

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS PROVENIENTES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS SOBRE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA E HIDROFOBICIDAD DE UN SUELO ANDISOL.

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.

FELIPE EDUARDO ARROYO TRONCOSO

TEMUCO CHILE

2010

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS PROVENIENTES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS SOBRE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA E HIDROFOBICIDAD DE UN SUELO ANDISOL.

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.

FELIPE EDUARDO ARROYO TRONCOSO
PROFESOR GUIA: JORGE BARAONA VENEGAS

TEMUCO Ë CHILE

2010

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS PROVENIENTES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS SOBRE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA E HIDROFOBICIDAD DE UN SUELO ANDISOL.

PROFESOR GUIA ACADEMICO

: Jorge Baraona Venegas

Ingeniero Agrónomo, M. Sc.

Departamento de Cs. Agronómicas y Recursos

Naturales

PROFESOR CONSEJERO

: Itilier Salazar Quintana

M.Sc. en Ciencias Químicas.

Departamento de Ciencias Químicas y Recursos

Naturales

CALIFICACION PROMEDIO TESIS

:

AGRADECIMIENTO.

Quiero agradecer con todo cariño a mis padres por el apoyo incondicional, por el esfuerzo inagotable y su persistencia que me han brindado para llegar a este momento tan especial, también agradecer a mis hermanos por su apoyo y consejos que me han transmitido durante toda mi estadía en esta etapa de mi vida, agradecer al apoyo de mis amigos y compañeros de universidad y en especial a Monita.

Mis sinceros agradecimiento mi profesor guía Sr. Jorge Baraona y Profesor consejero Sr. Itilier Salazar por sus consejos, oportunidad que me brindaron y el tiempo que entregaron a mis consultas.

También agradecer la amabilidad y apoyo en mi breve transcurso por el Departamento de Ciencias Químicas a las Sras Carmen y Noelia.

Agradezco al apoyo y financiamiento entregado por el proyecto Diufro N°120620

ÍNDICE

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISION BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Antecedentes generales	3
2.2	Los Biosólidos	4
2.3	Composición de los biosólidos	5
2.3.1	Contenido Orgánico	6
2.3.2	Nutrientes	7
2.3.3	Concentración de metales	7
2.4	Disposición final de biosólidos	8
2.4.1	Relleno sanitario	8
2.4.2	Incineración	8
2.4.3	Reciclaje	9
2.5	El suelo	10
2.5.1	Materia orgánica	11
2.5.2	El suelo Andisol	13
2.6	Propiedades físicas del suelo	14
2.6.1	Estructura	14
2.6.2	Textura	14
2.6.3	Porosidad total	14
2.6.4	Infiltración	15
2.7	La Conductividad hidráulica del suelo	15
2.7.1	Métodos de medición de conductividad hidráulica	16
2.8	Hidrofobicidad	17
2.8.1	Método para la determinación de hidrofobicidad a través del ángulo de contacto.	19
2.9	Ventajas y Desventajas de la aplicación de biosólidos en el suelo	21
2.9.1	Ventajas de la aplicación de biosólidos	21
2.9.2	Desventajas de la aplicación de biosólidos	22

3	MATERIALES Y METODOS	23
3.1	Materiales	23
3.1.1	Ubicación del ensayo	23
3.1.2	Suelo	23
3.1.3	Manejo del ensayo e implementos utilizados	24
3.1.4	Conductividad hidráulica	25
3.1.5	Hidrofobicidad	26
3.2	Métodos	27
3.2.1	Determinación de conductividad hidráulica	29
3.2.2	Determinación de ángulo de contacto	30
3.3	Diseño experimental	32
4	PRESENTACION DE RESULTADOS	33
4.1	Infiltración acumulada a 20 cm de profundidad del suelo	33
4.2	Conductividad hidráulica a 20 cm de profundidad del suelo	34
4.3	Angulo de contacto como medida de la hidrofobicidad del suelo	35
5	DISCUSION DE RESULTADOS	39
6	CONCLUSIONES	43
7	RESUMEN	44
8	SUMARY	46
9	LITERATURA CITADA	47
10	ANEXOS	53

INTRODUCCIÓN.

Las plantas de tratamientos de aguas servidas en Chile han presentado un aumento en los últimos años. Según datos señalados por la superintendencia de servicios sanitarios, SISS, en el país hay 260 sistemas de tratamientos de aguas servidas operando y autorizados, los que atienden a más de once millones y medio de habitantes, la IX región aporta con 33 plantas de tratamientos de aguas servidas.

Así, el tratamiento de aguas servidas implica, en última instancia, un mejoramiento de los cuerpos receptores, tales como ríos, lagos y mar, siendo este importante por la composición de biosólido. Estos corresponden a lodos que contienen gran cantidad de materia orgánica, microorganismo, macro y micro nutriente, metales pasado y agua.

A nivel mundial las grandes cantidades de lodo han traído como consecuencia que estos no sean un material de fácil manejo buscando distintas alternativas para su utilización en el tiempo, Chile no esta ajeno a este fenómeno, ya que en estos momentos los lodos están siendo depositados en rellenos sanitarios que al transcurrir el tiempo se han tomado insuficientes, siendo por lo tanto, necesario la búsqueda urgente de alternativas de destino y de reutilización los que podrían constituirse en opciones de mejoramiento de suelos degradados. Por su contenido de materia orgánica y nutrientes. El suelo seria la alternativa de reciclaje más adecuada, que permitiría recuperar y mejorar la capacidad edáfica, considerando el potencial orgánico y nutricional dependiendo del lugar del cual provenga, siendo el origen determinante en la composición del producto es decir los lodos. La dinámica de estos procesos de producción y reutilización o eliminación de lodos es grande. Día a día las investigaciones revelan formas tendientes a hacer de ésta una actividad económica, sin perder de vista la responsabilidad y sustentabilidad ambiental.

Considerando los posibles efectos que se obtendrán debido a la aplicación de biosólidos sobre el suelo, la hipótesis de trabajo plantea que la aplicación de biosólidos afecta la conductividad hidráulica e hidrofobicidad del suelo.

Objetivo general

Determinar el efecto que tiene la dosis y la frecuencia de aplicación de biosólidos sobre la conductividad hidráulica y la hidrofobicidad de un suelo Andisol, ubicado en la comuna de Cunco.

Objetivos específicos:

1. Determinar el efecto de la dosis y frecuencia de aplicación de biosólidos sobre la conductividad hidráulica saturada medida por el método del cilindro infiltrómetro, a 20 cm de profundidad.
2. Determinar el efecto de la dosis y frecuencia de aplicación de biosólidos sobre la hidrofobicidad del suelo, basada en ascenso capilar.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Antecedentes generales.

Una vez que el agua ha sido utilizada en alimentación humana, en limpieza doméstica, en lavado público o en la industria, incorpora residuos y productos de todo tipo, entonces se convierte en lo que llamamos agua residual (Seoánez, 2005).

Los objetivos de los procesos de tratamiento de aguas residuales son reducir el contenido orgánico, la remoción de nutrientes y la remoción o inactivación de organismos patógenos, que producen la contaminación de éstas aguas (Cuerpos receptores). Para conseguir estos objetivos, se deben llevar a cabo diferentes métodos individuales que se pueden combinar para dar lugar a diversos niveles de tratamiento de las aguas residuales (Alcota, 2002).

El tratamiento de aguas residuales urbanas en plantas de tratamiento es una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos que generan enormes volúmenes de lodos orgánicos altamente putrescibles. Para facilitar el manejo de éstos, se someten a procesos de espesamiento, digestión y deshidratación, adquiriendo así la categoría de biosólidos (Vélez, 2007).

Las aguas residuales se deben considerar como una materia prima que contiene una serie de productos útiles, como el agua, la materia orgánica, y algunas sales y otros productos perjudiciales. Se tratan de separar estos últimos y de aprovechar los demás en beneficio de la aplicación que se considere mas útil (Seoánez, 2005). El tratamiento de aguas servidas es un proceso que genera grandes cantidad de residuos, la acumulación de estos lodos, no es aprobado por los entes ambientalistas, los cuales toman cada día más protagonismo en las agendas políticas de las naciones (Tobasura, 2007), ya que si bien las plantas purificadoras buscan hacer reutilizable la mayor cantidad de agua posible, no tienen mucha claridad sobre qué hacer con éste material (Marambio y Ortega, 2003).

Cabe destacar que a comienzos de la década de los 90 comenzó en Chile, en forma incipiente, el proceso de construcción de plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS). Desde el año 2000, con la publicación de la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Chile. 2001), el proceso se aceleró significativamente (Barañado y Tapia, 2004)

En el país, existen más de 260 sistemas de tratamientos de aguas servidas operando y autorizados por la Superintendencia, los que atienden a más de once millones y medio de habitantes de todo el País. La tecnología de tratamiento predominante corresponde a Lodos Activados con casi un 60% respecto al número de PTAS. Los sistemas Convencionales son los más utilizados en nuestro país, existiendo (a abril de 2007) 177 plantas de tratamiento en base a Lodos Activados o Lagunas Aireadas; les siguen los sistemas no convencionales con 18 Lagunas de Estabilización, Biofiltros, Lombrifiltros, y por último existen 32 Emisarios Submarinos (SIIS, 2010).

2.2 Los Biosólidos

Los biosólidos provenientes de las plantas depuradoras de aguas residuales, también llamados lodos urbanos, son acumulaciones de sólidos orgánicos sedimentables, separados de los distintos procesos de tratamiento de aguas (Celis *et al.*, 2006).

Según Marambio y Ortega, (2004), los procesos de tratamientos son mecánico, biológico y/o químico de purificación de las aguas servidas. Los biosólidos pueden aplicarse directamente sobre los suelos agrícolas ya que presentan elevados contenidos de materia orgánica e importantes cantidades de nutrientes.

2.3 Composición de los biosólidos

Según lo expuesto por Cortez (2003), la composición puede variar en función de su origen, su edad y el tipo de proceso de donde se han generado. Así por ejemplo, procesos de depuración que involucran la adición de compuestos químicos (cloruro férrico, polímeros, etc.) precipitan formando parte de los sólidos.

Es necesaria la estabilización de los lodos cloacales, con el objeto de reducir olores desagradables, patógenos y sólidos orgánicos volátiles, además de obtener un producto que mejore las características físico- químicas del suelo (Faúndez, 2005).

Físicamente, los biosólidos generados en un proceso de tratamiento biológico por lodo activado presentan un color café marrón el que cambia a casi negro cuando está a punto de descomponerse (si es muy claro puede que haya sido aireado en exceso y los sólidos hayan sedimentado). Contienen una concentración de sólidos entre 0,3% y 1,5% (Knight, 1998). Las características químicas de los biosólidos están relacionadas a sus cinco constituyentes principales: nutrientes, contenido orgánico, concentración de patógenos, compuestos orgánicos tóxicos y concentración de metales (Metcalf & Eddy, 1985).

