosfatos en la solución (Rojas, 2006).

En el cuadro 4.2, se demuestra la precipitación acumulada expresada en (mm) en la Estación Experimental Maquehue, lugar donde está ubicado el ensayo, desde Agosto del 2009 hasta Agosto del 2010.

Cuadro 4.2: Precipitación acumulada expresada en (mm) durante el periodo de Agosto del 2009 a Agosto del 2010.

Mes	Año	Precipitación acumulada(mm)
Agosto	2009	302
Septiembre	2009	101,6
Octubre	2009	137
Noviembre	2009	88,6
Diciembre	2009	43
Enero	2010	42,8
Febrero	2010	77,2
Marzo	2010	58,8
Abril	2010	14,2
Mayo	2010	59,8
Junio	2010	194,4
Julio	2010	193,8
Agosto	2010	181

Fuente: Centro Agronómico de Investigación y Desarrollo (CAID), 2010. Universidad de La Frontera.

Al analizar los periodos donde fue aplicado el lodo, se puede corroborar lo expuesto por Rojas (2006). En la primera aplicación, periodo entre el 6 de Agosto al 5 de Noviembre, se presentaron lluvias que mantienen el suelo con humedad, lo que explica el alto contenido de P disponible para la planta. En la segunda y tercera aplicación, período entre el 5 de Noviembre al 11 de Mayo, se presenta una marcada estación seca, propia del clima mediterráneo donde se encuentra el ensayo, demostrándose una disminución en los niveles de P disponible. Para la cuarta aplicación, desde el 11 de Mayo hasta el 9 de Agosto, se evidencia un aumento del P-Olsen y a la vez, una estación con lluvias estacionales marcadas.

4.3 Efecto de la aplicación sucesiva de lodo sobre el contenido de P a nivel foliar de la ballica perenne (*Lolium perenne* L. var Banquet).

En la figura 4.9 se muestran los resultados obtenidos en la primera y segunda aplicación de lodo sobre los niveles de P foliar de la ballica perenne (*Lolium perenne* L. var Banquet) expresado en (%).

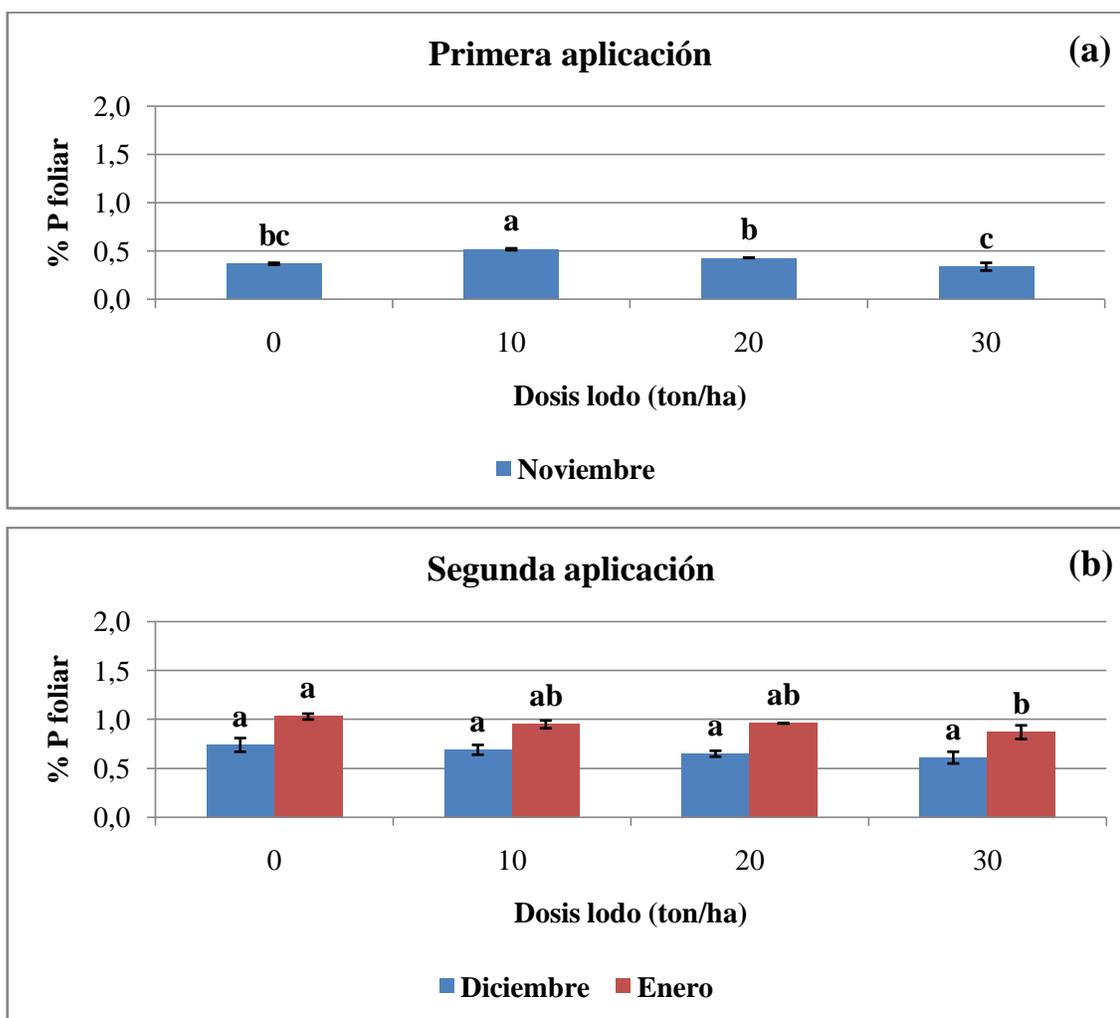


Figura 4.9: Efecto de dos aplicaciones sucesivas de lodos en diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha), correspondiente a la primera y segunda aplicación, sobre el nivel de P foliar expresado en (%) en la ballica perenne, detallado por el mes en que se extrajo la muestra. *Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$).*

En la primera aplicación, figura 4.9 (a), se observó diferencias significativas entre los tratamientos, obteniendo un leve aumento en la dosis 10 ton/ha con 0,52 % de P en relación a la dosis 0 ton/ha que presentó un valor de 0,37 %. Luego en las dosis 20 ton/ha y 30 ton/ha disminuyó el contenido de P con valores de 0,43 % y 0,34 %, respectivamente. Esta disminución puede evidenciar el proceso de fijación de fosfatos en el suelo con los coloides del suelo, característica que poseen este tipo de suelos debido a la acidez que poseen, dejando un contenido menor de P disponible para la planta en la solución del suelo. El rango óptimo de pH del suelo donde se encuentra la máxima disponibilidad de P es entre 6.5-7.5 (Rojas, 2006).

En la segunda aplicación, figura 4.9 (b), se produjo un aumento en los niveles de P foliar en relación a la primera aplicación. No se observaron diferencias significativas entre las dosis en el mes de Diciembre, contrariamente a las muestras correspondientes al mes de Enero, donde hubo diferencias significativas entre ellas. En Enero, la dosis 0 ton/ha tuvo un aumento en los niveles de P con respecto a la dosis 0 ton/ha correspondiente al mes de Diciembre. Por otra parte, las dosis 10, 20 y 30 ton/ha de ambos meses tuvieron una leve disminución del P medida en que se elevaba la dosis, comparado con el testigo.

Este aumento puede vincularse a que el lodo aplicado al aumenta el contenido de materia orgánica en el suelo, aumenta el pH y la actividad biológica, existiendo una menor fijación del P con el Al y una mayor mineralización de la materia orgánica (Gallardo *et al.*, 2010; Mora *et al.*, 2006a).

En un estudio realizado por Mohanty *et al.*, (2006), donde se utilizaron diferentes fertilizantes orgánicos donde uno de ellos fue lodo de aguas residuales, obtuvo respuestas positivas aumentando el contenido de P foliar en comparación con aplicación de fertilizantes inorgánicos, en cacahuate (*Arachis hypogea* L.) y maíz (*Zea mays* L.). Cabe destacar que el fertilizante orgánico con mayor eficiencia en el uso del P para la planta fue el lodo de aguas residuales.

En la figura 4.10 se muestran los resultados obtenidos en la tercera y cuarta aplicación de lodo sobre los niveles de P foliar de la ballica perenne (*Lolium perenne* L. var Banquet) expresado en (%).

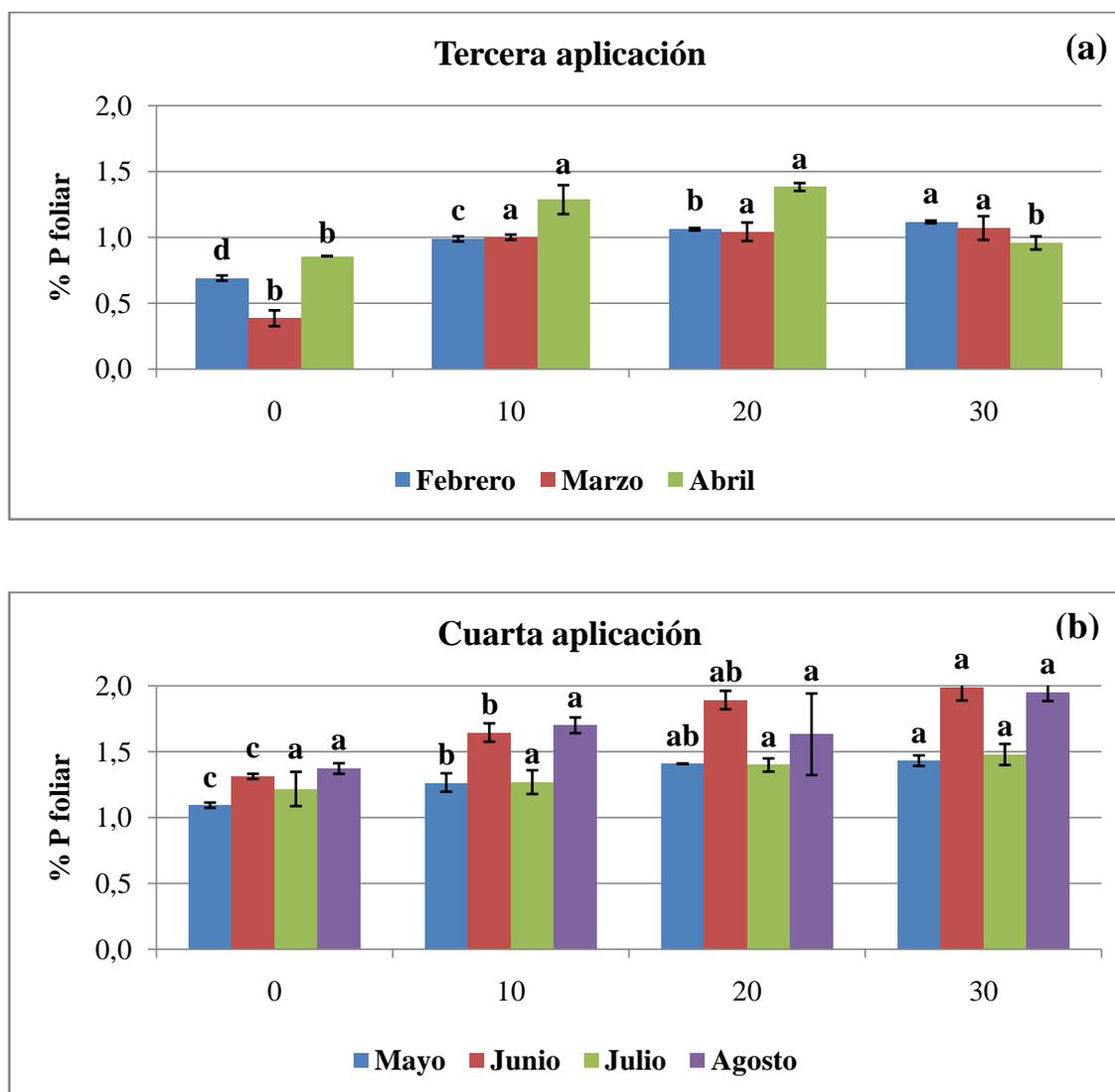


Figura 4.10: Efecto de dos aplicaciones sucesivas de lodos en diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha), correspondiente a la tercera y cuarta aplicación, sobre el nivel de P foliar expresado en (%) en la ballica perenne, detallado por el mes en que se extrajo la muestra. Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$).