En el cuadro 1 se presentan valores típicos de la composición química de los lodos y biosólidos. Estos valores, junto con las características de los organismos patógenos son de gran importancia para las consideraciones de tratamiento y disposición de los biosólidos.

Cuadro 1: Composición típica de los lodos crudos y los biosólidos.

PARÁMETROS	LODO	BIOSÓLIDOS
Sólidos Secos Totales (% ST)	2,0-8,0	0,83-1,16
Sólidos Volátiles (% de ST)	60-80	59-88
Aceites y Grasas (% de ST)	7-35	5-12
Proteínas (% de ST)	20-30	32-41
Nitrógeno (N, % de ST)	1,5-4	2,4-5,0
Fósforo (P ₂ O ₅ , % de ST)	0,8-2,8	2,8-11,0
Potasio (K ₂ O, % de ST)	0-1	0,5-0,7
Celulosa (% de ST)	8,0-15,0	-----
Hierro (no como sulfuro, % de ST)	2,0-4,0	-----
Sílice (SiO ₂ , % de ST)	15,0-20,0	-----
Materia Orgánica (MO)	-----	59
pH	5,0-8,0	6,5-8,0

Fuente: Cortez, 2003

2.3.1 Contenido Orgánico: Contenido orgánico se expresa como el porcentaje que representan los sólidos volátiles, removidos tras someter al biosólido a una temperatura de 550°C, bajo condiciones de oxidación. Su determinación es importante para determinar su valor térmico, su potencial olor, la utilización como mejorador de suelo y para la generación de biogas (Cortez, 2003).

Los lodos obtenidos de las plantas de tratamiento de agua corresponden a un material con un alto componente de materia orgánica. Es por esto que los efectos de la aplicación de lodos urbanos son predominantemente físicos, mientras que los efectos químicos y nutricionales dependerán de la composición, tratamiento y método de aplicación (Cuevas, 2006).

La presencia de materia orgánica (MO) en el perfil de suelo es clave para la aparición de hidrofobicidad. Por lo que el contenido de carbono orgánico en el suelo permitiría predecir la repelencia (Harper *et al.*, 2000).

2.3.2 Nutrientes: Los biosólidos provenientes de aguas servidas domésticas contiene tres nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas: nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), éstos nutrientes pueden estar en diversas formas químicas. Sin embargo, los niveles de NPK presentes en los biosólidos estabilizados son inferiores a los contenidos en fertilizantes químicos (Cortez, 2003).

2.3.3 Concentración de metales: Los biosólidos pueden contener cierta concentración de metales pesados e iones orgánicos que son función del tipo y cantidad del residuo descargado en el sistema de tratamiento de aguas servidas. Es posible encontrar metales como: boro, cromo, plomo, níquel, mercurio, plata y zinc. A bajas concentraciones. Algunos de estos elementos son micronutrientes esenciales requeridos por las plantas, sin embargo, a altas concentraciones pueden ser tóxicos para los humanos, animales y plantas (Toro, 2005)

Por lo tanto, En Chile, los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas, presentan niveles más bajos de metales pesados que en los países de alta industrialización, siendo los biosólidos de la Región Metropolitana los con mayor nivel de contaminación en el país (Faúndez, 2005).

Por otra parte, los lodos generados en una planta de tratamiento de aguas residuales, puede contener sustancias químicas orgánicas sintéticas aportadas por los efluentes industriales, productos químicos utilizados en el hogar y pesticidas (Araya, 1999).

2.4 Disposición final de los biosólidos

A través de la formación del lodo estos pueden ser dispuestos en las siguientes rutas: relleno sanitario, reciclaje o incineración.

Actualmente los lodos producidos son, en su mayoría, llevados a mono rellenos o incinerados, pero por la descomposición y fermentación y la gran cantidad de cenizas y contaminantes que, respectivamente, generan estas opciones, se busca eliminarlos de una mejor manera. Una de las formas más exploradas en países desarrollados es su utilización en suelos agrícolas y forestales, ya sea como fertilizantes o mejoradores de suelos degradados, debido a las buenas características físicas y químicas que presentan (Marambio y Ortega, 2003).

2.4.1 Relleno sanitario: CONAMA (2001), define Rellenos Sanitarios como la instalación para la disposición final de residuos sólidos en el suelo con tratamiento de impermeabilización, que no origina molestias ni peligros para la salud, seguridad pública y el medio ambiente, y que utiliza principios de ingeniería para confinar los residuos en un área determinada, reduciéndolos al volumen más pequeño posible.

Presenta como desventaja, altos costos de transporte y contribuye a aumentar los impactos que acarrea la operación normal de un vertedero, tales como producción de gases, generación de lixiviados, olores, ruido de la maquinaria, aumento del tráfico, uso de tierras y alteración del paisaje (Toro, 2005).

2.4.2 Incineración: Es uno de los procesos térmicos de trato de desechos. Es considerada como una forma de disposición debido a que reduce el residuo a cerca del 10% de su masa inicial. Consiste en utilizar los gases calientes de combustión de los desechos como fuente calorífica para una turbina a vapor, con los que se genera energía eléctrica (Muñoz y Martínez, 2001).

En algunos casos los incineradores cambian la forma física o química de los metales de su forma elemental a óxidos metálicos o complejos órgano metálicos, o del estado sólido a vapor o finas partículas. Estos cambios pueden resultar en un incremento de la toxicidad. Por ejemplo, los óxidos de cromo, hierro y zinc y ciertas formas órgano metálicos de mercurio, manganeso o níquel, son más tóxicas que los metales en su forma elemental (Vélez, 2007)

2.4.3 Reciclaje: El reciclaje corresponde a una utilización benéfica de los lodos en el suelo que presenta dos objetivos principales: Aprovechar sus características físicas como elemento mejorador del suelo y su potencial fertilizante (determinado por su contenido de nutrientes) y disponer adecuadamente los sólidos generados durante el proceso de tratamiento de aguas, sin aumentar la masa de residuos sólidos que se producen diariamente en las sociedad (Leppe *et al.*, 2001).

La aplicación de lodos al suelo parece ser un buen método para reciclar estos desechos, ya que un 80% del material es reutilizable, además de generar mejoras en la productividad y recuperación de suelos degradados (Cuevas *et al.*, 2006). La aplicación en agricultura presenta mayores limitantes que su aplicación en silvicultura, principalmente por ser aplicado en productos que serán consumidos por seres humanos y que, por lo tanto, deben ser sometidos a procesos de acondicionamiento y estabilización más rigurosos (Toro, 2005).

Las restricciones pueden aumentar significativamente estos costos, y provienen de aspectos como el contenido de elementos contaminantes, así como de las normas vigentes en cada país. Estos elementos contribuyen a determinar las características de los lodos que es posible aplicar por unidad de superficie, así como los niveles de control y sistemas de monitoreo exigidos. Desde el punto de vista como elemento mejorador del suelo y su potencial fertilizante, el biosólido se puede aplicar principalmente en dos áreas: agrícola y forestal (Newman, 2009).

2.5 El Suelo

Según CONAMA, (2009) Suelo es el cuerpo natural tridimensional que forma parte de la corteza terrestre y cuyo segmento superior esta en contacto con la atmosfera .constituye el hábitat natural de las raíces de los vegetales y de complejas comunidades bióticas. La productividad del suelo se mide por su capacidad periódica de sintetizar biomasa vegetal.

Pero desde un punto de vista de la física de suelos, se le puede definir como un sistema de la gran complejidad, heterogéneo, disperso y trifásico (sólido, líquido y gaseoso). El sistema de suelo así definido muestra, como característica fundamental un dinamismo intensivo, determinado por los efectos que provocan agentes tales como la temperatura, luz, presión total, agua, solutos y los organismos (Gavante, 1972).Las propiedades físicas de los suelos están relacionadas con procesos químicos y biológicos que ocurren en el sistema edáfico. La nutrición de las plantas depende de la aireación y disponibilidad de agua. El desarrollo de las raíces es función de la existencia de poros, y de la resistencia que las partículas del suelo impongan a su desarrollo (Fuentes, 2006).

Su composición siendo una fracción volumétrica de un suelo se identifica los siguientes cuatro componentes: Material mineral 45%, Material orgánico 5%, Aire 25%, Agua 25%. Lo ideal de la penetración del agua en el suelo, es que siga moviéndose hacia abajo a través del perfil hasta que los poros contengan dos terceras partes del agua y una de aire (Thompson y Troeh, 2002).

2.5.1 Materia Orgánica.

El material orgánico de suma importancia en la composición de los biosólidos, por esto la materia orgánica corresponde los residuos de origen biológico predominantemente vegetal que se acumulan en el suelo (CONAMA, 2009). Se considera que valores de un 3 a 6% de material orgánico en un suelo, ejerce una influencia favorable sobre las propiedades físicas y químicas de ese suelo y beneficia los cultivos establecidos en el (Núñez, 1981).

La materia orgánica del suelo se encuentra estrechamente relacionada; con la fertilidad, las propiedades físicas del suelo y productividad agrícola. Las mejores condiciones físicas, químicas y biológicas para los cultivos se encuentran para contenidos de MO entre 5 a 20%. (Sánchez, 2004).

Los principales efectos de la materia orgánica ó hojarasca y humus sobre las características de los suelos y los cultivos se pueden resumir en los siguientes puntos:

- 1) Favorece la formación de agregados y la estructura debido a su acción cementante, incrementa la estabilidad estructural (disminución de la densidad aparente, aumento de la porosidad total, aumenta retención de agua, disminuye la conductividad térmica, disminuye la resistencia a la penetración de las raíces y aumenta la facilidad de laboreo.
- 2) En la superficie tiene los siguientes efectos; oscurece el color del suelo aumentando la absorción de energía radiante, amortigua el impacto de la gota de lluvia, evita o reduce la formación de costras y disminuye las pérdidas de agua por evaporación.
- 3) Es el principal componente de la fertilidad natural del suelo, al ser fuente de nutrientes para las plantas y el alimento para los organismos que viven en él, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, eleva su capacidad amortiguadora de cambios en el pH o grado de acidez, forma compuestos orgánicos-minerales que favorecen la absorción de

nutrientes y libera sustancias hormonales reguladoras del crecimiento del vegetal durante el progreso de descomposición.

Como desventaja existen algunos problemas con algunos residuos que al descomponerse liberan sustancias fitotóxicas para los cultivos o para los organismos del suelo, por lo tanto, la adición de materia orgánica altera la relación carbono / nitrógeno pudiendo inmovilizar el nitrógeno disponible para las plantas (Sánchez, 2004).

Otra desventaja según Cuevas, (2006) es la aparición de hidrofobicidad de los suelos que depende de una fuerte interacción entre las fracciones minerales y orgánicas del suelo. El contenido de materia orgánica condicionará de manera importante el monto de la repelencia, llegando a provocar pérdida completa en la capacidad de infiltración de un suelo, favoreciendo la erosión y la ocurrencia de deslizamientos de terrenos (Robichaud y Hungerforf, 2000).

La cantidad de materia orgánica en el suelo depende de muchos factores, tales como la incorporación de nuevos restos orgánicos al suelo, su velocidad de oxidación química y biología, la velocidad de descomposición de la materia orgánica existente en el suelo, la textura del suelo, la aireación, humedad y los factores climáticos. Las prácticas de manejo del cultivo también pueden tener un efecto sobre este parámetro, ya que por ejemplo, el empleo de abonos minerales acelera la descomposición de la materia orgánica en el suelo (Julca *et al.*, 2006).

Los lodos obtenidos de las plantas de tratamiento de agua corresponden a un material con un alto componente de materia orgánica. Es por esto que los efectos de la aplicación de lodos urbanos son predominantemente físicos, mientras que los efectos químicos y nutricionales dependerán de la composición, tratamiento y método de aplicación (Cuevas, 2006).

2.5.2 El Suelo Andisol.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas, han sido en gran medida, la base del crecimiento económico del país, sin embargo, el hombre a través de una agricultura cada día mas intensiva y competitiva, ha derivado en una paulatina acidificación de estos suelos sometidos a un manejo que implica una gran extracción de nutrientes y una inadecuada reposición de bases (Segovia, 2008).

Estos suelos tienen alto potencial para la producción agrícola y por ello muchas de las regiones más productivas del mundo están localizadas cerca de volcanes activos o dormantes, al igual que las regiones más densamente pobladas en Japón están ubicadas cerca de los volcanes (Miranda, 2007) Para maximizar la productividad de los suelos derivados de ceniza volcánica y minimizar la deterioro de estos, es necesario un apropiado manejo, basado en un conocimiento de sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas (Vera, 2004).

Una de las características más importante de los Andisoles es su capacidad para retener fósforo (P) en la superficie de los minerales amorfos. Esta es la principal limitante química de los Andisoles (Miranda, 2007) Otra característica de los Andisoles es el elevado contenido de vidrio o fragmento impregnado con vidrio, en su fracción arena. El vidrio conjuntamente con olivino poco alterados, piroxenos y elevada cantidad de plagioclasa, son indicativas de la juventud de estos depósitos (Tosso, 1985).

Según Nissen *et al.*, (2006) las características que presentan los suelos Andisoles (Trumaos) a diferencia de los Ultisoles (rojos arcillosos), tienen un alta conductividad hidráulica. Según lo dicho por Vyhmeister, (1980), lo cual señala que esta alta conductividad se explica por la gran porosidad de estos suelos y la distribución uniforme de sus poros. También se ha sugerido que la geometría y forma de los poros en estos suelos puede favorecer la conductividad hidráulica. Según ciren, (1989) describe que la porosidad total se encuentra entre los valores de 70 a 75 % en la superficie y 80% en el resto del perfil, esto concuerda por lo dicho por Newman, (2010) y Millar, (2007).

2.6 Propiedades físicas del suelo

Los parámetros físicos del suelo constituyen parte del conjunto de características que determinan el medio ambiente que permite el desarrollo de la vida vegetal. Estas tiene relación con las partículas elementales, con su agrupamiento, compactación o densidad, porosidad, temperatura y color (Segovia, 2008).

2.6.1 Estructura: Se describe la forma de agregarse las partículas individuales del suelo en unidades de mayor tamaño (agregados) y el espacio de huecos asociados a ellas. La estructura de cada horizonte se describe atendiendo al grado, forma y tamaño de agregados (Porta *et al.*, 2003)

2.6.2 Textura: Las partículas del suelo individualizadas se distribuyen en un continuum de tamaños, si bien se agrupan en diversas fracciones atendiendo a su tamaño. La distinta proporción de arena, limo y arcilla define la textura de cada horizonte (Porta *et al.*, 2003).

2.6.3 Porosidad total: Es definida como el volumen total de poros, constituidos por todo el volumen aparente no ocupado por los sólidos, es función de la distribución en el tamaño de las partículas (textura) y el arreglo espacial de estas partículas conformando agregados (estructura). Esta plantea equilibrio entre contenido hídrico y aireación del suelo (Gavante, 1972).

El espacio de huecos resulta de la agregación de las partículas minerales individuales con la participación de la materia orgánica. Los poros distinguibles a simple vista son los diámetros superiores a 60 μm . La porosidad puede describirse a nivel global, atendiendo a los huecos de un horizonte en su conjunto, o bien en un agregado. La descripción detallada incluye, cantidad, continuidad, orientación, distribución y forma (Porta *et al.*, 2003).

2.6.4 Infiltración: Esta dice relación con la cantidad de agua que se infiltra en un suelo por unidad de tiempo, bajo condiciones de campo normales, pero esta capacidad depende no tan solo de la forma de la mojadura, si no que además la velocidad de avance en ese frente depende en gran parte del contenido de humedad que presenta el suelo y del tipo de suelo (Gavante, 1972). Valores medios de velocidad infiltración de 4.9 cm/hora son descritos para suelos trumaos (ciren, 1989).

2.7 La Conductividad hidráulica del suelo

La conductividad hidráulica saturada en campo (K_s) es una propiedad clave en la descripción de los procesos de infiltración y redistribución de agua en el suelo, motivo por el que el conocimiento de este parámetro es esencial para la solución de muchos problemas de aplicación agronómica. La conductividad hidráulica del suelo es una propiedad que se relaciona con el movimiento del agua hacia las raíces de las plantas, la entrada de agua al suelo y el flujo de agua de drenaje, entre otras situaciones (Nissen *et al.*, 2006)

El movimiento del agua a través del suelo es un proceso que responde directamente al gradiente hidráulico, e inversamente a la resistencia que opone este medio. De este modo, conceptualmente el inverso de la resistencia, la conductividad hidráulica (K), es una expresión de la habilidad intrínseca de éste para transmitir agua en diversas condiciones. De acuerdo a (Casanova *et al.*, 2009).

La conductividad hidráulica es una propiedad que caracteriza a los suelos, pero que no siempre constituye una constante, ya que es dependiente de propiedades tales como la agregación y estructura del suelo (Nissen *et al.*, 2006). Según Bear (1972) la permeabilidad está estrechamente relacionada con factores geométricos como la porosidad total, la distribución de los poros por tamaño, la forma del sistema poroso, la continuidad y tortuosidad de los poros del suelo. Estos factores geométricos, que pueden ser caracterizados a través de mediciones de

permeabilidad de aire, son sensibles a cambios estructurales, por lo tanto, son un buen parámetro para evaluar la calidad física de un suelo (Dorner y Dorota, 2007).

La conductividad depende de las características del fluido y del suelo, la permeabilidad es una propiedad exclusiva del material (Bear, 1972). Por lo tanto, la permeabilidad es una característica propia del medio poroso y de la geometría de los poros (Hillel, 1988).

Tanto los Andisoles (Trumaos) como los suelos aluviales arenosos, a diferencia de Ultisoles (rojos arcillosos), tienen una alta conductividad hidráulica a bajas tensiones, debido a su mayor cantidad de macroporos ($> 10\mu\text{m}$) (Ellies y Vyhmeister, 1981).

2.7.1 Métodos de medición de Conductividad hidráulica

El conocimiento de los mecanismos de movimiento del agua en los horizontes superficiales del suelo ocupa un lugar preponderante en muchas áreas de investigación, como ser la agronomía, la ingeniería civil, la hidrológica y las ciencias ambientales (Filgueira *et al.*, 2006).

El valor de la conductividad hidráulica depende en su mayor medida de la estructura del suelo, por este motivo el valor de la conductividad hidráulica para un determinado suelo una vez manipulado en el laboratorio, no tiene representatividad alguna respecto al valor en campo (García, 2010) Existen dos grupos de técnicas para evaluar el movimiento del agua en el suelo; uno es el de los simuladores de lluvia y el otro el de los infiltrómetros (Filgueira & Miccuci, 2004). En este segundo grupo se han utilizado los anillos cilíndricos simples y múltiples concéntricos, y los infiltrómetros de varios tipos (White *et al.*, 1992; Angulo Jaramillo *et al.*, 2000). Según Pfeiffer *et al.*, 2008 el tradicional método del permeámetro de carga constante tendría una mayor variabilidad de los resultados, sugiriendo al método del cilindro infiltrómetro debido a la menor variabilidad de K_s en sus resultados.

2.7 Hidrofobicidad

La hidrofobicidad o repelencia al agua es la dificultad que presentan algunos suelos para su humedecimiento. Un material se considera hidrofóbico o repelente al agua, cuando el agua no se esparce sobre su superficie, (Jaramillo y Venegas, 2007). Desde un punto de vista práctico y sin que haya algún significado físico especial en ello, un suelo se considera repelente al agua si una gota de agua colocada sobre su superficie tarda más de 5 segundos en ser absorbida completamente (Richardson, citado por Dekker & Jungerius, 1990). Según Jaramillo y Venegas (2007), un suelo es hidrofóbico cuando el ángulo de contacto es mayor o igual a 90° . Para que un suelo se humedezca, el ángulo de contacto que forma con el agua debe ser menor a 90° .

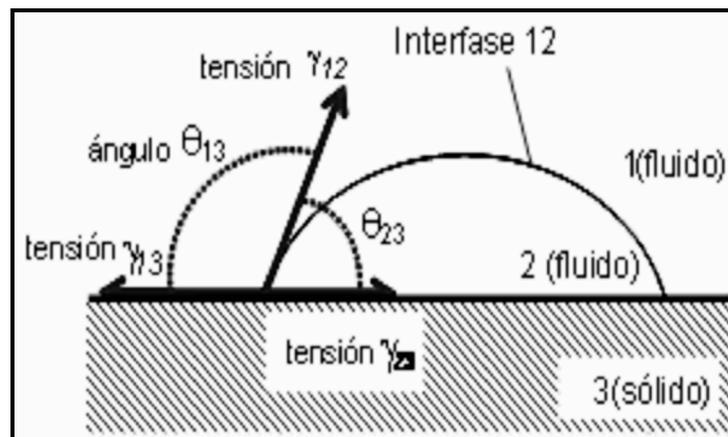


Figura 1. Mojabilidad y ángulo de contacto.

La figura 1 se muestra una gota de un fluido 2 en contacto con un sólido 3, todo inmerso en un fluido 1. En este sistema θ_{23} es el ángulo de contacto del fluido 2 con el sólido 3. Si este ángulo de contacto del fluido 2 con el sólido 3, es muy pequeño, el fluido 2 moja el sólido 3. Si al contrario este ángulo es cercano o superior a los 90° , entonces es el fluido 1 el que moja el sólido 3 (Neira y Cañas, 2007).

Cuando hay afinidad entre el líquido y el sólido, el líquido se esparce debido a que las fuerzas de adhesión superan a las de cohesión, y el líquido moja al sólido, cuando no hay esa afinidad, las fuerzas de cohesión son las dominantes y no dejan esparcir el líquido sobre el sólido con lo cual no hay mojabilidad (Jaramillo, 2004).