En la tercera aplicación, figura 4.10 (a), se observó los mayores niveles de P foliar en el mes de Abril, obteniendo diferencias significativas entre la dosis, tendiendo al alza excepto con la dosis 30 ton/ha. En el mes de Febrero, hubo diferencias significativas entre las dosis, siendo el mayor valor 1,12 % de P correspondiente a la dosis 30 ton/ha y el menor valor 0,69 % de P correspondiente a la dosis 0 ton/ha. En Marzo, las dosis 10, 20 y 30 ton/ha no tuvieron diferencias significativas entre ellas, pero sí en relación a la dosis 0 ton/ha, obteniendo un mayor contenido de P foliar al aplicar el lodo. En el mes de Abril hubo un aumento en los niveles de P foliar comparado con Febrero y Marzo. En las dosis 10 y 20 ton/ha, los valores fueron 1,29 % y 1,38 %, comparado con 0,99 % y 1,06 % para Febrero y 1,0 % y 1,04 % para Marzo, respectivamente, observándose un aumento en el contenido de P foliar, no así en la dosis 30 ton/ha donde hubo una leve disminución.

Se puede apreciar que los valores de la dosis 10, 20 y 30 ton/ha presenta valores más altos de P foliar comparado con la dosis 0 ton/ha, en los tres meses analizados. Esto evidencia que existe una respuesta positiva a la adición de lodo al suelo, respecto al P disponible para la planta.

Barrenechea (2006) realizó un estudio aplicando lodo de celulosa con dosis de 0, 10, 20, 30 y 50 Mg/ha sobre un suelo derivado de cenizas volcánicas establecido con *Lolium perenne* L. en macetas, realizando cortes a los 60, 90 y 120 días después de la siembra. Los resultados arrojaron un incremento en el contenido de P foliar a medida en que se elevaba la dosis de lodo aplicado, concordando con el presente trabajo.

En la cuarta y última aplicación, figura 4.10 (b), se evidenciaron valores más altos en comparación con los obtenidos en todas las dosis de las aplicaciones anteriores, lo que comprueba que a mayor cantidad de residuos orgánicos aplicados al suelo a través del tiempo, habrá mayor disponibilidad de P para ser absorbido por la planta (Takeda *et al.*, 2009). En el mes de Mayo, hubo diferencias significativas entre los tratamientos. El mayor valor se evidenció en la dosis 30 ton/ha, con 1,43 % de P y en la dosis 0 ton/ha el menor valor, con 1,09 %. Para el mes de Junio la dosis 0 ton/ha tuvo un valor de 1,31 % y para la dosis 30 ton/ha 1,99 %, siendo el mayor aumento evidenciado entre la dosis mayor y la menor en los meses analizados. Para Julio,

los valores disminuyeron en forma general, pero manteniéndose la tendencia al alza referente a las dosis de lodo aplicado, con 1,22 % de P en la dosis 0 ton/ha y 1,48 % de P para la dosis 30 ton/ha. En Agosto, la dosis 0 ton/ha tuvo el valor más alto, con un 1,37 % de P y para la dosis 30 ton/ha 1,95 % de P.

Se puede observar que en todos los meses analizados, existió un aumento en el contenido de P foliar a medida que se aumentaba la dosis de lodo aplicada, siendo los valores más altos las dosis de 30 ton/ha del mes de Julio con un valor de 1,99 % y 1,95 % para el mes de Agosto. Además, se detectó un incremento en los niveles de P foliar en los meses donde existe una mayor cantidad de lluvias y, por lo tanto, una mayor humedad en el suelo. Esto debido a que aumenta el contenido de iones fosfatos en la solución en suelos con mayor cantidad de agua (Rojas, 2006).

Hernandez (2002) estudió la variación estacional de la concentración de nutrientes minerales en cultivares de *Lolium perenne* L., utilizando fertilizantes inorgánicos y en el caso del P, aplicó Superfosfato Triple. Se evidenció una variación en el contenido de P foliar en los diferentes cortes que se realizaron, siendo un parámetro de referencia el contenido de agua en el suelo, ya que los mayores valores se mostraron a principios de invierno y en primavera, descendiendo progresivamente hasta alcanzar los valores mas bajos en verano. Estos resultados concuerdan con los resultados obtenidos en el presente trabajo y además con lo expuesto por Rojas (2006).

4.4 Producción de materia seca de ballica perenne (*Lolium perenne* L. var Banquet) según aplicación y corte realizado.

En la figura 4.11 se muestran los resultados obtenidos en la producción de materia seca de la ballica perenne (*Lolium perenne* L. var Banquet) expresado en ton MS/ha perteneciente a la primera y segunda aplicación de lodo con diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha).

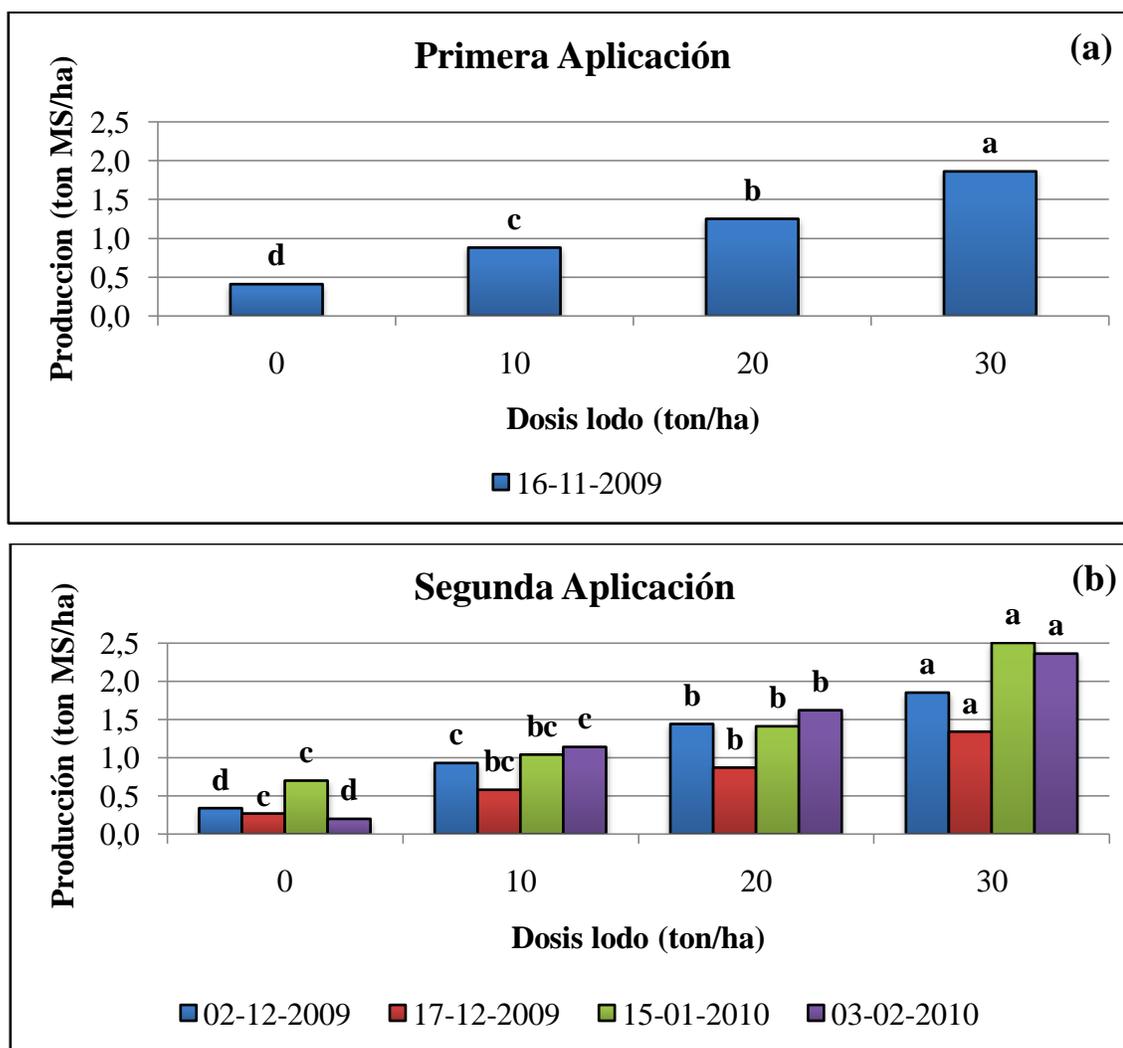


Figura 4.11: Efecto de dos aplicaciones sucesivas de lodos en diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha), correspondiente a la primera y segunda aplicación, sobre la producción de materia seca expresada en ton MS/ha, detallado por mes de corte. *Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$).*

Estadísticamente, se reportaron diferencias significativas entre los tratamientos en el período de la primera aplicación, figura 4.11 (a), correspondiente al mes de Noviembre del año 2009. A medida en que se aumentaba la dosis, se evidenció una mayor producción de materia seca. Para el caso del testigo, se obtuvo 0,41 ton MS/ha y para la dosis 10, 20 y 30 ton/ha la producción fue de 0,88, 1,24 y 1,86 ton MS/ha, respectivamente, con un crecimiento porcentual entre la dosis mayor y menor de un 453 %.

Esparza (2004) aplicó lodo proveniente de la industria de la celulosa con dosis de 50, 75 y 100 Mg/ha, en plantas de ballica (*Lolium multiflorum* cv Mont blanc) sobre dos suelos Andisoles serie Freire y Temuco y en un suelo Ultisol serie Metrenco, donde obtuvo una mayor producción de materia seca aérea a medida en que se eleva la dosis de lodo.

En el período de la segunda aplicación, figura 4.11 (b), continuó la tendencia de incremento en la producción que se evidenció en la primera aplicación, teniendo una relación directa entre la dosis y el aumento de materia seca de la ballica perenne.

En el mes de Diciembre hubo diferencias significativas entre las dosis, teniendo la mayor producción en el tratamiento 30 ton/ha, en ambos cortes realizados. Además, se obtuvieron valores más altos en el primer corte de Diciembre, debido al estrés que puede generar en la planta cuando se realizan cortes muy seguidos.

La producción de materia seca en el mes de Enero tuvo un aumento en cada dosis comparado con el mes anterior, obteniendo, estadísticamente, diferencias significativas entre los tratamientos. Se observa que para la dosis 0 ton/ha hubo una producción de 0,7 ton MS/ha y para la dosis 30 ton/ha 2,5 ton MS/ha, aumentando en un 357 %.

Para el corte realizado a comienzos de Febrero, hubo diferencias significativas según el análisis estadístico entre las dosis aplicadas, obteniendo la mayor productividad en la dosis 30 ton/ha con 2,36 ton MS/ha, seguido de la dosis 20 ton/ha con 1,62 ton MS/ha, 1,14 ton MS/ha para la dosis 10 ton/ha y por último, la menor producción para la dosis 0 ton/ha con 0,20 ton MS/ha.

En la figura 4.12 se muestran los resultados obtenidos en la producción de materia seca de la ballica perenne (*Lolium perenne* L. var Banquet) expresado en ton MS/ha perteneciente a la tercera y cuarta aplicación de lodo con diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha).