La repelencia al agua o hidrofobicidad de los suelos está determinada por la interacción entre el contenido de materia orgánica y la textura del suelo. En general la repelencia se incrementa con aumentos de la materia orgánica y disminuye con aumentos en los contenidos de arcilla y limo de los suelos (Harper *et al.*, 2000). La presencia de materia orgánica (MO) en el perfil de suelo es clave para la aparición de hidrofobicidad, por lo que el contenido de carbono orgánico en el suelo permitiría predecir la repelencia al agua, aunque en algunos casos solo una pequeña proporción de las variaciones en la hidrofobicidad puede ser explicada solo por las concentraciones totales de carbono orgánico (Harper *et al.*, 2000). Los compuestos orgánicos hidrofóbicos pueden producirse por el metabolismo y/o la descomposición de organismos, principalmente vegetales y microbiales (Jaramillo, 2006), por someter al suelo a incendios, quemaduras y calentamiento o secado (DeBano, 1981, 2000; Dekker & Ritsema, 2000; Jaramillo y Venegas, 2007) o por contaminar el suelo con petróleo y/o con sus derivados (Roy & McGill, 1998). Según Jaramillo (2006) las plantas son los organismos que hacen un mayor aporte de sustancias que puedan generar repelencia al agua en el suelo. Prácticamente todos sus órganos contienen compuestos hidrofóbicos en sus estructuras que pasan al suelo, ya sea cuando la planta o algunos de sus órganos mueren y el proceso de descomposición los libera o cuando son aportados desde la planta viva mediante el lavado de las superficies vegetales por las aguas que escurren sobre ella o en forma de exudados producidas por aquella.

La incorporación de biosólidos debería generar una mejor condición física, que dejarlos esparcidos sobre la superficie del suelo, lo que podría acarrear efectos negativos ya que, por ejemplo, algunos materiales orgánicos muestran repelencia al agua y provocaría un sello superficial, con aumento de la escorrentía de estos materiales contaminando sectores vecinos (Cuevas, 2006).

Según Duque *et al*, (2004) la hidrofobicidad en los suelos reduce el crecimiento de cultivos y plantaciones, afecta sus balances hídricos y puede ser responsable de la presencia de la erosión en ellos, sobre todo en altas pendientes. Además, genera altas tasas de esorrentía, bajas tasas de infiltración, aumento en la contaminación de aguas subterráneas y vías con flujos preferenciales.

2.7.1 Método para la determinación de la hidrofobicidad a través del ángulo de contacto.

Se pueden utilizar técnicas basadas en la atracción que las partículas del suelo ejercen sobre el agua denominada ascenso capilar, esta puede ser utilizada para la determinación del ángulo de contacto sobre materiales finos, utilizando la ecuación propuesta por Washburn en 1921(1) para su cálculo.

$$L^2 = \frac{\gamma_{LV} \cdot r^* \cdot t \cdot \cos\theta}{2 \cdot \eta} \quad (1)$$

Esta ecuación presenta la relación entre las características de un líquido que asciende por capilaridad a través de un lecho de material, el ángulo de contacto (θ) formado por la interfase y la velocidad a la cual ocurre el ascenso, representada por la relación entre la distancia recorrida (L) y el tiempo transcurrido (t). La característica del líquido son su viscosidad (η) y tensión superficial en la interfase líquido/ vapor (γ_{LV}). El parámetro r^* corresponde al tamaño medio de poro del lecho formado por el material a caracterizar. (Neira y Cañas, 2007, Modificado).

Definición parámetros de fórmula:

Viscosidad del líquido (η): resistencia que genera las fuerzas de atracción entre las moléculas que se oponen al desplazamiento del líquido (Rodríguez y Marin, 1999)

Tensión superficial (γ): Fuerza ejercida por la superficie del líquido por unidad de longitud (Kane y Sternheim, 2000).

2.8 Ventajas y Desventajas de la aplicación de biosólidos en el suelo

2.8.1 Ventajas de la aplicación de biosólidos.

La aplicación de lodo fresco genera, en el corto plazo, un aumento de la macroporosidad, en comparación con un compost de residuos agrícolas, que provoca un aumento de la microporosidad. La menor densidad aparente es el resultado de la mayor macroporosidad, ya que se generan espacios dentro de la matriz del suelo por efecto del material orgánico adicionado. Mayores cantidades de compost adicionados generan menores valores de densidad aparente y aumentos en los valores de porosidad total. (Cuevas *et al*, 2006).

De ésta manera se puede decir que la aplicación al suelo aparece como el mejor método para reciclar los lodos, siendo un 80% del material reutilizado, generando mejoras en su productividad y en la recuperación de ecosistemas degradados, debido a que actúa como acondicionador de suelo que además de favorecer, la retención de humedad, permite una mejor penetración de raíces y mejora la textura y estructura del suelo, reduciendo la escorrentía (Newman, 2010).

Los biosólidos pueden incrementar la infiltración de agua, reducir la erosión del suelo, aumentar la capacidad de retención de agua, reducir la compactación del suelo, aumentar la capacidad del suelo para retener nutrientes, proporcionar nutrientes para el crecimiento de las plantas y proveer de alimentos y energía a los microorganismos beneficiosos del suelo (Muñoz, 2009).

De acuerdo lo señalado por Alcañiz (1999), los biosólidos incorporados mejoran la agregación de las partículas y aumentan la estabilidad de los agregados. La porosidad aumenta, sobre todo la microporosidad interna (Sort y Alcaniz, 1999). Como resultado de los cambios de agregación y porosidad otros autores también han registrado cambios en la hidrología del suelo

(Aggelides y Londra, 2000). Además la redistribución del sistema poroso tendría efectos positivos sobre la capacidad de retención de agua (Muñoz *et al*, 1999).

Aplicaciones de compost de lodo en dosis crecientes de hasta 37,5 ton ha⁻¹ provocaron un aumento de la conductividad hidráulica saturada (Treló-Ges y Chuasavathi, 2002).

2.8.2 Desventajas de la aplicación de biosólidos.

Por otro lado, la incorporación de biosólidos debiera generar una mejor condición física, que dejarlos esparcidos sobre el suelo, lo que podría acarrear efectos negativos ya que por ejemplo, algunos materiales orgánicos muestran repelencia al agua, y se provocaría un sello superficial, con aumento de la escorrentía de estos materiales y contaminación de sectores vecinos (Cuevas *et al*, 2006).

Sin embargo, con dosis mayores (hasta 80 ton ha⁻¹) se han observado la formación de un sello superficial (Newman, 2010).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Ubicación del ensayo

El ensayo se encuentra ubicado en la precordillera de Los Andes a 5 km al oriente del poblado de Las Hortensias en la comuna de Cunco, provincia de Cautín, Región de La Araucanía, precisamente en las coordenadas geográficas 38° 58'21" Sur y 72° 7'1.6" Oeste, a una altura de 337 m.s.n.m. con una pluviometría Anual entre 2.500 y 3.000 mm. La Temperatura del suelo media anual 12 ó 13°C; media julio 8-9° C; media máxima enero 22 ó 24° C.

3.1.2 Suelo

El suelo donde se montaron las parcelas para este estudio, es un Andisol, familia Los Prados, serie Cunco, presenta gravas aluviales meteorizadas con matriz franco arcillosa y las pendientes de 2% en el lugar del ensayo. Presenta suelo enterrado a partir de los primeros 50 cm. El drenaje es imperfecto y varía hasta moderado (Tosso, 1985)

3.1.3 Manejo del ensayo e implementos utilizados

Lo ocurrido en temporadas anteriores:

2006 - 2007: Se aplicó biosólido sobre la superficie del suelo en dosis de 30, 60,90 ton/ha incorporándolo a 10- 20 cm y se dejó estabilizar de 15 ó 30 días antes de la siembra, esta labor se realizó del 2 al 9 de septiembre del 2006. La siembra se realizó el 4 de noviembre del 2006 la variedad utilizada fue Quijote Baer, en dosis de 200kg/ha.

2007 ó 2008: La incorporación del biosólido al suelo se realizó entre el día 19 de mayo de 2007 y el día 02 de junio del mismo año. El cultivo empleado correspondió a *Triticum aestivum*. cv. Quijote Baer, cultivar que se encuentra inscrito en el registro de variedades protegidas por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG, 2007). La siembra fue realizada el día 25 de agosto de 2007, en forma mecanizada. La dosis de semilla utilizada para el ensayo en cada una de las parcelas fue de 170 kg/ha.

Temporada de estudio 2008 ó 2009.

Material biológico: Se utilizó el cultivar alternativo precoz de trigo Pandora.

Preparación de suelo: El 25 de octubre de 2008 se invirtió y se procedió a mullir los primeros 20 cm de la superficie del suelo, por medio de instrumentos manuales, tales como azadón y pala, antes de la aplicación de biosólidos.

Aplicación del biosólido: Se adicionó el biosólido al suelo el día 8 de noviembre de 2008. El cálculo de las dosis de biosólidos en cada uno de los tratamientos se realizó determinando los metros cúbicos de una carretilla, y luego, se relacionó con el tamaño de las parcelas y la cantidad de biosólidos en cada tratamiento.

Siembra: Se realizó el 29 de noviembre del 2008 la variedad utilizada fue Pandora, en dosis de 135 kg/ha.

Control de malezas: El control de maleza se realizó previo a la siembra con el herbicida ácido N-fosfono-metil-glicina (Glifosato) herbicida no selectivo, sistémico aplicado el 4 de octubre de 2008.

Cosecha: La cosecha no se realizó debido al ingreso de vacunos en el estado fonológico de madurez, destruyendo el cultivo.

Lista de materiales:

3.1.4 Conductividad hidráulica.

En esta evaluación solo se realizó in situ en terreno, utilizando los siguientes materiales.

- Pala.
- Cilindro infiltrómetro.
- Combo metálico.
- Regla.
- Cronometro.
- Cuaderno de anotación.
- Lápiz.

3.1.5 Hidrofobicidad.

La siguiente evaluación se realizó en dos etapas, una en terreno que consistió en muestreo y la otra en laboratorio donde se analizaron las muestras tomadas en terreno.

Materiales utilizados en terreno:

- Pala.
- Regla.
- Bolsa plástica (medidas).
- Etiquetas
- Lápiz pasta.
- Marcador (plumón).

Materiales utilizados en laboratorio.

- Bandejas plásticas para secado.
- Tamices de 150, 90 y 75 micrones.
- Recipiente transparente con cierre hermético.
- Soporte de madera.
- Placas de vidrio milimetradas (10 x 5 cm).
- Lupa.
- Cronómetro.
- Cuaderno de anotación.
- Lápiz.
- Agua destilada.
- Horno

3.2 Métodos.

Se utilizaron tratamientos de dosis de biosólidos con dos frecuencias de aplicación: residual (R) (aplicación inicial en la temporada 2006) y acumulativa (A) (aplicaciones en varias temporadas 2006, 2007, 2008). De acuerdo a esto, se compararon los siguientes tratamientos:

T0: testigo sin aplicación de biosólidos.

TA30: parcelas con dosis de 30 ton/ha acumulativo.

TA60: parcelas con dosis de 60 ton/ha acumulativo.

TA90: parcelas con dosis de 90 ton/ha acumulativo.

TR30: parcelas con dosis de 30 ton/ha residual.

TR60: parcelas con dosis de 60 ton/ha residual.

TR90: parcelas con dosis de 90 ton/ha residual.

Cada tratamiento se aplicó en una parcela de 40 m² de 4m de ancho por 10 de largo. Los muestreos y mediciones fueron efectuados a 2, 5, 8 metros desde la cabecera de cada parcela. La distribución de los tratamientos en terreno, se muestra en la figura 2.

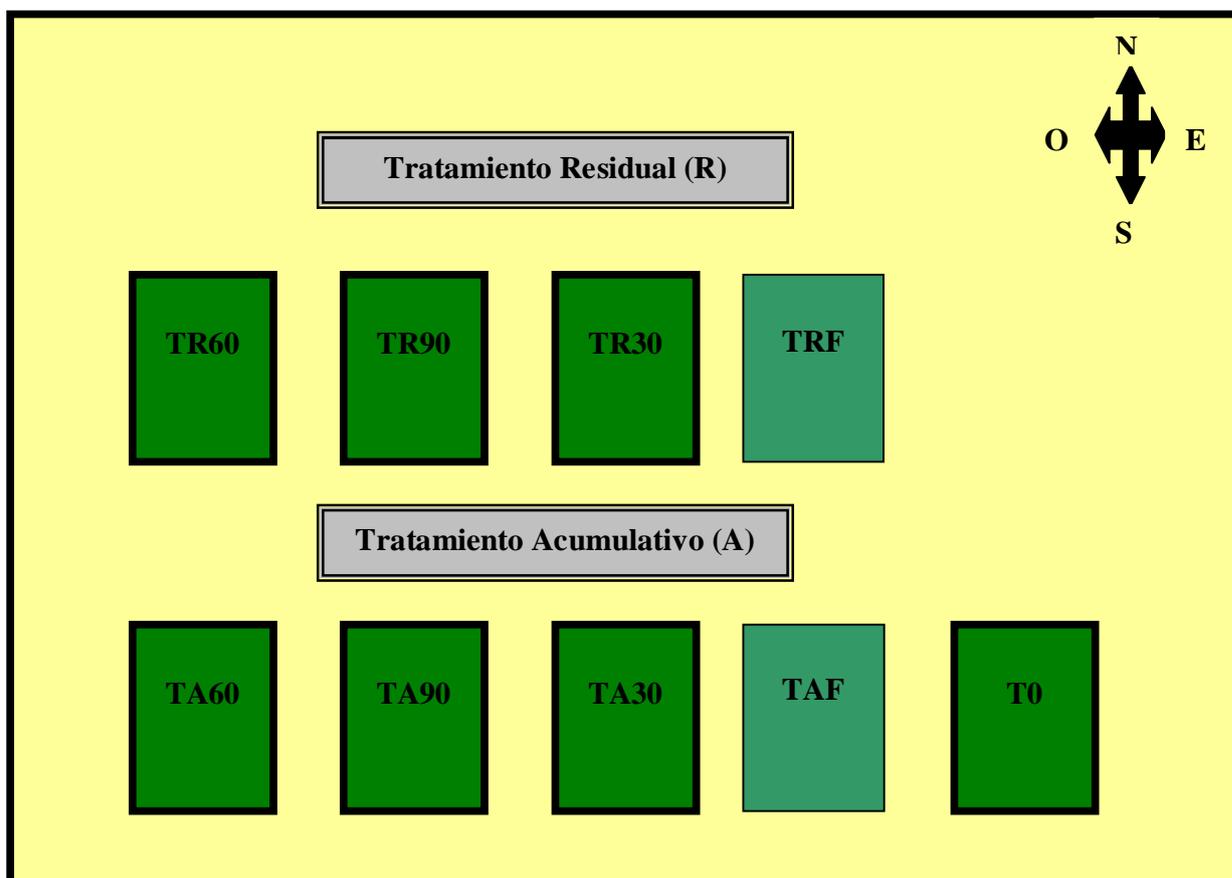


Figura 2: Esquema de distribución de parcelas. En color verde se indican las parcelas estudiadas tanto acumulativas (A) como residuales (R).

3.2.1 Determinación de conductividad hidráulica.

Para proceder a instalar el cilindro, previamente, se profundizó a 20 cm de la superficie del suelo en el lugar donde se instaló el cilindro, teniendo la precaución de no alterar la estructura del suelo. A continuación, con golpes suaves sobre el trozo de madera, puesto sobre el cilindro, se introdujo el cilindro hasta una profundidad aproximada de 10 a 15 cm. Una vez instalado el equipo se ubicó un trozo plástico en el interior del cilindro y con la ayuda de un balde se agregó agua. El plástico pretendió impedir que el agua golpeará directamente la superficie del suelo produciendo alteraciones y variando los valores de velocidad de infiltración. A cada tratamiento se le realizó tres repeticiones y de esta forma se determinó el tiempo de la infiltración de agua en el suelo.

En el interior del cilindro infiltrómetro (30 cm alto y 20 cm de diámetro), se introdujo agua hasta llegar a una altura de 15 cm, luego se cronometró, tomando lecturas a intervalos de tiempo entre los: 0, 1, 5, 10, 15, 30 y 60 minutos, hasta que la velocidad de infiltración fuera constante. Cuando el agua bajó hasta los 5 cm de altura en el cilindro, se tomó una lectura del nivel y del tiempo y posteriormente se agregó agua nuevamente hasta completar los 15 cm (Palmer y Troeh, 1977 modificado). De esta manera se obtuvo las curvas de velocidad infiltración e infiltración acumulada. Se asumió que la velocidad de infiltración estabilizada, corresponde a la conductividad hidráulica saturada a 20 cm de profundidad.

3.2.2 Determinación de ángulo de contacto.

Se le extrajeron muestras de suelo de cada parcela de experimentación a los cinco y diez centímetros de profundidad con sus respectivas repeticiones, obteniendo en terreno 42 muestras, estas fueron etiquetadas y llevadas al laboratorio para ser secadas y tamizadas de tal forma de tener fracciones de 150 μ , 90 y 75 μ .

Con las fracciones de suelo se prepararon placas de 10 cm x 5 cm conteniendo sobre una cara de su superficie la mezcla 1:2 suelo agua totalmente homogénea. Posteriormente se llevó a secado en horno a 105° C durante 12 horas, con el fin de eliminar el agua.

En un recipiente transparente con cierre hermético, se depositó agua. Las placas de vidrio con la muestra seca se dejaron durante 15 min. Con el fin de establecer un equilibrio entre el vapor del líquido y la película de los sólidos.

Transcurridos los 15 minutos se sumergieron las placas una a una en el soporte inferior para ponerlas, en contacto con el agua y se comenzó a registrar los tiempos de ascenso del líquido. Cada prueba se le realizó 3 repeticiones, con el fin de observar la reproducibilidad de los resultados.

Se midieron los tiempos y ascenso altura del líquido sobre la superficie de la placa (Neira y Cañas, 2007).

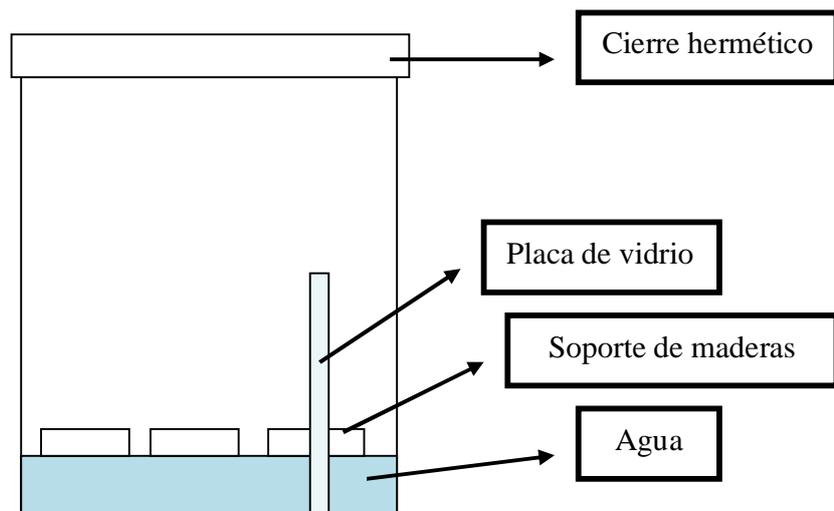


Figura 3. Vista lateral del montaje para la medición del ascenso del agua sobre la superficie de la placa conteniendo fracciones de suelos.

3.3 Diseño experimental.

Se asumió un diseño experimental completamente aleatorio con estructura factorial, con 2 tratamientos de frecuencias de aplicación y de dosis, de los cuales 3 corresponden a diferentes dosis de biosólidos (30, 60 y 90 ton/ha) y un testigo sin aplicación, con tres repeticiones. El análisis estadístico realizado correspondió a ANOVA de un factor por medio de programa computacional JMP. Por dificultades prácticas de aplicación del biosólido no fue posible aleatorizar los tratamientos.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Infiltración acumulada a 20 cm de profundidad del suelo.

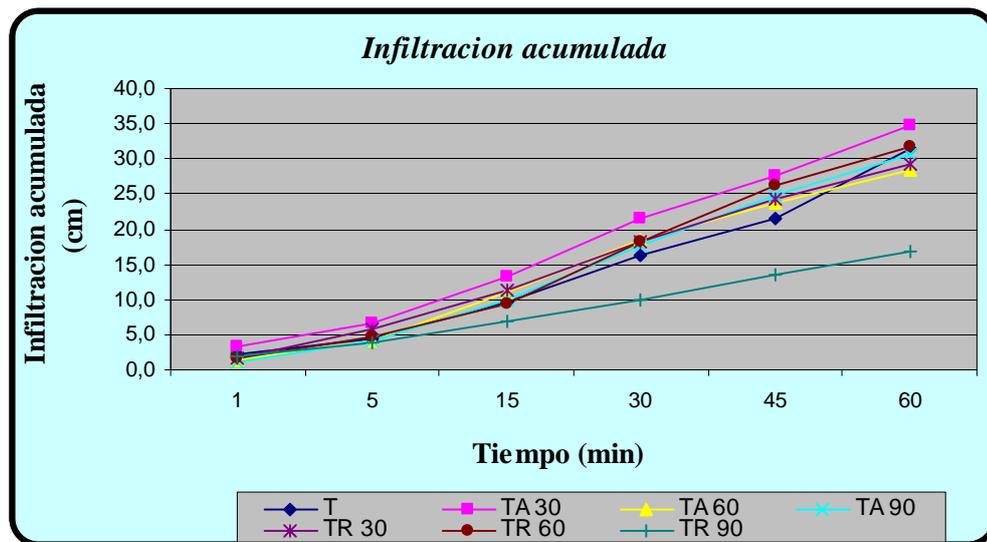


Figura 4: Infiltración acumulada (cm) a diferentes intervalos de tiempo con distintas dosis de biosólidos en tratamiento acumulativo y residual respecto a un tratamiento control.