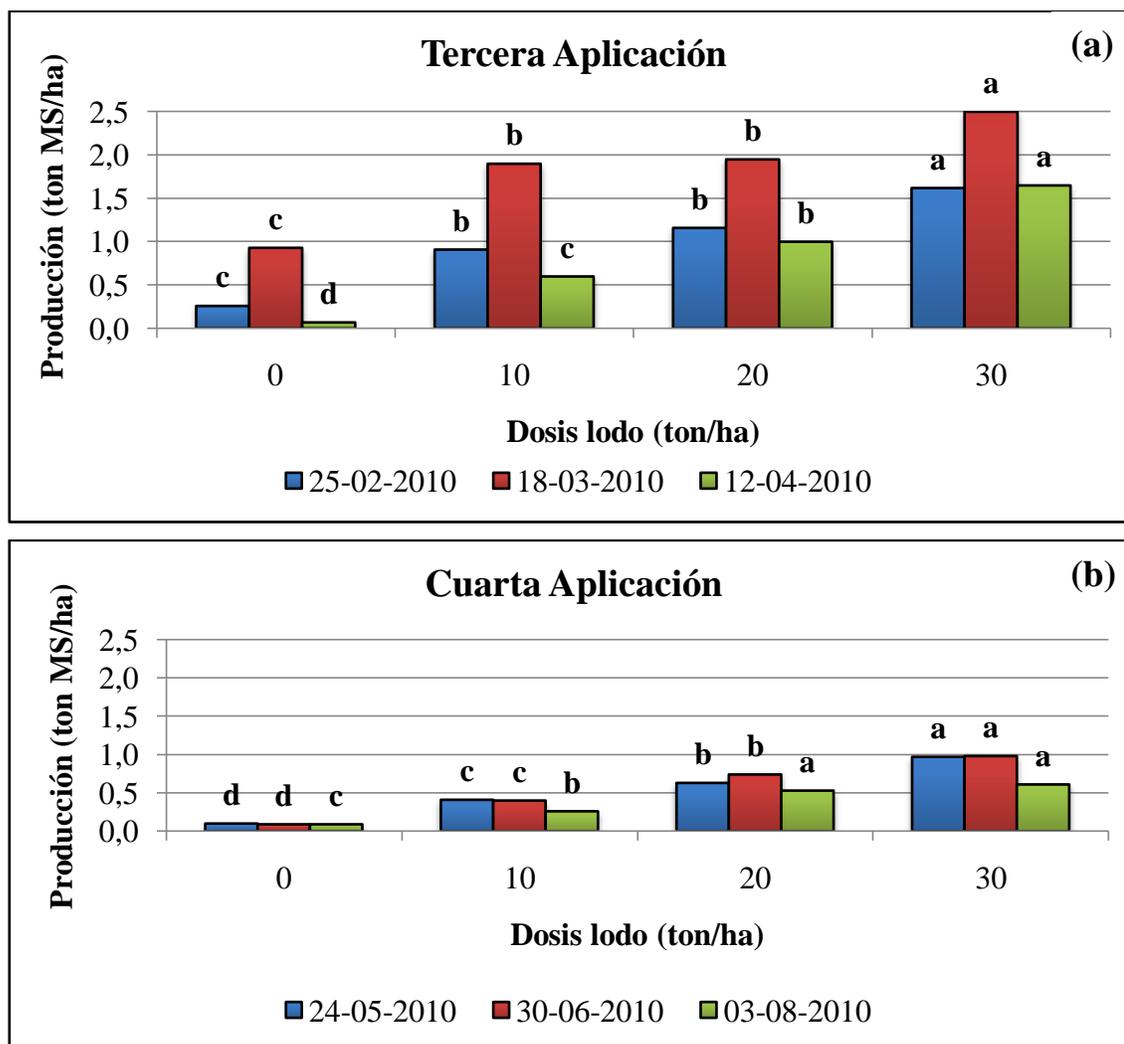


Figura 4.12: Efecto de dos aplicaciones sucesivas de lodos en diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha), correspondiente a la tercera y cuarta aplicación, sobre la producción de materia seca expresada en ton MS/ha, detallado por la fecha de corte. *Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$).*

En los tres cortes realizados en la tercera aplicación, figura 4.12 (a), se produjeron diferencias significativas según el análisis estadístico. A la vez, se evidencia una relación directa entre el aumento de producción de materia seca y el aumento en la dosis de lodo aplicado.

En un estudio realizado por Al Zoubi *et al.*, (2008), se analizó el efecto de la aplicación de lodo de aguas residuales sobre la productividad en trigo, maíz y arveja, comparado con un tratamiento testigo y otro con fertilización inorgánica. Los resultados demostraron que los tratamientos donde se aplicó el lodo de aguas residuales se obtuvo una mayor productividad en comparación con el testigo y el tratamiento de fertilización inorgánica.

En el corte realizado a fines de Febrero, la dosis 30 ton/ha tuvo una producción de 1,62 ton MS/ha, bajando en la dosis 20 ton/ha con 1,16 ton MS/ha, en la dosis 10 ton/ha con 0,91 ton MS/ha y para la dosis 0 ton/ha, que tuvo la menor producción con 0,26 ton MS/ha.

En Marzo, los valores aumentaron con respecto al mes anterior, teniendo a la dosis 30 ton/ha con la mayor producción en los tres meses analizados, obteniendo 2,5 ton MS/ha. Entre las dosis 10 y 20 ton/ha no hubo diferencias significativas en la producción de materia seca, con 1,90 y 1,95 ton MS/ha respectivamente. Los valores correspondientes al mes de Abril disminuyeron en comparación con el mes de Marzo, pero siguió la tendencia de aumento al elevar la dosis de lodo, existiendo diferencias significativas entre las dosis. La dosis 30 tuvo una producción de 1,65 ton MS/ha, muy encima del valor obtenido con la dosis 0 ton/ha, 0,07 ton MS/ha.

En la cuarta aplicación, figura 4.12 (b), hubo una disminución en la producción en forma general, pero sigue la tendencia con respecto las dosis de lodo aplicado, habiendo diferencias significativas en todos los cortes realizados. En Mayo, la dosis 0 ton/ha tuvo una producción de 0,10 ton MS/ha y el tratamiento mayor 0,97 ton MS/ha. Valores similares se observaron en el corte perteneciente al mes de Junio, con 0,09 ton MS/ha para la dosis 0 ton/ha y 0,97 ton MS/ha en la dosis 30 ton/ha. En el último corte analizado, evidenció una disminución en los valores de producción, con 0,09 ton MS/ha para la dosis 0 ton/ha y 0,61 ton MS/ha para la dosis 30 ton/ha.

4.5 Efecto de la aplicación de lodo sobre la producción acumulada de materia seca de la ballica perenne (*Lolium perenne* L. var Banquet).

En la figura 4.13 se muestran los resultados obtenidos en la producción de materia seca acumulada de la ballica perenne (*Lolium perenne* L. var Banquet) expresado en ton MS/ha durante cuatro aplicaciones sucesivas de lodo con diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha).

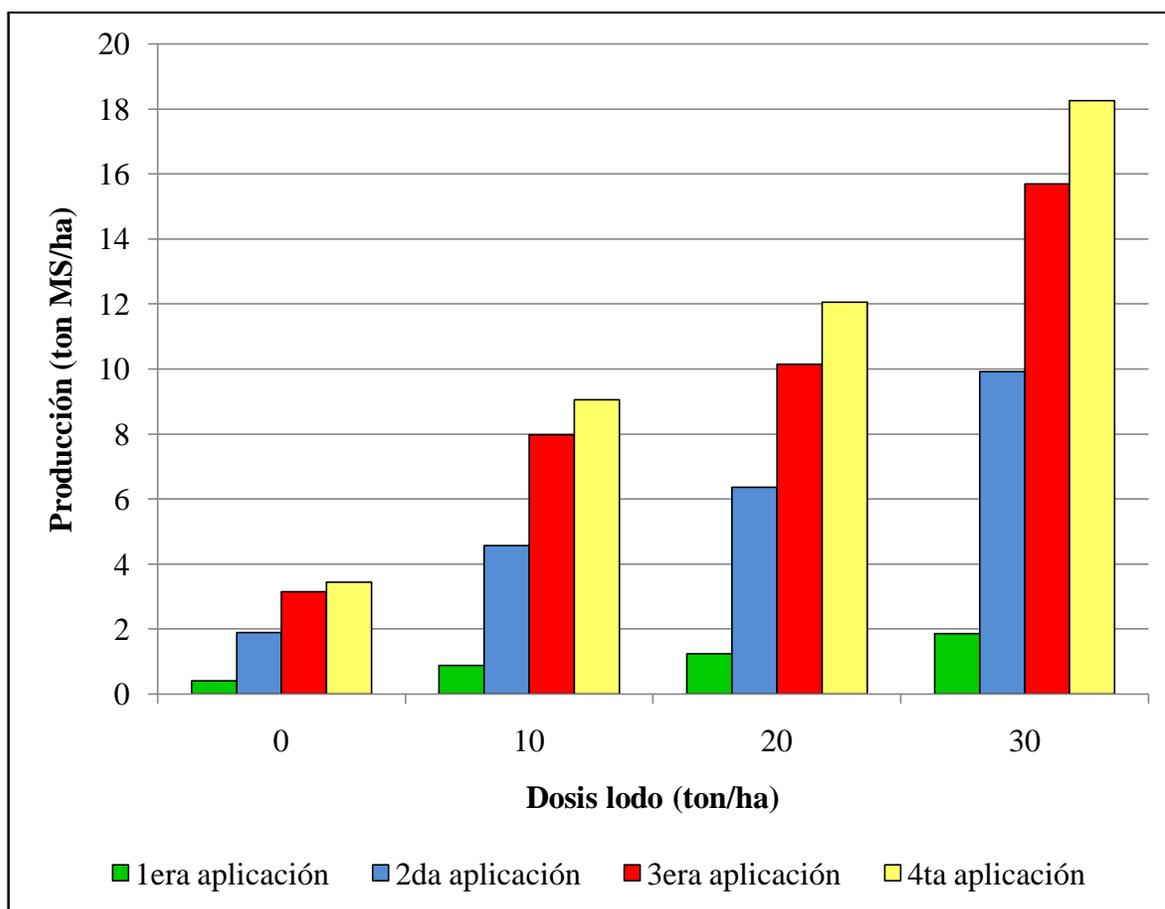


Figura 4.13: Efecto de la aplicación sucesiva de lodos en diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha) sobre la producción acumulada de materia seca desde la primera aplicación hasta la cuarta aplicación de lodo expresada en ton MS/ha. *Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$).*

Se observa que a medida en que transcurren las aplicaciones de lodo, existió una mayor producción de materia seca, y a la vez, existió una respuesta positiva al incrementar la dosis de lodo aplicado al suelo. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Carrasco *et al.*, (2004), en que se aplicaron lodos de aguas servidas sobre dos series de suelos, Maipo y Lo Vasquez, sembrados con ballica perenne bajo invernadero, donde se concluyó que la producción de materia seca depende directamente de la dosis aplicada al suelo y del nitrógeno disponible aportado por el lodo.

Bustos (2005) realizó un estudio utilizando lodos de salmonicultura como fertilizante orgánico en ballica anual sobre un suelo trumao, con dosis de 0, 30, 60 y 90 ton/ha, con la inclusión de un tratamiento con fertilización inorgánica. Los resultados demostraron una mayor producción acumulada (ton MS/ha) en el lodo de mar a medida en que se eleva la dosis, comparado con el testigo y con la fertilización inorgánica.

En la primera aplicación, existió un leve aumento en la producción de materia seca a medida en que se eleva la dosis, con un valor de 0,41 ton MS/ha y 1,86 ton MS/ha para la dosis 0 ton/ha y 30 ton/ha.

En la segunda aplicación, la respuesta al lodo fue mayor en relación a la productividad de la ballica perenne, evidenciándose en la dosis 30 ton/ha la mayor tendencia al alza con respecto a la aplicación anterior, con 9,91 ton MS/ha para la dosis 30 ton/ha con respecto a 1,86 ton MS/ha para la dosis 30 ton/ha de la primera aplicación, aumentando en un 533 %. Esta mayor respuesta se puede explicar debido a que el lodo aporta grandes cantidades de macro y micronutrientes al suelo, además de poseer un alto contenido de materia orgánica favorable para el suelo (Al Zoubi *et al.*, 2008), además de mejorar las condiciones químicas, físicas y biológicas de los suelos, por lo tanto, una mayor productividad vegetal (Zhang *et al.*, 2004; Aravena *et al.*, 2007; Gallardo *et al.*, 2007).

En la tercera aplicación se observó un alza significativa entre la dosis 0 ton/ha y la dosis 30 ton/ha, con valores de 3,18 ton MS/ha y 15,68 ton MS/ha, respectivamente. En las dosis 10

ton/ha y 20 ton/ha existe una diferencia de 2,71 ton MS/ha entre ellos, siendo ésta última la de mayor producción.

En la cuarta aplicación se evidenció la acumulación total de la producción, donde se observaron los mayores niveles de materia seca. Para la dosis 0 ton/ha, 3,46 ton MS/ha, en la dosis 10 ton/ha, 9,05 ton MS/ha, incrementando en un 261 % con respecto al testigo, en la dosis 20 ton/ha, 12,59 ton MS/ha, con un incremento de un 363 % con respecto al testigo y finalmente, la dosis 30 ton/ha con un valor de 18,24 ton MS/ha, con un incremento de un 527 % con respecto al testigo.

Por lo que se puede observar, la respuesta al lodo aumenta a medida en que transcurre el tiempo, llegando a valores por sobre los obtenidos con fertilizantes inorgánicos. En un estudio realizado por Van Der Molen (2009), se evaluó la producción de materia seca durante 3 temporadas sucesivas en cultivares de ballica perenne, utilizando fertilizantes inorgánicos. En el cultivar Banquet, obtuvo un promedio de 11,68 ton MS/ha, evidenciándose una menor producción comparado con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Estos resultados concuerdan con Keim (2009), donde expresa que la fertilización es una práctica que genera gran impacto en las praderas, al mejorar la producción de materia seca, siendo una herramienta útil para mejorar la productividad de las mismas.

En un estudio realizado por Celis *et al.* (2008), evaluó el potencial tóxico y fertilizante de lodos urbanos y biosólidos residuales de salmonicultura, usando para ello lechuga (*Lactuca sativa* L.) y ballica anual (*Lolium multiflorum* Lam.) cv. Winter Star. En el caso de la ballica anual, se midió la producción de materia seca. Se utilizaron dos suelos degradados, uno de la patagonia de tipo Entisol y un suelo granítico de tipo Alfisol, los que fueron mezclados con los lodos. Los resultados demuestran, en el suelo Entisol, un aumento en la producción de materia seca en la ballica anual a medida en que se aumenta la dosis de lodo en relación al testigo. Contrariamente, en el suelo Alfisol, la producción de materia seca disminuyó a medida en que se elevó la dosis de lodo aplicada al suelo.

4.6 Efecto de la aplicación de lodo sobre el número de macollos/m² de la ballica perenne (*Lolium perenne* L. var Banquet).

En la figura 4.14 se observa la producción de macollos en la pradera de ballica perenne según las distintas dosis de lodo aplicado. En ambas fechas se puede apreciar una diferencia positiva (aumento) entre la dosis 0 con el resto de las dosis aplicadas al suelo.

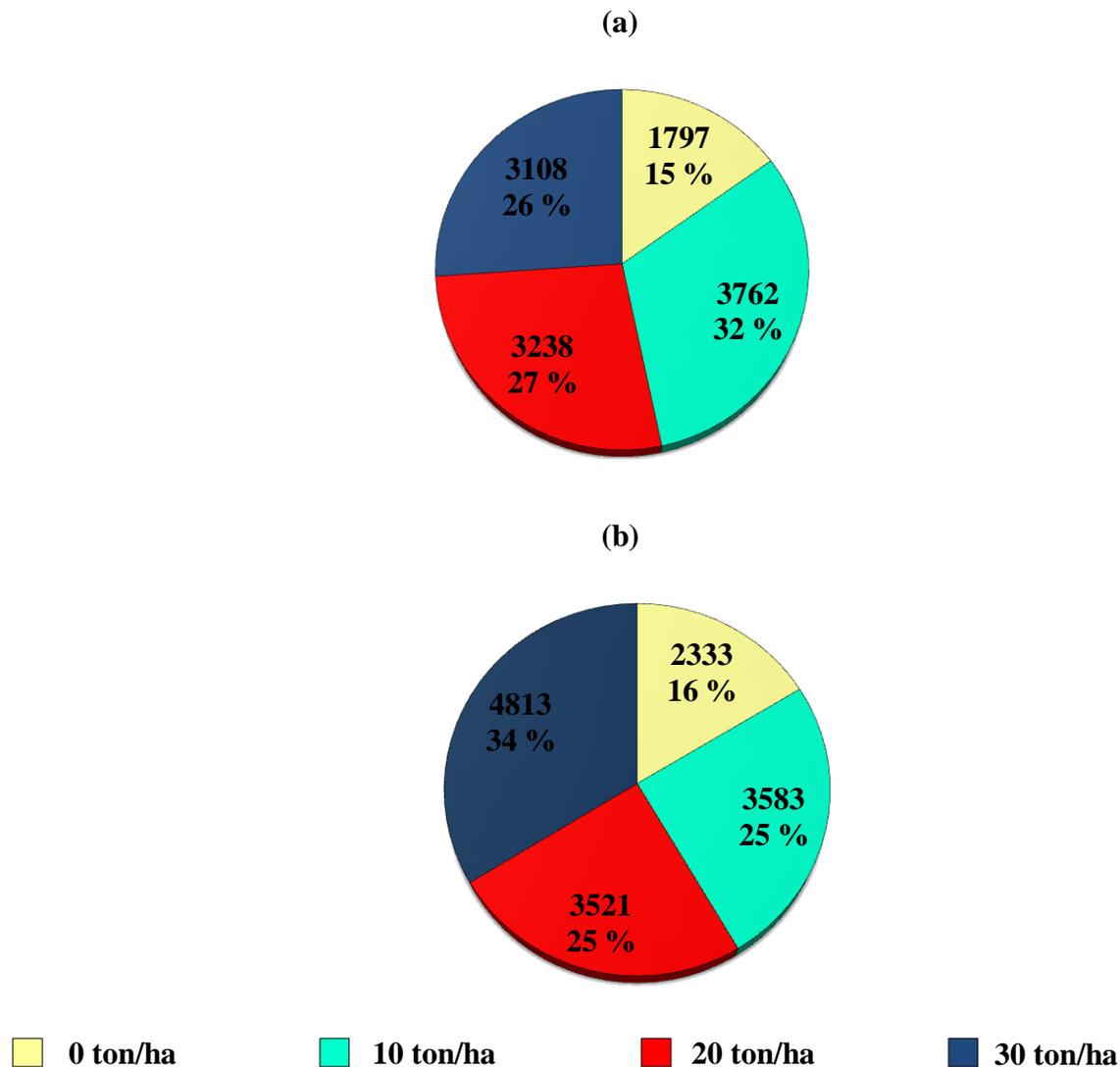


Figura 4.14: Efecto de la aplicación sucesiva de lodo sobre el número de macollos/m² en la ballica perenne según las diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha) aplicado al suelo en dos fechas distintas, 19 de Abril del 2010 (a) y 3 de Septiembre del 2010 (b).

La estructura básica de una gramínea forrajera es el macollo, donde la planta está formada por un conjunto de éstos. Cada macollo está formado por hojas, tallo y raíces, teniendo la capacidad de producir nuevos macollos a partir de yemas axilares de las hojas. Poseen una función de sobrevivencia para la planta en épocas donde las condiciones agroclimáticas son desfavorables. Por lo tanto, mientras mayor cantidad de macollos posea la planta, mayor será su calidad forrajera y persistencia en el tiempo.

En la figura 4.14 (a), se muestra el conteo de macollos, cuya fecha fue el 4 de Abril del 2010. Entre los 4 tratamientos, la dosis 10 ton/ha fue la que presentó mayor densidad de macollos, con un valor de 3762 macollos/m², seguido de la dosis 20 ton/ha con 3238 macollos /m². El testigo es el que tuvo el menor valor, con 2333 macollos/m², debido a que la planta disponía de menor cantidad de macro y micronutrientes, además de los beneficios que le otorga el lodo al suelo. La dosis 30 ton/ha presentó un valor levemente menor a la dosis 20 ton/ha, con 3108 macollos/m². El cultivar Banquet, el cual se está utilizando en el ensayo, posee una alta persistencia en el tiempo (Demagnet, 2008). En general, no se evidenciaron amplias diferencias al aplicar el lodo en las diferentes dosis, pero si en comparación con el testigo, donde se observa un incremento de un 209 % para la dosis 10 ton/ha un 180 % y finalmente para la dosis 30 ton/ha en un 173 % con respecto a la dosis 0 ton/ha.

En la figura 4.14 (b), se presenta el contenido de macollos para la fecha 3 de Septiembre del 2010. En este período, la densidad de macollos tuvo valores más altos en comparación con el conteo anterior realizado el 19 de Abril. Esto se puede explicar debido a que el cultivar Banquet, posee una distribución estacional de la producción donde alcanza sus mayores rendimientos en primavera (Demagnet, 2008) y, a la vez, por un mayor contenido de lodo en el suelo, luego de cuatro aplicaciones sucesivas, mejorando la calidad química, física y biológica del mismo. El número de macollos/m² tuvo una respuesta positiva a medida en que aumentó la dosis de lodo aplicado. Para la dosis 0 ton/ha, se contabilizaron 2333 macollos/m², seguido de 3583 y 3521 macollos/m² para la dosis 10 y 20 ton/ha, respectivamente y para la dosis 30 ton/ha se contabilizaron 4813 macollos/m².

Ahora, comparando ambos gráficos, se evidenció un aumento general en todas las dosis en el número de macollos/m² de Septiembre en relación a los contabilizados en el mes de Abril. Esto se debe a que el cultivar Banquet posee una estacionalidad marcada en la producción, teniendo sus mayores valores en el período primaveral (Demanet, 2008).

En la dosis 0 ton/ha, el número de macollos/m² aumentó desde 1797 en Abril a 2333 en Septiembre. Para la dosis 10 ton/ha, hubo una leve disminución desde 3762 para el mes de Abril a 3583 en Septiembre. Para la dosis 20 ton/ha, hubo un aumento desde 3238 a 3521 para Abril y Septiembre, respectivamente. Donde hubo una mayor diferencia fue en la dosis 30 ton/ha, aumentando desde 3108 en Abril hasta 4813 en Septiembre, lo que demuestra que al aplicar mayor cantidad de lodo, favorece la persistencia de la ballica, relacionado con una mayor cantidad de macollos producidos.

En Abril, la producción de macollo no fue directamente proporcional al aumento de lodo aplicado, donde la dosis 0, 10, 20 y 30 ton/ha tenían el 16 %, 32 %, 27 % y 26 % de participación en el número de macollos total, respectivamente. Distinto fue en el mes de Septiembre, donde hubo 16 % para la dosis 0 ton/ha, 25 % para la dosis 10 y 20 ton/ha y finalmente, un 34 % para la dosis 30 ton/ha.

4.7 Efecto de la aplicación de lodo sobre la cobertura de la ballica perenne (*Lolium perenne* L. var Banquet) sobre la pradera.

En la figura 4.15 se expresa el porcentaje (%) de cobertura de la ballica perenne en comparación con el trébol, especies residentes y suelo en la parcela en campo, según las distintas dosis de lodo aplicado (0, 10, 20 y 30 ton/ha), cuya fecha de análisis fue el 19 de Abril del 2010.