Los resultados obtenidos en la infiltración acumulada medida a 20 cm de profundidad indica que hubo diferencia entre T30 A y T90 R, no habiendo diferencias con el resto de los tratamientos. No hubo interacción de los 2 factores dosis y frecuencia según la prueba de ANOVA de 2 vías realizada a los 60 minutos de infiltración acumulada.

4.2 Conductividad hidráulica saturada a 20 cm de profundidad de suelo.

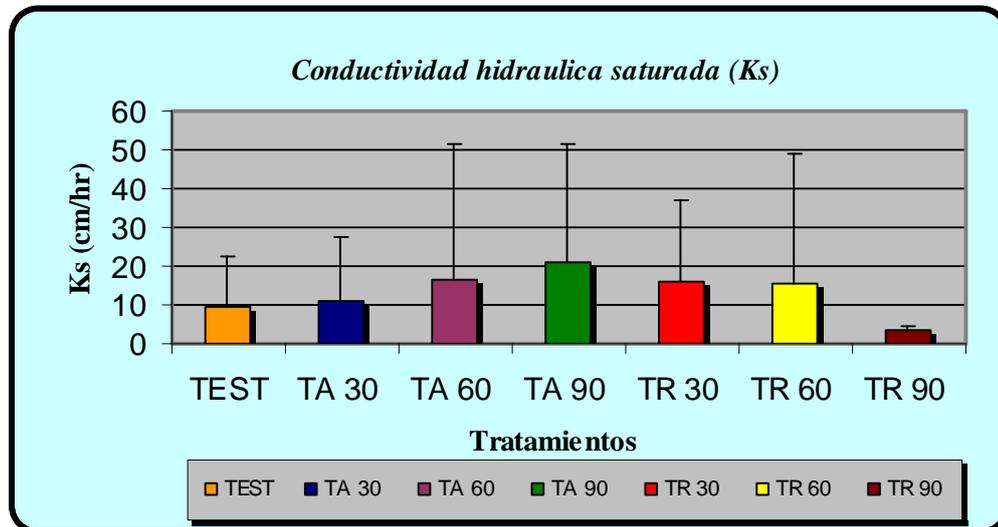


Figura 5: Conductividad hidráulica saturada (cm/hora) con distintas dosis de biosólidos en tratamiento acumulativo y residual respecto a un tratamiento control.

Los resultados obtenidos indican que no existen diferencias estadísticamente significativas Según la prueba ANOVA de una vía ($P > 0,05$), se observa que no presentan una tendencia evidente en los distintos tratamientos ya sea Acumulativos (A) y Residuales (R) por la alta variabilidad registrada, como indican los coeficientes de variación, los cuales estuvieron entre 16% para TR 90 y 86,5% para TA 60.

4.3 Angulo de contacto como medida de la hidrofobicidad de suelo.

En la figura 6 y 7, se presentan valores promedios de ángulos de contacto, (°), de los suelos a 5 cm y a 10 cm de profundidad tamizados a < 150 micrones.

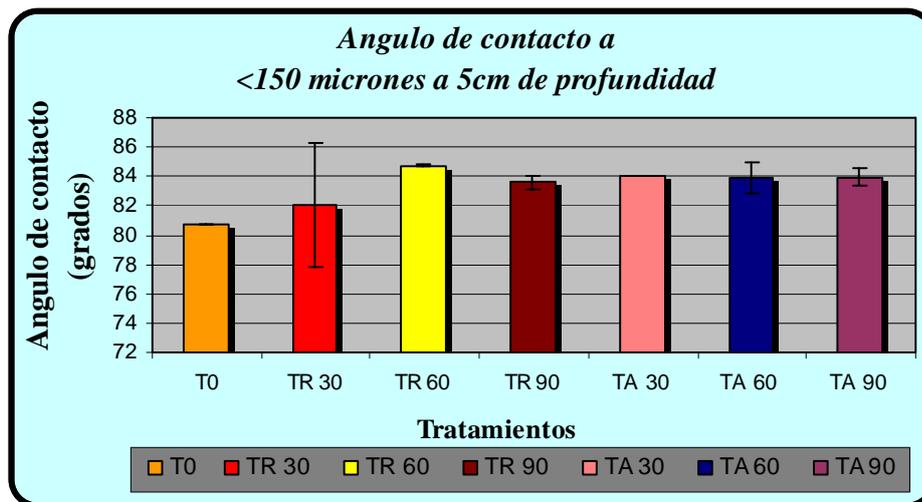


Figura 6: Ángulo de contacto (°) de suelos con distintas dosis de biosólidos tamizados de < 150 micrones y a 5 cm de profundidad con tratamiento acumulativo (TA30; TA60; TA90) y residual (TR30; TR60; TR90) respecto a un tratamiento control (T0).

De la figura 6 se desprende que no existen diferencias, estadísticamente, significativas en la magnitud de según la prueba ANOVA de una vía ($P > 0,05$). Los valores de ángulo de contacto (°) muestran una tendencia esperada.

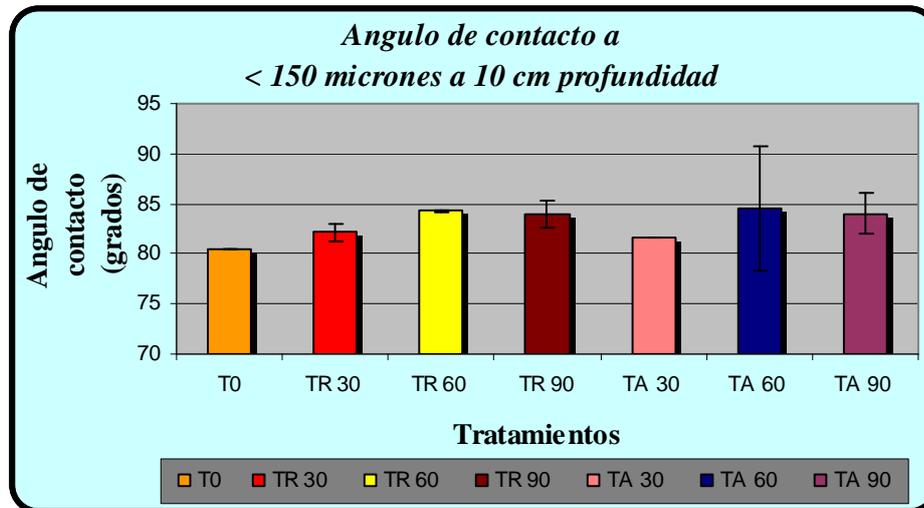


Figura 7: Ángulo de contacto de suelo con distintas dosis de biosólidos tamizados de < 150 micrones y a 10 cm de profundidad en tratamiento acumulativo (TA30; TA60; TA90) y residual (TR30; TR60; TR90) respecto a un tratamiento control (T0).

La figura 7 muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas según ANOVA de una vía ($P > 0,05$) para la fracción de suelo 150μ tanto en los tratamientos acumulativos como residuales.

En la figura 8 y 9, se presentan valores promedios de ángulos de contacto de fracciones de 90 ó 75 μ de suelos a 5 cm y a 10 cm de profundidad.

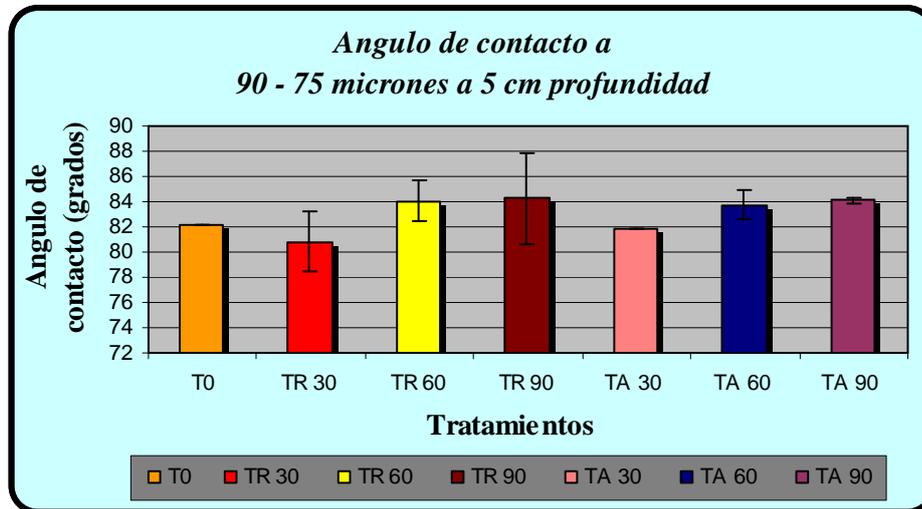


Figura 8: Ángulo de contacto de suelos con distintas dosis de biosólidos tamizados de 90 - 75 micrones y a 5 cm de profundidad en tratamiento acumulativo (TA30; TA60; TA90) y residual (TR30; TR60; TR90) respecto a un tratamiento control (T0).

Los resultados de ángulo de contacto () obtenidos indican que no existen diferencias estadísticamente significativas según ANOVA de una vía ($P > 0,05$).

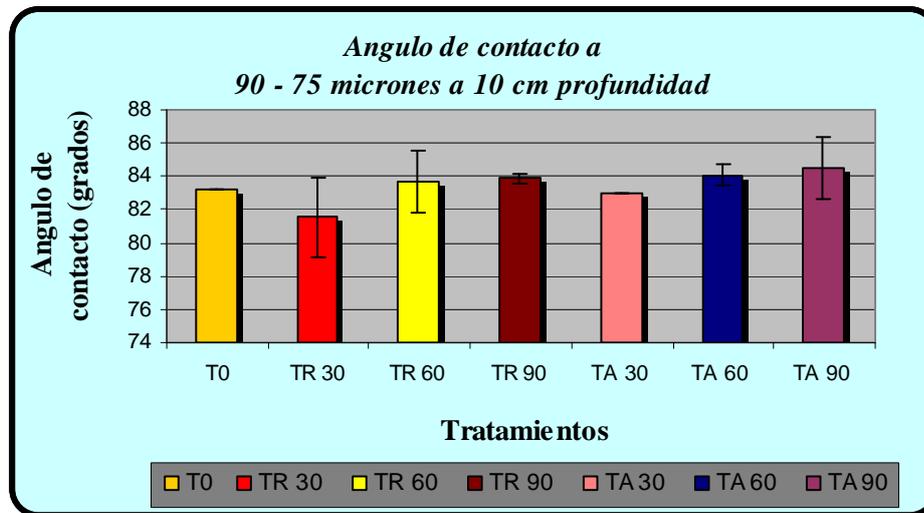


Figura 9: Ángulo de contacto de suelos con distintas dosis de biosólidos tamizados de 90 - 75 micrones y a 10 cm de profundidad en tratamiento acumulativo (TA; TA30; TA60; TA90) y residual (TR; TR30; TR60; TR90) respecto a un tratamiento control.

Los valores de ángulos de contacto (), figura 9, indican que no existen diferencias estadísticamente diferentes según ANOVA de una vía ($P > 0,05$).

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La materia orgánica de un suelo es sin duda el componente que contribuye de forma más global a mantener su capacidad productiva. Influye en características físicas como la porosidad, estado de agregación de las partículas, densidad aparente, etc., y afecta al comportamiento del suelo en lo que a retención y transmisión de agua, gases y calor se refiere (Muñoz *et al*, 1999), Este contenido de materia orgánica aumentaría las velocidades de infiltración debido a que genera una mayor estabilidad de macro-poros por la depositación de materia orgánica en las paredes de estos; en la medida que menor sea el contenido de materia orgánica, mayor será el riesgo de colapso de la estructura al regar el suelo (Michell *et al.*, 1995; Le Bissonnais y Arrouays, 1997, Citados por Newman, 2010).

La adición de biosólidos aumenta el contenido de agua del suelo, que podría beneficiar el crecimiento vegetativo, el contenido de agua diluye la materia orgánica, logrando una aceleración en la descomposición, obteniéndose como ventaja una mejora en la estructura del suelo, pero esto no es inmediato, solamente ocurrirá después de varias repeticiones y después de un periodo largo de tiempo (Segovia, 2008).

Los lodos de las plantas de tratamiento de agua servidas corresponden a un material con un alto componente de materia orgánica. Es por esto que los efectos de la aplicación de los lodos urbanos son predominantemente físicos, mientras que los efectos químicos y nutricionales dependerán de la composición, tratamiento y método de aplicación. (Cuevas *et al*, 2006) el contenido de materia orgánica alcanzada por los biosólidos es alrededor de los 59 % (Ramila y Rojas, 2008).

Esto nos permitiría determinar que los tratamientos estudiados tendrían una tendencia evidente sobre la infiltración a 20 cm y por ende en la conductividad hidráulica saturada. Sin embargo, en el trabajo realizado, los resultados obtenidos a una profundidad de 20 cm de profundidad determinaron, que no muestran diferencias estadísticas significativas y ninguna tendencia evidente sobre los tratamientos, ya sea desde el Testigo con relación a los tratamientos con aplicaciones de biosólidos (30 ton, 60 ton, 90 ton) acumulativos (A) y residuales (R). Esto es lo contrario por lo dicho por (Millar, 2007 y Newman, 2010) en la cual sus trabajos concuerdan con los dichos por otros autores anteriores respecto a la velocidad de infiltración estabilizada en la superficie Jurado *et al.*, (2004), Phillips *et al.*, (1997), Jackson, (2000) citado por Newman, (2010) y (Treló-Ges y Chuasavathi, 2002) que al analizar infiltración acumulada y velocidad de infiltración estabilizada mostraron una tendencia similar, a mayor dosis de biosólidos mayor fue la infiltración acumulada y mayor velocidad estabilizada de infiltración en la superficie.

Las velocidades de infiltración en estos tipos de suelos no corresponde a lo señalado por la literatura según CIREN, (1989) que alcanzan velocidades medias de 4,9 cm/hora ya que estos superan este valor.

Los resultados de este estudio podrían haber sucedido por diversas situaciones: Propiedad física del suelo y el tiempo del análisis.

Las investigaciones anteriores a este trabajo podrían haber intervenido las parcelas y por lo tanto, haber modificado la propiedad física de mucha importancia sobre la conductividad hidráulica la estructura esto concuerda con lo dicho por (Hartge y ellies, 1990) citado por Nissen *et al.*, (2006); (Ellies, 1997) y Dorner, (2009) que los distintos usos y manejos del suelo modifican su estructura; junto con ello, debería cambiar también la conductividad hidráulica saturada y no saturada. Lo dicho por (Donado, 2006); (Ellies, 1997) La estructura de poros de un suelo es un elemento esencial en el estudio del suelo, pues es relevante para el estudio del comportamiento hidráulico y mecánico. Además, el número, tamaño y continuidad de los poros controlan el almacenamiento y la conductividad del agua en el suelo, Otro motivo pudo haber sido el uso de cilindro infiltrómetro en que en su emplazamiento en el suelo provoca un cierto grado de

alteración de sus condiciones naturales esto es corroborado por (Cordero, 2007) el cual señala que habría una destrucción de la estructura o compactación, produciendo cierta variación en la cantidad de agua que penetra en el suelo, además la interfase entre el suelo y el lado del cilindro metálico puede causar una entrada anormal de agua, resultando un mayor volumen de agua que se infiltre en un tiempo dado.

El tiempo que se utilizó para el método del cilindro infiltrómetro es un factor que influye en los resultados, el tiempo de trabajo con el método del cilindro infiltrómetro utilizado fue de una hora, lo que no permitió a que la infiltración se volviera constante en el tiempo esto es corroborado por (Cordero, 2007) el cual recomienda a que la infiltración se vuelve constante alrededor a las 2 horas de trabajo, por esta razón, el recomendable realizar las lecturas al menos en este periodo de tiempo.

Con los siguientes resultados obtenidos se busca establecer efecto de la aplicación de biosólidos sobre la hidrofobicidad del suelo, los resultados muestran que hay una tendencia evidente que nos permite afirmar que los ángulos de contactos aumentan a mayor contenido de materia orgánica, este aumento de ángulo de contacto en relación a un tratamiento control, permite establecer que, aun aumentando el valor de θ en aquellos suelos con mayor dosis de biosólidos, según la literatura analizada aumenta significativa la magnitud de la hidrofobicidad con los tratamientos estudiados, ya que los valores encontrados son menores a los publicados en la literatura acerca de la clasificación de los suelos hidrofóbico ($\theta > 90^\circ$) esto concuerda por lo publicado por Cuevas, (2006) ; Jaramillo y Venegas , (2007) donde un suelo es hidrofílico cuando el ángulo de contacto (θ) se encuentra entre 90° y 0° ($90^\circ \times \theta \times 0^\circ$) a la presión dentro del capilar, el material disperso absorbe agua; la presión anticapilar la hace impenetrable y se produce la repelencia. Pero este aumento se genera por la presencia de materia orgánica en el perfil del suelo, por lo que el contenido de carbono orgánico en el suelo permitiría predecir la repelencia, esto concuerda por lo dicho por (Harper *et al*, 2000 y McKissonk *et al*, 2003) citado por Cuevas, (2006), Sin embargo no todo el carbono es hidrofóbico, de modo que una mejor relación entre la Hidrofobicidad y el carbono orgánico puede obtenerse si se considera el tipo del material, esto concuerda por lo dicho por (Harper *et al*, 2000 y Cuevas, 2006) autores que señalan mas que la

cantidad, es el tipo o calidad de material orgánico y la posición estratégica en que se encuentre a nivel del sistema poroso en el suelo lo que incidiría sobre el grado de hidrofobicidad de los suelos.

En las figuras 8 y 9 se observa que los tratamientos TR 30 y TA 30 presentan valores de menores en relación al testigo debido a la homogeneidad deficiente que presentaron las placas. Por otro lado, de los resultados de valores de ángulos de contacto se desprende que el tamaño de partícula influye en la sensibilidad del método de determinación de este parámetro, pues en partículas de tamaño mayor que 150μ , independientemente de la profundidad, se observó que a mayor dosis de biosólidos aplicado se incrementó, no significativamente, la magnitud del , lo que indica que la hidrofobicidad aumentó, fenómeno que era de esperar, ya que el biosólido al tener un alto contenido de materia orgánica, alrededor de los 59% según Ramila y Rojas, 2008, favorecería la hidrofobicidad del sistema. Se sugiere que en determinaciones de futuras se use fracciones de suelos de tamaño mayor, caso en que el método es más sensible.

6. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se efectuó esta tesis se pueden extraer las siguientes conclusiones:

La infiltración acumulada a 20 cm y conductividad hidráulica K_s a esa profundidad las cuales no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos de dosis y frecuencia de la aplicación de lodo.

Los valores de ángulo de contacto, no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Se concluye que la aplicación de biosólidos durante tres años en un suelo Andisol, no tiene efecto provocado por la materia orgánica. aplicada no en la conductividad hidráulica a 20 cm de profundidad, lo que complementa los resultados obtenidos en los dos años anteriores por Millar (2007); Newman (2010).

7. RESUMEN

A nivel mundial la acumulación de grandes cantidades de lodo, ha traído como consecuencia que estos no sean un material de fácil manejo, buscando distintas alternativas para su utilización en el tiempo. Chile no está ajeno a esta problemática, es por esto que una de las alternativas mas adecuada es el reciclaje, aplicándolo al suelo para mejorar sus propiedades físicas, biológicas y nutricionales.

Por esta razón se ha realizado el siguiente trabajo de investigación llevándolo a cabo entre los meses de Octubre de 2009 y julio de 2010, en la comuna de Cunco, Región de La Araucanía, precisamente en las coordenadas geográficas $38^{\circ} 58' 21''$ Sur y $72^{\circ} 7' 31.6''$ Oeste a 230 a 330 m.s.n.m. en un suelo Perteneiente a la familia Los Prados, serie Cunco del tipo Andisol. En el cual posteriormente se realizó la incorporación de biosólidos en dosis de 30, 60, 90 ton ha⁻¹, y luego se estableció un cultivo de trigo (*Triticum aestivum*).

El objetivo del estudio fue evaluar si la incorporación acumulativa y residual en el medio edáfico de este tipo de residuos, produce efecto sobre las propiedades de conductividad hidráulica a 20 cm de profundidad y la hidrofobicidad en superficie.

La infiltración acumulada a 20 cm y conductividad hidráulica Ks a esa profundidad las cuales no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos de dosis y frecuencia de la aplicaron de lodo.

Los valores de ángulo de contacto, no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Se concluye que la aplicación de biosólidos durante tres años en un suelo Andisol, no tiene efecto provocado por la materia orgánica. aplicada no en la conductividad hidráulica a 20 cm de profundidad, lo que complementa los resultados obtenidos en los dos años anteriores por Millar (2007); Newman (2010).

8. SUMMARY

At the world level the accumulation of large quantities of mud, has resulted that, this is not a material of easy handling, despite the fact that have been looking different alternatives for use by the time, and Chile is no stranger to this problem. That is why one of the alternatives more appropriate for the use of mud is recycling, that applying to the ground improvement their physical biological and nutritional properties.

For this reason has been carried out the next research, work out between the months of October 2009 and July 2010 in the commune of Cunco, Araucanía ninth region, precisely in the geographical coordinates of 38-58'21" South and 72°7'31.6" West to 230 to 330 m.n.s.m. That was worked on series Cunco type Andisol ground, that is belong to ñLos Pradosö family, in which subsequently was incorporated biosolids in doses of 30, 60, 90 ton ha⁻¹, established then a crop of wheat (*Triticum aestivum*).