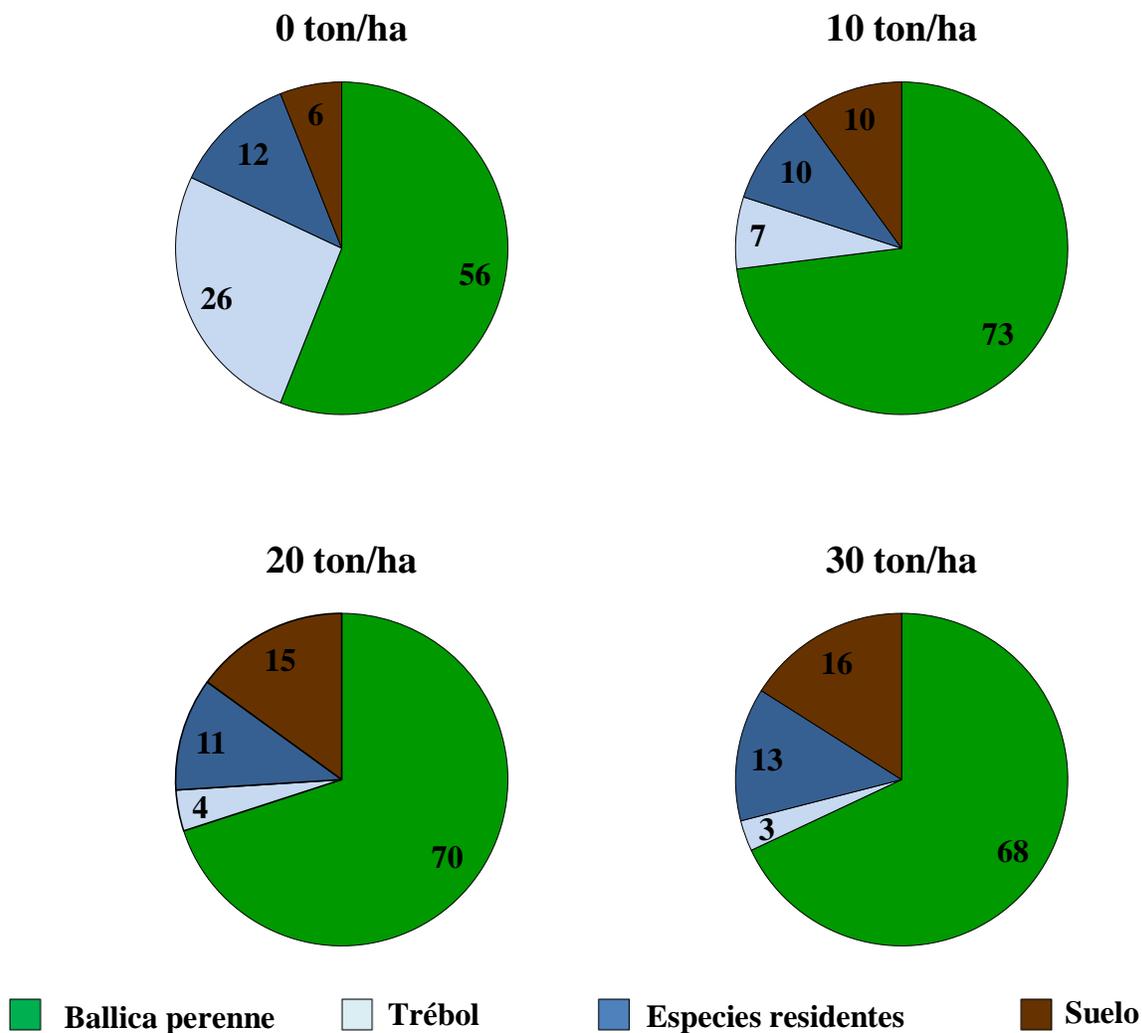


Figura 4.15: Efecto de la aplicación sucesiva de lodo sobre el porcentaje (%) de cobertura de la ballica perenne, según las diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha), en comparación con el suelo y otras especies vegetales presentes, referente a las dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha) de lodo aplicado al suelo, analizado el 19 de Abril del 2010.

Se demostró que a medida en que se aumentaba la dosis de lodo, existió una tendencia de aumento en el porcentaje de cobertura de la ballica perenne en la pradera, esto debido a que tiene mayor disponibilidad de macro y micronutrientes en el suelo. Por otro lado, con la aplicación del lodo mejora la macroporosidad del suelo, formando agregados de mayor tamaño, lo que se traduce en una mayor capacidad de retención de agua y por lo tanto, mayor crecimiento de la planta, aumentando su cobertura en el suelo (Arias, 2003).

Por otro lado, a medida en que se aumentó la dosis, el porcentaje de trébol disminuyó notablemente, desde un 26 % del tratamiento 0 ton/ha hasta un 3 % de cobertura de la dosis 30 ton/ha. La disminución en la presencia del trébol en las parcelas se debe a que el lodo presenta grandes cantidades de macronutrientes, dentro de los cuales está el nitrógeno, el cual estimula con mayor rapidez el crecimiento de la ballica perenne en relación al trébol, disminuyendo su competitividad por agua, luz y nutrientes.

El contenido de especies residentes se mantuvo constante entre los diferentes tratamientos, teniendo un 12 % para la dosis 0 ton/ha, 10 % en la dosis 10 ton/ha, 11 % en la dosis 20 ton/ha y un 13 % para la dosis 30 ton/ha. El porcentaje de suelo descubierto aumentó a medida en que se aplicaba mayor cantidad de lodo al suelo, desde un 6 % para la dosis 0 ton/ha hasta un 16 % para la dosis 30 ton/ha. Esto debido a que, la mayor cantidad de trébol crecía en la entrehilera, por lo tanto, al aumentar el crecimiento de la ballica perenne, la cantidad de trébol disminuyó gracias a una mayor competencia interespecífica, dejando la entrehilera a suelo descubierto.

En un estudio realizado por de Koff *et al.*, (2010) donde se analizó el % de cobertura de *Lolium perenne* L. y de *Festuca arundinacea* Schreb., con la aplicación de mezclas en diferentes dosis de desechos de arena fundida mezclado con yeso, se demostró que en ambas especies, el % de cobertura en la pradera aumenta a medida en que se eleva la dosis de la mezcla, debido a un aumento en el crecimiento de las plantas.

En la figura 4.16 se expresa el porcentaje (%) de cobertura de la ballica perenne en comparación con el trébol, especies residentes y suelo en la parcela en campo, según las distintas dosis de lodo aplicado (0, 10, 20 y 30 ton/ha), cuya fecha de análisis fue el 3 de Septiembre del 2010.

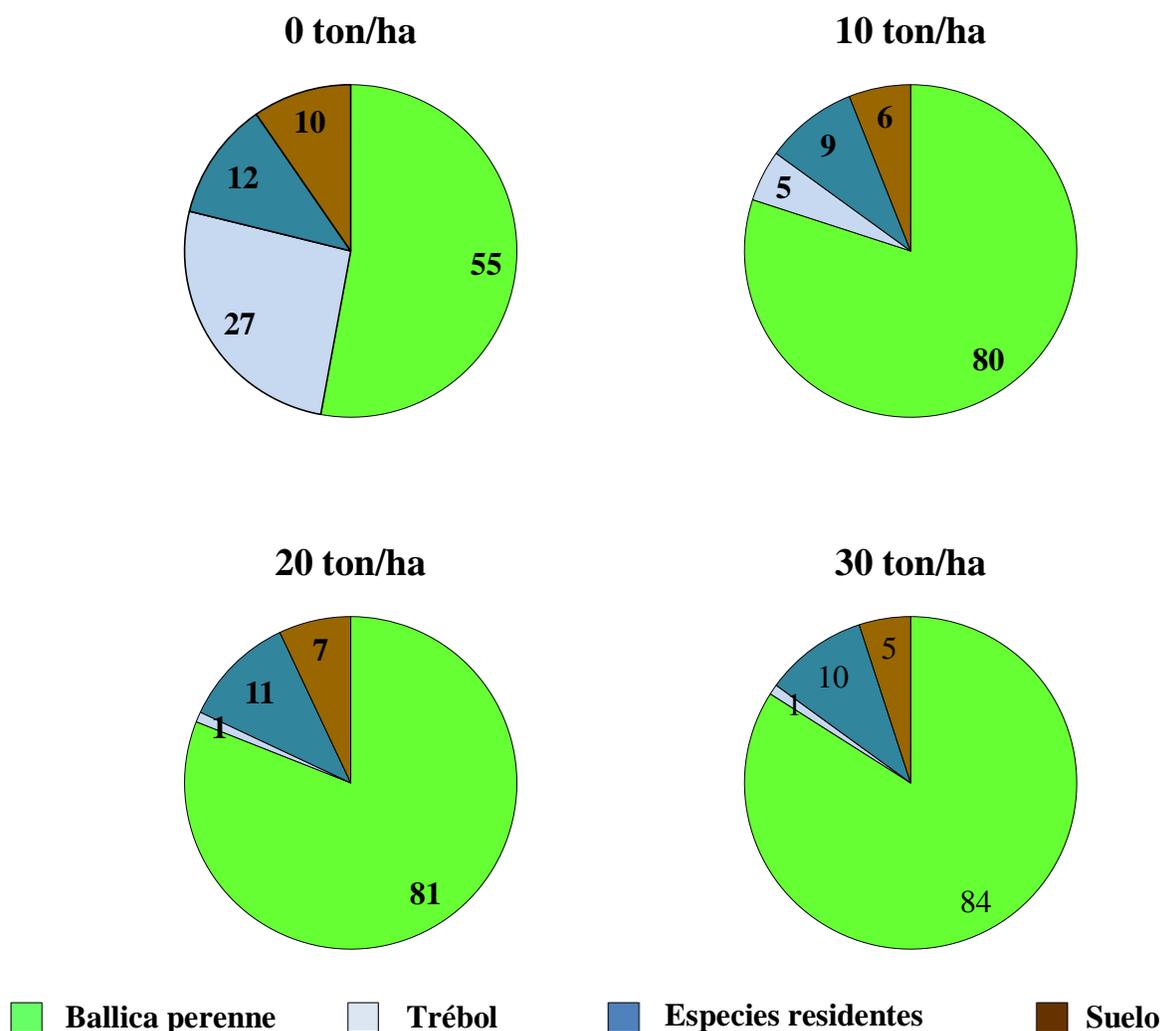


Figura 4.16: Efecto de la aplicación sucesiva de lodo sobre el porcentaje (%) de cobertura de la ballica perenne, según las diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha), en comparación con el suelo y otras especies vegetales presentes, referente a las dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha) de lodo aplicado al suelo, analizado el 3 de Septiembre del 2010.

Se apreció un cambio evidente entre la dosis 0 ton/ha con el resto de los tratamientos. En el caso de la ballica perenne, existió una gran diferencia respecto al testigo, que tiene un 55 % de cobertura sobre la pradera comparado con el 80 %, 81 % y 84 % que tienen las dosis 10, 20 y 30 ton/ha respectivamente. El % de ballica no tuvo diferencias mayores con las aplicaciones de lodo, evidenciando un leve aumento en la dosis 30 ton/ha.

En el caso del trébol, el tratamiento testigo tuvo la mayor cantidad, con un 27 % de la cobertura total, disminuyendo notoriamente su presencia a medida en que se aumentó la dosis de lodo aplicado. El tratamiento 10 ton/ha presentó un 5 % de trébol, y la dosis 20 y 30 ton/ha, ambas con una presencia de 1 %. Los resultados evidenciaron que a mayor cantidad de ballica perenne presente, hay una menor cantidad de trébol, esto debido a que posee una mayor competitividad por luz, agua y nutrientes que el trébol, además de un crecimiento con mayor rapidez al adicionar el lodo. Por otro lado, la ballica perenne puede haber provocado un posible efecto alelopático hacia el trébol. Takahashi *et al.*, (1993) comprobó, utilizando una metodología de exudados radicales, que *Lolium perenne* L. afecta en forma negativa el crecimiento de *Trifolium repens* L, debido la actividad alelopática de sus raíces.

El porcentaje (%) de especies residentes no varió significativamente, teniendo un 12 % en la dosis 0 ton/ha disminuyendo en la dosis 30 ton/ha a un 10 %. En el caso del suelo, también hubo una leve disminución a medida en que se elevó la dosis de lodo aplicado. Para la dosis 0 ton/ha hubo un 10 %, con un 6 % para la dosis 10 ton/ha, 7 % para la dosis 20 ton/ha y finalmente para la dosis 30 ton/ha un 5 %.

Ahora, comparando las dos fechas analizadas, se pudo observar una serie de cambios. En el caso del % de ballica, se observó una mayor participación en el tiempo a medida en que se eleva la dosis de lodo, teniendo en la dosis 30 ton/ha un 68 % en Abril y 84 % en el mes de Septiembre. Igual caso se evidenció en el % de suelo descubierto, para la dosis 20 y 30 ton/ha en el mes de Abril se detectó un 15 y 16 % respectivamente, disminuyendo en el mes de Septiembre con 7 y 5 %, respectivamente. Esto se puede deducir debido a que, al aumentar el % de ballica presente, ocupa mayor espacio en la pradera y mantiene el suelo cubierto.

4.8 Efecto de la aplicación de lodo sobre la composición botánica de la ballica perenne (*Lolium perenne* L. var Banquet) sobre la pradera.

En la figura 4.17 se muestra la composición botánica (%) detallada en ballica perenne y en especies residentes, según las diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha) de lodo aplicado al suelo.

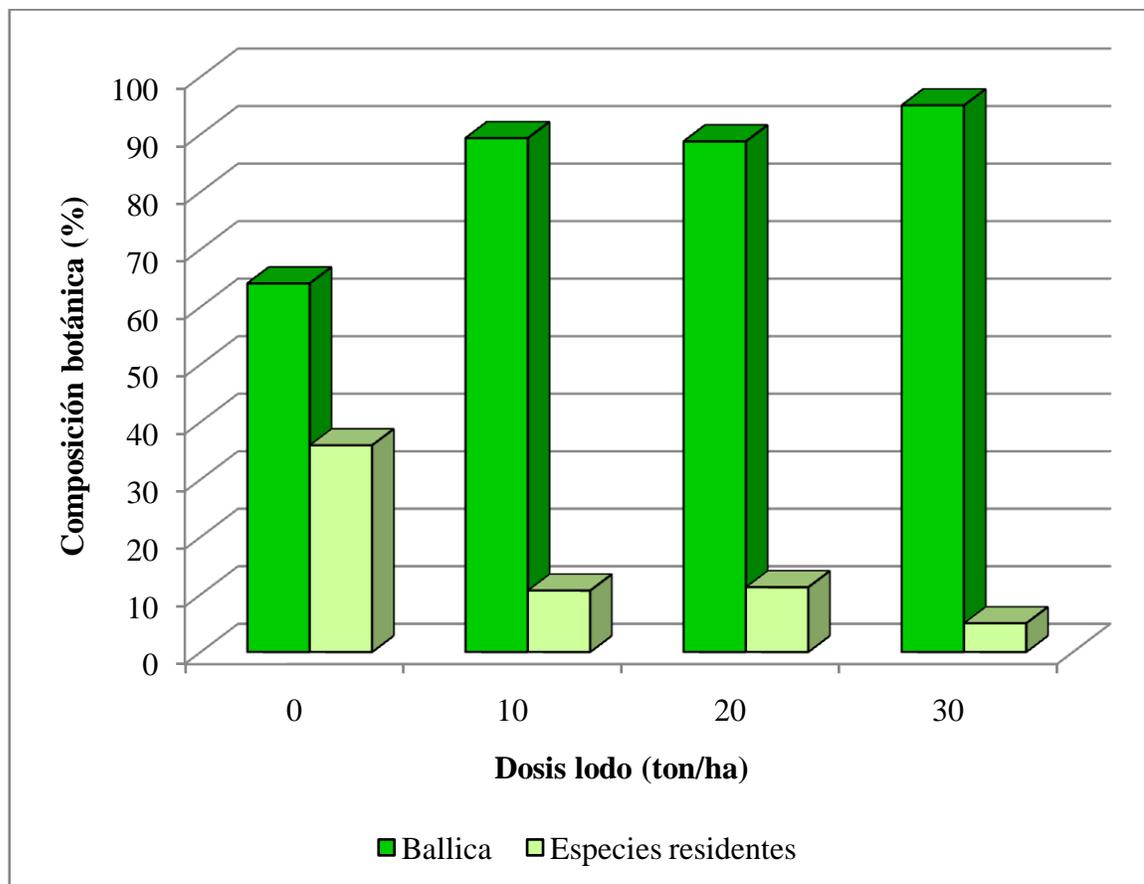


Figura 4.17: Efecto de la aplicación sucesiva de lodo sobre la composición botánica expresada en % de ballica perenne y de especies residentes según las distintas dosis de lodo (0, 10, 20, 30 ton/ha) aplicado al suelo.

La dosis 0 ton/ha, la ballica perenne contribuyó en mayor porcentaje a la pradera en comparación con las especies residentes. Se obtuvo una producción total de 5,65 ton MS/ha, donde la ballica perenne produjo 3,62 ton MS/ha con una participación de un 64 %. En tanto, las especies residentes participaron en un 36 % en la composición botánica de la pradera, con 2,02 ton MS/ha.

La competitividad de la ballica perenne disminuye con las especies residentes, al no poseer una gran cantidad de nutrientes disponibles para su óptimo crecimiento.

Las dosis 10 ton/ha y 20 ton/ha poseen el mismo porcentaje de ballica perenne y de especies residentes, con 89 % para la primera y 11 % para la segunda, pero con diferentes producciones de materia seca en cada tratamiento. Para la dosis 10 ton/ha, la producción total fue de 11,06 ton MS/ha, donde la ballica perenne tuvo una producción de 9,88 ton MS/ha y las especies residentes 1,18 ton MS/ha. En el caso del tratamiento 20 ton/ha, las producciones fueron mayores debido al aumento de lodo aplicado al suelo, la producción total fue de 15,47 ton MS/ha, la ballica perenne produjo 13,73 ton MS/ha y por último las especies residentes tuvieron una producción de 1,74 ton MS/ha. Es decir, al aumentar la cantidad de lodo aplicada, aumenta la producción de materia seca en la ballica perenne y en las especies residentes, manteniéndose el 89 % y el 11 %, respectivamente. Para el tratamiento 30 ton/ha se produjo un aumento en el porcentaje de ballica perenne y una disminución de las especies residentes en comparación con los tratamientos anteriormente mencionados. La producción total fue de 21,84 ton MS/ha, ocupando el 95 % de la composición botánica la ballica perenne con una producción de 20,75 ton MS/ha y las especies residentes un 5 %, produciendo 1,09 ton MS/ha.

López (2003) realizó un estudio donde evaluó la fertilización con lodos de depuradora urbana en sistemas silvopastorales, donde se detectó un aumento en la producción de la pradera y una evolución en la composición botánica de la misma, la cual se vio favorecida por la gran cantidad de nutrientes que posee el lodo.

En síntesis, se puede apreciar una respuesta positiva, es decir, un aumento de la cantidad de ballica perenne producida expresada en ton MS/ha, lo que incide en una mayor presencia en la composición botánica de la pradera, en comparación con las especies residentes, que aunque también se evidencia un alza en su producción, resulta poco significativa en comparación con la ballica perenne. Este efecto es de suma importancia para la calidad de la pradera, ya que mientras mayor cantidad de ballica perenne posea, tendrá una mayor calidad nutritiva.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

- La aplicación de lodos provenientes de la industria de la celulosa en diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 ton/ha) al suelo generó aumento en la cantidad de P-Olsen.
- Los niveles de P foliar aumentaron con la aplicación de lodo al suelo, debido a que existía una mayor cantidad de P disponible en el suelo para ser absorbido por la planta.
- La producción de materia seca está directamente relacionada con la dosis de lodo, ya que al aumentar éste último genera una respuesta positiva en la productividad de la ballica perenne, demostrándose en la materia seca acumulada en las cuatro aplicaciones. El mayor contenido de materia seca se obtuvo con las dosis 30 ton/ha en todas las aplicaciones y el menor con la dosis 0 ton/ha.
- La aplicación de lodo aumenta el número de macollos/m², ya que los testigos tuvieron los menores valores reportados. A medida en que transcurre el tiempo, a mayor dosis de lodo, mayor número de macollos/m².
- El porcentaje de cobertura de la ballica perenne aumentó a medida en que se elevó la dosis de lodo. Contrariamente, el porcentaje suelo descubierto, de trébol y de especies residentes disminuyó a medida que se aumentó la dosis de lodo.
- En la composición botánica, a medida que se aplicó mayor cantidad de lodo al suelo, se evidenció una mayor presencia de ballica perenne en relación a las especies residentes.

CAPÍTULO 6

RESUMEN

6. RESUMEN

Para la fabricación de celulosa, se generan una gran cantidad de efluentes que se consideran un agente contaminante para el ambiente. Este lodo posee un alto contenido de materia orgánica, macro y micronutrientes, características que le otorgan una alta calidad para utilizarlo como fertilizante en la agricultura, comprobándose en estudios realizados a nivel internacional.

El presente estudio se basó en la hipótesis que la incorporación sucesiva de lodo proveniente de la industria de la celulosa incrementa los niveles de P en el sistema suelo-planta en una pradera de *Lolium perenne* L., mejorando la productividad vegetal. El objetivo del estudio es la evaluación de cuatro aplicaciones sucesivas de lodo proveniente de la industria de la celulosa sobre los niveles de P en el suelo, a nivel foliar y la productividad de *Lolium perenne* L. var Banquet en un suelo derivado de cenizas volcánicas serie Freire ubicado en el sector Maquehue, Región de la Araucanía. Para el diseño experimental, se crearon 12 parcelas de 6 m de largo x 2 m de ancho, con un área de 12 m². Se aplicaron dosis de 0, 10, 20 y 30 ton/ha, con tres repeticiones y cuatro aplicaciones cada 90 días. Posteriormente se realizaron cortes mensuales para extraer las muestras vegetales en campo. Luego, se analizaron para medir el nivel de P-Olsen del suelo, la productividad el nivel de P foliar de *Lolium perenne* L. var Banquet.

Los resultados demostraron que la aplicación sucesiva de lodo elevó los niveles de P-Olsen comparado con el tratamiento testigo. Además, incrementó los niveles de P foliar, debido a que el suelo tenía una mayor cantidad de este nutriente disponible para la planta. Por otro lado, la aplicación sucesiva del lodo incrementó los niveles de producción de materia seca de la ballica perenne, mejoró la cobertura sobre la pradera, aumentó el número de macollos/m² y se evidenció una mayor presencia de la ballica perenne en comparación con las especies residentes.

CAPÍTULO 7

SUMMARY

7. SUMMARY

A great quantity of effluent has to be created to manufacture cellulose; which is considered a pollutant agent for the environment. This sludge has a high organic matter content, macro and micronutrients, features that provide a high quality to use as fertilizer in agriculture, as it has been proven in international studies.

The present study is based on the hypothesis that the successive incorporation of sludge from the industry of the cellulose possesses a significant effect in the soil, on having increased the levels of P in the system soil-plant in a meadow of *Lolium perenne* L., improving the vegetable productivity. The aim of this study is the evaluation of four successive applications of sludge from the cellulose industry on the levels of P in soil, leaf and productivity of *Lolium perenne* L. var Banquet in a soil derived from volcanic ash that was obtained from Freire and Maquehue sectors, in Region of Araucanía. For the experimental design, there were created 12 plots of 6 x 2 m with an area of 12m², which were applied with doses of 0, 10, 20 and 30 ton / ha, with three repetitions and four applications every 90 days. Later, monthly cuts were done to extract the vegetable samples in field. Then, they were analyzed to measure P-Olsen's level of the soil, the productivity and the level of P to foliate of everlasting *Lolium* L. var Banquet.

The results showed that the successive application of sludge increased the Olsen-P levels in comparison to the control. Also, levels of P leaf increased, because the soil contains a greater amount of this nutrient available to the plant. In addition, the successive application of sludge increased the levels of dry matter production of *Lolium perenne* L., improved coverage on the meadow, increased the number of clump/m², and showed a greater presence of *Lolium perenne* L. compared with resident species.

CAPÍTULO 8

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Altesor, A., Eguren, G., Mazzeo, N., Panario, D., Rodriguez, C. 2008.** La industria de la celulosa y sus efectos: certezas e incertidumbres. *Ecología Austral*. 18:291-303.
- **Alvear, M., Pino, M., Castillo, C., Trasar- Cepeda, C., Gil-Sotres, F. 2006.** Efecto de la cero labranza sobre algunas actividades biológicas en un alfisol del sur de Chile. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 6:38-53.
- **Al Zoubi, M., Arslan, A., Abdelgawad, G., Pejon, N., Tabbaa, M., Jouzdan, O. 2008.** The effect of sewage sludge on productivity of a crop rotation of wheat, maize and vetch and heavy metals accumulation in soil and plant in aleppo governorate. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 3:618-625.
- **Arias, M. 2003.** Utilización de residuos sólidos industriales provenientes del proceso de fabricación de celulosa Kraft en la producción vegetal. Tesis Ingeniero Ambiental. Universidad de La Frontera, Temuco.
- **Aravena, C., Valentin, C., Diez, MC., Mora, ML., Gallardo, F. 2007.** Aplicación de lodos de planta de tratamiento de celulosa: Efecto en algunas propiedades físicas y químicas de suelos volcánicos. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 7:1-14.
- **Barrenechea, M. 2006.** Aplicación de lodo secundario de la industria de celulosa en suelos derivados de cenizas volcánicas y su impacto sobre la producción de *Lolium perenne* L. Tesis Ingeniero Agrónomo. 90 p. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

- **Bartoli, F., Begib, J.C., Burtin, G., Schouller, E. 2007.** Shrinkage of initially very wet soil blocks, cores and clods from a range of european Andosol horizons. *European Journal of Soil Science*. 58:378-392.
- **Besoain M., E. 1985.** Los suelos. In: Tosso T, J. (Ed.). *Suelos volcánicos de Chile*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile. 25-106.
- **Bettiol, W., Santos, I., 2001.** Efeito do lodo de esgoto fitopatógenos veiculados pelo solo. 30 pp. Embrapa Meio ambiente.
- **Bolan, N., Adriano, S., Naidu, D., Mora, ML., Mahimairaja, S. 2005.** Phosphorus-trace element interactions in soil-plant systems. In *phosphorus: agriculture and the environment*. Edited by J. Thomas Sims, Andrew N. Sharpley, G.M. Pierzynski, D.T. Westermann, M.L. Cabrera, J.M. Powell, T.C. Daniel, and P.J.A. Withers. *American Society of Agronomy*. 46:317-352.
- **Bonomelli, C., Bonilla, C., and Valenzuela, A. 2003.** Efecto de la fertilizacion fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 38:1179-1186.
- **Bunemann, E.K., Steinebrunner, F., Smithson, P.C., Frossard, E., Oberson, A. 2004.** Phosphorus dynamics in a highly weathered soil as revealed by isotopic labeling techniques. *Soil Science Society of America Journal*. 68:1645–1655.
- **Bustos, C. 2005.** Evaluación de lodos de salmonicultura como fertilizante orgánico en pradera anual de ballica (*Lolium multiflorum* L.) en suelos trumaos. Tesis Ingeniero Agrónomo. 102 p. Universidad Austral, Valdivia, Chile.

- **California Fertilizer Foundation (C.F.F.). 2009.** Natural Resources Fact Sheet Plant Nutrients-Phosphorus. Disponible en <http://www.cfaitc.org/Commodity/pdf/Phosphorus.pdf>. Leído el 25 de Junio de 2010.
- **Carrasco, M., Ahumada, I., Castillo, G., Sadzawka, A., Pedraza, C., Leon, O. 2004.** Absorción de Cu y Zn en ballica (*Lolium perenne* L.) cultivada en suelos tratados con biosólidos. Investigación FONDECYT, Proyecto 1020129.
- **Celis, J., Sandoval, M., Barra, Ricardo. 2008.** Plant response to salmon wastes and sewage sludge used as organic fertilizer on two degraded soils under greenhouse conditions. Chilean Journal of Agricultural Research. 68:274-283.
- **Centro Agronómico de Investigación y Desarrollo (CAID), 2010.** Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.
- **CORMA. 2010.** <http://www.corma.cl>. Leído el 30 de Mayo del 2010.
- **Criquet, S., Braud, A., Neble, S. 2007.** Short-term effects of sewage sludge application on phosphatase activities and available P fractions in Mediterranean soils. Soil Biology & Biochemistry. 39:921–929.
- **De Koff, J.P., Lee, B.D., Dungan, R.S., Santini, J.B. 2010.** Effect of Compost-, Sand-, or Gypsum-amended Waste Foundry Sands on Turfgrass Yield and Nutrient Content. Journal of Environmental Quality. 39:375–383.
- **Demagnet, R. 2008.** Manual de especies forrajeras y manejo de pastoreo. 199 p. Plan de desarrollo lechero Watts.

- **Dörner, J., Dec, D., Peng, X., Horn, R. 2009.** Efecto del cambio de uso en la estabilidad de la estructura y la función de los poros de un Andisol (TYPIC HAPLUDAND) del sur de Chile. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 9:190-209.
- **Esparza, J. 2004.** Uso de lodo biológico proveniente del tratamiento de efluentes de la industria de la celulosa como mejorador de suelos degradados. Tesis para optar al grado académico de magíster en ciencias de recursos naturales. 91p. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.
- **Fernandes, S.A.P., Bettiol, W., Clementi, C. 2005.** Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. *Applied Soil Ecology*. 30:65–77.
- **Fuentes, B., Bolan, N., Naidu, R., Mora, ML. 2006.** Phosphorus in organic waste-soil systems. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 6:64-83.
- **Gallardo, F., Pino, M., Alvear, M., Borie, F. 2005.** Effect of aluminium on dry matter production and nitrate reductase activity of two wheat genotypes, growing in nutritive solutions. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 5:30-36.
- **Gallardo, F., Mora, ML., Diez, MC. 2007.** Kraft mill sludge to improve vegetal production in Chilean Andisol. *Water Science and Technology*. 55:31-37.
- **Gallardo, F., Bravo, C., Briceño, G., Diez, MC. 2010.** Use of sludge for kraft mil wastewater treatment as improver of volcanic soils: effect on soil biological parameters. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 10:48-61.
- **Ghiselini, I. 2008.** Efecto de la interacción molibdeno-fosforo-cal sobre el rendimiento y calidad en plantas de *Trifolium pratense* L. en un Andisol del Sur de Chile. Tesis Ingeniero Agrónomo. 72 p. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

- **Goyal, S., Chander, K., Mundra, M.C., Kapoor, K.K. 1999.** Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. *Biology and Fertility of Soils*. 29:196-200.
- **Havlin, J. L., J. Beaton, W. Nelson, and S. Tisdale. 1999.** *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. 515 p. Prentice Hall, New York.
- **Havlin, J. 2004.** Technical basis for quantifying phosphorus transport to surface and groundwaters. *Journal of Animal Science*. 82:277-291.
- **Hernandez, O. 2002.** Variación estacional de la concentración de nutrientes minerales en cultivares de *Lolium perenne* L. Tesis Licenciado en Agronomía. Universidad Austral, Valdivia, Chile.
- **Hidalgo, R. 1985.** Suelos volcánicos de Chile. 723 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago. Chile.
- **Hojati, S., Nourbakhsh, F. 2006.** Enzyme activities and microbial biomass carbon in a soil amended with organic and inorganic fertilizer. *Journal of Agronomy*. 5:563-569.
- **Honorato, R. 2000.** Manual de edafología. Cuarta edición. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago-Chile. 195p.
- **Hoyos, N., Comerford, N. 2005.** Land use and landscape effects on aggregate stability and total carbon of Andisols from Colombian Andes. *Geoderma*. 129:268-278.
- **John, R., Ahmad, P., Gadgila, K., Sharma, S. 2009.** Heavy metal toxicity: Effect on plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by *Brassica juncea* L. *International Journal of Plant Production*. 3: 65-76

- **Keim San Martin, J.P. 2009.** Mejoramiento de una pradera permanente degradada, a través del establecimiento de especies y de la fertilización. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Austral, Valdivia, Chile.

- **Kimble, J.M., Ping, C.L., Sumner, M.E., Wilding, L.P., 2000.** Andisols. In: Sumner. 209-224. Editorial Handbook of Soil Science.

- **Krogstad, T., Sogn T., Asdal A, Saebo A., 2005.** Influence of chemically and biologically stabilized sewage sludge on plant-available phosphorous in soil. Ecological Engineering. 25:51-60.

- **López, M.L. 2003.** Fertilización con lodos de depuradora urbana en sistemas silvopastorales. Tesis Escuela Politécnica Superior, Universidad Santiago de Compostela, España.

- **Mohanty, S. 2006.** Availability and uptake of phosphorus from organic manures in groundnut (*Arachis hypogea* L.)- corn (*Zea mays* L.) sequence using radio tracer technique. Geoderma. 133:225–230.

- **Monsalvez, E. 2007.** Evidencia de compuestos con actividad estrogénica presentes en un efluente de celulosa Kraft, mediante el uso de una cepa de levadura modificada. 57 p. Tesis Grado Licenciado en Biología. Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

- **Mora, ML., Alfaro, MA., Jarvis, SC., Demanet, R., Cartes, P. 2006a.** Soil aluminium availability in Andisols of southern Chile and its effect on forage production and animal metabolism. Soil Use and Management. 22:95-101.

- **Mora, ML., López, R., Rao, M., Gianfreda, L., Rosas, A. 2006b.** Interaction of phosphatase with a Chilean Andisol clay in the presence of manganese and molybdenum. 18th World Congress of Soil Science, July 9-15, 2006. Philadelphia, Pennsylvania, USA.

- **Moreno, J., García, C., Landi, L., Falchini, L., Pietramellara, G., Nannipieri, P. 2001.** The ecological dose value (ed50) for assessing Cd toxicity on ATP content and dehydrogenase and urease activities of soil. *Soil Biology Biochemistry*. 33:483-489.
- **O'Connor GA., Sarkar D., Brinton SR., Elliot HA., Martin FG. 2004.** Phytoavailability of biosolids phosphorus. *Journal of Environmental Quality*. 33:703-712.
- **Panichini, R. 2006.** Efecto de la incorporación de lodos de la industria de celulosa, en la producción de ballica perenne (*Lolium perenne* L.) en un Andisol y Ultisol de la IX región de la Araucanía. 102 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.
- **Pontes, W.L. 2002.** Mineralização de um biossólido industrial no solo e efeito desse na biomassa e atividade microbiana. 73p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil.
- **Rato Nunes, J., Cabral, F., López-Piñeiro, A. 2008.** Short-term effects on soilproperties and wheat production fromsecondary paper sludge application on twoMediterranean agricultural soils. *Bioresource Technology*. 99:4935-4942.
- **Redel, Y., Rubio, R., Godoy, R., Borie, F. 2008.** Phosphorus fractions and phosphatase activity in an Andisol under different forest ecosystems. *Geoderma*. 145:216-221.
- **Rojas, C. 2006.** Interpretación de la disponibilidad de fósforo en los suelos de Chile. Manejo de los recursos naturales en el sistema de incentivos para la recuperación de suelos degradados de la Araucanía. 165 p. Centro Regional de Investigación INIA Carillanca, Temuco, Chile.

- **Ros, M., Pascual, JA., Garcia, C., Hernandez, M., Insam, H. 2006.** Hydrolase activities, microbial biomass and bacterial community in a soil after longterm amendment with different composts. *Soil Biology and Biochemistry*. 38:3443-3452.
- **Sadzawka A., Carrasco M., Grez R., and Mora M. 2004.** Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos. 113 p. Comisión de normalización y acreditación. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo.
- **Sánchez, P. A., Palm, C. A., Buol, S. W. 2003.** Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma*. 114:157-185.
- **Sánchez-Monedero, M., Mondini, C., Cayuela, M., Roig, A., Contin, M., De Nobili, M. 2008.** Fluorescein diacetate hydrolysis, respiration and microbial biomass in freshly amended soils. *Biology and Fertility of Soils*. 44:885-890.
- **Saravia, C. 2008.** Evaluación de los efectos de la aplicación sucesiva de lodos provenientes de una planta de tratamientos de riles de la industria de celulosa Kraft sobre suelos degradados. 84 p. Tesis Ingeniero Ambiental. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.
- **Segovia, M. 2008.** Evaluación de algunas actividades biológicas en un suelo Andisol, manejado con diferentes dosis de biosólidos cloacales en trigo, al segundo año de aplicación. 90 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.
- **S.K. Yadav. 2010.** Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*. 76:167–179.

- **Takahashi, Y., Otani, I., Hagino, K. 1993.** Studies on allelopathic interactions among some grassland species, 5: Collection and isolation of allelopathic hydrophobic compounds from the root exudates of *Lolium perenne* L. Journal of Japanese Society of Grassland Science. 37:274-282.
- **Takeda, M., Nakamoto, T., Miyazawa, K., Murayama, T., Okada, H. 2009.** Phosphorus availability and soil biological activity in an Andosol under compost application and winter cover cropping. Applied Soil Ecology 42:86-95.
- **Van Der Molen, 2009.** Producción de siete cultivares de *Lolium perenne* L. en el secano de la IX Región de la Araucanía. 48 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.
- **Verma, S., Subehia, S., Sharma, S. 2005.** Phosphorus fractions in an acid soil continuously fertilized with mineral and organic fertilizers. Biology and Fertility of Soils. 41:295-300.
- **Vivas, H., Quaino, E. 2001.** Fertilización y refertilización fosfatada de alfalfa en un suelo del centro este de Santa Fe, con y sin enmienda cálcica. 7 p. INTA EEA Rafaela, Santa Fe, Argentina.
- **Wardle, E., Ghani, A. 1995.** A critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. Biology and Fertility of Soils. 19:269-279.
- **Xavier, C. 2006.** Influencia de la tecnología de tratamiento en la eliminación de fitoesteroides contenidos en efluentes de celulosa kraft y en la toxicidad de estos compuestos en organismos acuáticos, y de genotoxicidad en organismos bacterianos. 165 p. Tesis doctoral. Universidad de Concepción, Centro EULA, Chile

- **Zhang, S., Wang, S., Shan, X., and Mu, H. 2004.** Influences of lignin from paper mill sludge on soil properties and metal accumulation in wheat". *Biology and Fertility of Soils*.40:237-242.

CAPÍTULO 9

ANEXOS

Anexo 1. Datos de P-Olsen por aplicación según dosis de lodo.

P extraíble P-Olsen [mg/kg]		
Dosis (ton/ha)	Aplicación	20 cm
0	Primera	23,9 ± 0,2
10		29,4 ± 2,1
20		30,4 ± 0,7
30		32,3 ± 1,8
0	Segunda	18,6 ± 0,8
10		21,4 ± 1,3
20		21,7 ± 0,7
30		19,9 ± 1,0
0	Tercera	18,6 ± 0,5
10		18,9 ± 1,7
20		18,7 ± 0,7
30		20,3 ± 1,7
0	Cuarta	19,03 ± 0,65
10		18,3 ± 0,7
20		25,73 ± 1,72
30		28 ± 1,02

Anexo 2. Datos de P foliar expresado en % , perteneciente a la primera aplicación de lodo. Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$).

Noviembre					
Dosis	P Total (%)	Promedio	Des St	CV	Error St
0	0,36	0,37 ^{bc}	0,01	2,68	0,01
0	0,37				
0	0,38				
10	0,51	0,52 ^a	0,01	1,95	0,01
10	0,52				
10	0,53				
20	0,44	0,43 ^b	0,01	1,55	0,00
20	0,43				
20	0,42				
30	0,39	0,34 ^c	0,06	16,42	0,04
30	0,28				
30	0,34				

Anexo 3. Datos de P foliar expresado en %, perteneciente a la segunda aplicación de lodo. Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$).

Diciembre					
Dosis	P Total (%)	Promedio	Des St	CV	Error St
0	0,85	0,74 ^{bc}	0,10	12,98	0,07
0	0,67				
0	0,70				
10	0,62	0,69 ^{bc}	0,07	10,22	0,05
10	0,76				
10	0,68				
20	0,69	0,65 ^c	0,04	6,76	0,03
20	0,60				
20	0,65				
30	0,62	0,61 ^c	0,09	14,78	0,06
30	0,52				
30	0,70				

Enero					
Dosis	P Total (%)	Promedio	Des St	CV	Error St
0	1,06	1,03 ^a	0,05	4,48	0,03
0	0,98				
0	1,06				
10	0,90	0,95 ^a	0,06	5,89	0,04
10	1,01				
10	0,95				
20	0,97	0,96 ^a	0,00	0,46	0,00
20	0,96				
20	0,96				
30	0,87	0,87 ^{ab}	0,10	11,47	0,07
30	0,97				
30	0,77				

Anexo 4. Datos de P foliar expresado en %, perteneciente a la tercera aplicación de lodo. Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$).

Febrero					
Dosis	P Total (%)	Promedio	Des St	CV	Error St
0	0,71	0,69 ^e	0,02	3,09	0,02
0	0,67				
0	0,69				
10	0,96	0,99 ^{cd}	0,03	3,18	0,02
10	1,02				
10	0,97				
20	1,07	1,06 ^{cd}	0,01	0,71	0,01
20	1,06				
20	1,05				
30	1,11	1,12 ^{b^c}	0,01	0,95	0,01
30	1,12				
30	1,13				

Marzo					
Dosis	P Total (%)	Promedio	Des St	CV	Error St
0	0,34	0,39 ^f	0,08	20,24	0,06
0	0,48				
0	0,34				
10	1,00	1,00 ^{cd}	0,04	3,50	0,02
10	1,04				
10	0,97				
20	1,15	1,04 ^{cd}	0,10	9,84	0,07
20	1,04				
20	0,94				
30	1,03	1,07 ^{bcd}	0,12	11,67	0,09
30	1,21				
30	0,97				

Abril					
Dosis	P Total (%)	Promedio	Des St	CV	Error St
0	0,86	0,86 ^{de}	0,01	0,58	0,00
0	0,85				
0	0,86				
10	1,20	1,29 ^{ab}	0,16	12,19	0,11
10	1,47				
10	1,19				
20	1,42	1,38 ^a	0,04	2,72	0,03
20	1,34				
20	1,38				
30	0,88	0,96 ^{cd}	0,08	7,84	0,05
30	1,03				
30	0,96				

Anexo 5. Datos de P foliar expresado en %, perteneciente a la cuarta aplicación de lodo. Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$).

Mayo					
Dosis	P Total (%)	Promedio	Des St	CV	Error St
0	1,09	1,09 ^e	0,03	2,98	0,02
0	1,12				
0	1,06				
10	1,14	1,26 ^{de}	0,11	8,37	0,07
10	1,34				
10	1,30				
20	1,40	1,41 ^{abcde}	0,01	0,37	0,00
20	1,41				
20	1,41				
30	1,36	1,43 ^{abcde}	0,06	4,20	0,04
30	1,47				
30	1,45				

Junio					
Dosis	P Total (%)	Promedio	Des St	CV	Error St
0	1,33	1,31 ^{cde}	0,02	1,88	0,02
0	1,32				
0	1,28				
10	1,64	1,64 ^{abcde}	0,10	6,16	0,07
10	1,75				
10	1,54				
20	1,78	1,89 ^{abc}	0,09	4,98	0,07
20	1,93				
20	1,96				
30	2,00	1,99 ^a	0,14	7,20	0,10
30	1,84				
30	2,12				

Julio					
Dosis	P Total (%)	Promedio	Des St	CV	Error St
0	1,01	1,22 ^{de}	0,18	14,62	0,13
0	1,31				
0	1,33				
10	1,33	1,27 ^{de}	0,12	9,70	0,09
10	1,13				
10	1,35				
20	1,36	1,40 ^{abcde}	0,07	4,86	0,05
20	1,36				
20	1,47				
30	1,52	1,48 ^{abcde}	0,12	7,81	0,08
30	1,35				
30	1,56				

Agosto					
Dosis	P Total (%)	Promedio	Des St	CV	Error St
0	1,38	1,37 ^{bcd}	0,05	3,70	0,04
0	1,42				
0	1,32				
10	1,63	1,70 ^{abcd}	0,08	4,86	0,06
10	1,68				
10	1,79				
20	2,08	1,63 ^{cde}	0,45	27,30	0,31
20	1,63				
20	1,18				
30	1,93	1,95 ^{ab}	0,11	5,43	0,07
30	2,07				
30	1,86				

Anexo 6. Datos de producción de materia seca expresada en ton MS/ha desde el corte realizado el 16-11-09 hasta el 03-02-10.

Dosis lodo	Fecha de corte				
	16-11-09	02-12-09	17-12-09	15-01-10	03-02-10
0	0,38	0,20	0,36	0,74	0,27
	0,41	0,62	0,26	0,66	0,11
	0,51	0,32	0,28	0,69	0,08
	0,33	0,27	0,27	0,98	0,22
	0,42	0,32	0,33	0,74	0,26
	0,40	0,29	0,10	0,40	0,23
Promedio	0,41	0,34	0,27	0,70	0,20
10	1,24	1,22	0,72	1,41	1,04
	1,00	1,12	0,73	1,33	1,10
	0,79	0,62	0,39	0,80	1,37
	0,76	0,63	0,44	0,84	1,09
	0,88	0,99	0,51	1,11	1,39
	0,63	0,97	0,69	0,77	0,84
Promedio	0,88	0,93	0,58	1,04	1,14
20	0,99	1,38	0,94	2,14	1,97
	1,55	1,97	0,94	1,78	2,17
	1,20	1,39	0,80	1,23	1,59
	0,98	1,25	1,32	1,66	1,57
	1,47	1,35	0,56	0,76	1,01
	1,28	1,31	0,63	0,86	1,41
Promedio	1,25	1,44	0,87	1,41	1,62
30	2,07	1,91	1,69	2,57	2,12
	2,18	1,69	1,54	2,03	2,20
	1,95	2,03	0,94	3,06	2,22
	1,55	1,42	1,27	2,68	2,38
	1,66	2,02	1,37	2,28	2,67
	1,76	2,04	1,25	2,36	2,59
Promedio	1,86	1,85	1,34	2,50	2,36

Anexo 7. Datos de producción de materia seca expresada en ton MS/ha desde el corte realizado el 25-02-10 hasta el 03-08-10.

Dosis lodo	Fecha de corte					
	25-02-10	18-03-10	12-04-10	24-05-10	30-06-10	03-08-10
0	0,16	0,78	0,08	0,09	0,17	0,09
	0,21	0,75	0,08	0,19	0,04	0,15
	0,19	1,25	0,06	0,11	0,12	0,09
	0,25	0,78	0,10	0,07	0,11	0,06
	0,33	0,75	0,03	0,05	0,08	0,07
	0,39	1,25	0,08	0,11	0,04	0,07
Promedio	0,26	0,93	0,07	0,10	0,09	0,09
10	1,02	2,05	0,72	0,54	0,47	0,36
	0,97	1,60	0,95	0,52	0,38	0,28
	0,93	2,06	0,42	0,28	0,35	0,20
	0,76	2,05	0,30	0,32	0,34	0,19
	1,06	1,60	0,69	0,49	0,42	0,27
	0,73	2,06	0,52	0,31	0,45	0,23
Promedio	0,91	1,90	0,60	0,41	0,40	0,26
20	1,35	1,97	1,21	0,75	0,75	0,50
	1,57	2,13	1,23	0,61	0,62	0,43
	1,16	1,75	1,03	0,74	0,83	0,59
	1,23	1,97	0,80	0,60	0,76	0,60
	0,83	2,13	0,88	0,60	0,68	0,50
	0,84	1,75	0,82	0,45	0,83	0,55
Promedio	1,16	1,95	1,00	0,63	0,74	0,53
30	1,47	1,94	1,60	1,20	0,92	0,57
	1,62	2,79	1,55	1,03	1,12	0,70
	2,01	2,77	1,54	0,93	0,86	0,60
	1,20	1,94	1,66	0,85	0,76	0,69
	1,77	2,79	1,60	0,83	0,98	0,48
	1,67	2,77	1,93	0,98	1,23	0,60
Promedio	1,62	2,50	1,65	0,97	0,98	0,61

Anexo 8. Datos de número de macollos/m², fecha de conteo 19 de Abril del 2010

Dosis lodo (ton/ha)	N° macollos/0,105 m ²			N° plantas/m ²			Promedio
	R I	R II	R III	R I	R II	R III	
0	205	216	145	1952	2057	1381	1797
10	402	359	424	3829	3419	4038	3762
20	363	353	304	3457	3362	2895	3238
30	367	312	300	3495	2971	2857	3108

Anexo 9. Datos de número de macollos/m², fecha de conteo 03 de Septiembre del 2010

Dosis lodo (ton/ha)	N° macollos/0,008 m ²			N° plantas/m ²			Promedio
	R I	R II	R III	R I	R II	R III	
0	49	34	29	3063	2125	1813	2333
10	53	62	57	3313	3875	3563	3583
20	76	40	53	4750	2500	3313	3521
30	72	77	82	4500	4813	5125	4813

Anexo 10. Datos de cobertura de las diferentes especies vegetales y del suelo, fecha de conteo 19 de Abril del 2010.

Dosis lodo (ton/ha)	Ballica perenne	Trébol	Especies residentes	Suelo
0	56	26	12	6
10	73	7	10	10
20	70	4	11	15
30	68	3	13	16
Promedio	67	10	12	12

Anexo 11. Datos de cobertura de las diferentes especies vegetales y del suelo, fecha de conteo 3 de Septiembre del 2010.

Dosis lodo (ton/ha)	Ballica perenne	Trébol	Especies residentes	Suelo
0	55	27	12	10
10	80	5	9	6
20	81	1	11	7
30	84	1	10	5
Promedio	75	9	11	7

Anexo 12. Datos de composición botánica de la pradera expresada en %.

Dosis lodo (ton/ha)	Producción total	Producción ballica	% de ballica	% Especies residentes
0	5,65	3,62	64	36
10	11,06	9,88	89	11
20	15,47	13,73	89	11
30	21,84	20,75	95	5
Promedio	13,51	12,00	84	16