The study's aim was to assess if the incorporation cumulative and residual in the middle ground of this type of waste, produce effect on the properties of hydraulic conductivity to 20 cm deep and the hydrophobicity on the surface.

The infiltration accumulated to 20 cm and hydraulic conductivity Ks to that depth didn't present important differences between treatments of dose and frequency of the applied of mud.

The values of contact angle, didn't show significant differences between treatments.

It concludes that the implementation of biosolids during three years in an Andisol ground, has not effect caused by the organic matter, applied not in the hydraulic conductivity to 20 cm in depth, which complements the results obtained in the previous two years by Millar (2007); Newman (2010).

9. LITERATURA CITADA.

Aggelides, S., and Londra, P. 2000. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. *Bioresource technology (USA)*. (71):253-259.

Alcota, C. 2002. Acondicionamiento de biosólidos mediante compostaje. Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 175p.

Angulo-Jaramillo, R; JP Vandervaere; S Roulier; JL Thony; JP Gaudet & M Vauclin. 2000. Field measurement of soil hydraulic properties by disc and ring infiltrometers, a review and recent developments. *Soil & Tillage Research*. 55:1-29.

Araya, L. 1999. Estabilización de lodos de tratamiento de aguas residuales. Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. Santiago. 109p.

Barañado, P. y Tapia, L. 2004. Tratamiento de de las aguas servidas: situación en Chile. *Ciencia & Trabajo*. (Chile). 6(13). 111 ó 117p.

Bear, J. 1972. *Dynamics of Fluids in Porous Media*. Elsevier, New York, 764 p.

Casanova M., Salazar O., Seguel O. y Noguer V. 2009. Conductividad hidráulica en monolitos de suelo de Chile central. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal.*, (Chile). 9(3): 210 ó 221p.

Celis J., Sandoval M., Zagal E. y Briones M. 2006. Efecto de la adición de biosólidos urbanos y de salmonicultura sobre la germinación de semillas de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en un suelo patagónico. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal.*, (Chile). 6(3): 13 ó 25p.

CIREN, 1989. Descripción de suelos y materiales y símbolos. Estudio agrológico de la provincia de Cautín. Publicación CIREN.77. 211p.

CIREN. CORFO, 1989. Descripción de suelos y materiales y métodos (estudio agroecológico de la provincia de Cautín IX región). Edición única. Centro información de recursos naturales. Santiago. (Chile). 109p.

CONAMA, 2001. Reglamento para el manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas. 27p.

CONAMA, 2009. Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas. 20p.

Cordero P. 2007. Proyecto Sistema de disposición de riles Apfrut Ltda. Romeral. (Chile). 13p.

Cortez, E. 2003. Fundamentos de ingeniería para el tratamiento de biosólidos generados por la depuración de aguas servidas de la región Metropolitana. Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 102p.

Cuevas B, 2006. Efecto de la materia orgánica y el manejo sobre la hidrofobicidad de suelos volcánicos. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal., (Chile).* 6 (3): 13 ó 27p.

Cuevas B., Seguel S., Ellies Sch., Dörner F. 2006. Efecto de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencia a la adición de lodos urbanos. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal., (Chile).* 6(2): 1- 12 p.

DeBano, L. F. 2000. Water repellency in soils: a historical overview. *Journal of Hydrology.* 231-232: 4-32p.

DeBano, L. F. 1981. Water repellent soils: a state - of - the -art. USDA. Forest Service. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. General Technical Report PSW - 46. California. 21p. *degradation y development (USA).* (10):3-12 p.

Dekker & P. D. Jungerius. 1990. Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands. *Catena Supplement* 18: 173-183p.

Dekker, L. W. & C. J. Ritsema. 2000. Wetting patterns and moisture variability in water repellent Dutch soils. *Journal of Hydrology.* 231-232: 148-164p.

Donado, G. 2006. Estimación de la conductividad hidráulica de arenas por medio de la distribución de tamaños de poros. XVII Seminario nacional de hidráulica e hidrológica. Popayan, (Colombia). P.10.

Dorner, J ., Dorota, D., Xinhua, P y Rainer, H. 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., (Chile).* 9 (3): 190 ó 209 p.

Dorner, J. y Dorota, D. 2007. La permeabilidad del aire y conductividad hidráulica saturada como herramienta para la caracterización funcional de los poros del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal., (Chile).* 7 (2). 1 ó 13p.

Duque, Z., Arbelaez, M., Jaramillo, J. y Leon, P. 2004. Hidrofobicidad en andisoles bajo robledal (*Quercus humboldtii*) y Plantaciones forestales (*Pinus patula* y *Cupressus lusitanica*) en la cuenca de la quebrada piedras blancas (Medellín, Colombia). *Facultad Nacional de Agronomía Medellín.* (Colombia). 57(2): 1 ó 12p.

Ellies, A. y Vyhmeister, E. 1981. Algunos aspectos hídricos del horizonte superficial de tres tipos de suelos del sur de Chile. *Agro Sur* 9(2): 94ó100p.

Ellies, A., Grez, R. y Ramirez, C. 1997. La conductividad hidráulica en fase saturada como herramienta para el diagnóstico de la estructura del suelo. *Agro Sur*. 25(1). 51- 56p.

Faúndez, P. 2005. Actividad microbiológica global en suelos acondicionados con biosólidos cloacales frescos y compostados con residuos forestales. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 61p.

Filgueira RR., Soracco CG., Sarli GO. y Fournier LL. 2006. Estimación de propiedades hidráulicas de suelos por mediciones a campo y el uso de modelos de flujo estacionario y transitorio. *CI. SUELO (Argentina)* 24 (1): 10p.

Filgueira, RR & FG Miccuci. 2004. Metodologías físicas para la investigación del suelo: penetrometría e infiltrometría (Ed). Editorial de la Universidad de La Plata, La Plata. 180 p.

Fuentes E. Guía de profesores No 2 ó propiedades físicas de suelo. Universidad de Chile. Schoolargoogle. 10 Abril 2006.

<http://146.83.41.79/profesor/explora/web/guias/guia -profesores-02.pdf>

García, D., Regalado, C., Muñoz, R. y Álvarez, J. 2010. Comparación de los permeámetros de GUELPH Y PHILIP ó DUNNE para la estimación de la conductividad hidráulica saturada del suelo. Temas de investigación en zona no saturada. (España).6p.

Gavante, S. 1972. Física de suelos principios y aplicaciones. 1 a edición. Editorial Limusa ó Wiley, S.A. México. 347p.

Harper, R., Mckissock, I., Gilkes, R., Carter, D., Blackwell, P. 2000 A multivariate framework for interpreting the effects of soil properties, soil mangement and land use on water repellency, *Journal of Hydrology*, 231-232: pp 371-383.

Hillel, D. 1988. *Environmental Soil Physics*. Academic press, London, p. 771.

Jaramillo, J. 2004. Repelencia al agua en suelos: con énfasis en Andisoles de Antioquia. Informe de Año Sabático. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 197 p.

Jaramillo, J. 2006. Repelencia al agua en suelos: una síntesis. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencia*. (Colombia).30 (115). 215 ó 232p.

Jaramillo, J. y Venegas, V. 2007. Efecto de la temperatura de secado sobre el grado y la variabilidad espacial de la repelencia al agua en andisoles de Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. (Colombia). 60 (2).4025- 4035p.

Julca, O., Meneses, F., Blas, S. y Bello., A. 2006. La materia orgánica, importancias de su uso en la agricultura. *IDESIA (Chile)*. 24(1). 49-61p.

Kane, J.W., Sternheim M. 2000. Física. Ediciones Reverte. Barcelona, España. 745p.

- Knigh P.** 1998. Caracterización, reutilización, tratamiento y disposición final de lodos provenientes de plantas de tratamientos, para la elaboración de una propuesta de norma técnica de manejo, elaborado para CONAMA. Única edición. Santiago. Chile. 243 p.
- Leppe, A., López, A., Nelson, P.** 2001. Lodos provenientes de plantas de aguas servidas: potencialidades y restricciones; temores y realidades. XIV congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental: AIDIS. Santiago. Chile, 12p.
- Marambio; C.; Ortega R.** 2004. Uso potencial de lodos derivados del tratamiento de aguas servidas en la producción de cultivos en Chile. Pontificia Universidad Católica Agronomía y Forestal. 20 ó 23p.
- Metcalf & Eddy, inc.,** 1985. Ingeniería Sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. 2da Edición. Barcelona. Editorial Labor, S.A. 969p.
- Millar, D.** 2007. Efectos de la aplicación de biosólidos provenientes de una planta de tratamiento de aguas servidas sobre las propiedades físicas de un suelo andisol. Tesis ingeniero Agrónomo. Universidad de la Frontera. Temuco. Chile. 74p
- Miranda. C.** 2007. Estudio de variabilidad en retención de fósforo en la serie pelchuquin. Región de Los Ríos. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile. 92p.
- Muñoz, A.** 2009. Efecto de la aplicación de biosólidos sobre plántulas de trébol blanco inoculados con hongos saprofitos y micorriza arbuscular. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de la Frontera. Temuco. Chile. 63p
- Muñoz, E. y Martínez R.** 2001. Rellenos Sanitarios. Scirusó. 15 p. manejo, elaborado para CONAMA. Única edición. Santiago. Chile. 243 p.
- Muñoz, F.; Polo M.; Giradles, J.** 1999. Modificación física de algunas propiedades físicas en un suelo del Valle del Guadalquivir enmendado con lodos de depuradora, en Estudios de la zona no saturada del suelo. Muñoz, R., Ritter, A., Tascón, C.editorial ICIA. Tenerife. España. 115-121p.
- Neira, A. y Cañas, M.** 2007. Procedimiento para medir ángulo de contacto en sólidos particulados finos. Scientia et técnica. (Colombia). XIV (38). 833 ó 838p. (Modificado)
- Newman, C.** 2010. Efecto acumulativo de la aplicación de biosólidos provenientes de una planta de tratamiento de aguas servidas sobre las propiedades físicas de un suelo Andisol. Tesis ingeniero Agrónomo. Universidad de la Frontera. Temuco. Chile. 58p.
- Nissen, J., Quiroz, C., Seguel, O., Mac Donald, R y Ellies, A.** 2006. Flujo hídrico no saturado en andisoles. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal., (Chile). 6 (1). 9-19p.

Núñez, S. 1981. Fundamentos de edafología. Ediciones Universidad Estatal a distancia. San jose. Costa rica. 188 p.

Palmer, R.; Troeh F. 1977. Introducción a la ciencia del suelo. 2º edición. Libros e editoriales, S.A. México. 131p.

Pfeiffer, M., Haberland, J., Kremer, C y Seguel, O. 2008. Comparación de dos métodos alternativos al pozo barreno para la medición de la conductividad hidráulica saturada (Ks) en un Alfisol. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal., 8 (4). 49 ó 56p.

Porta, J., Lopez-Acevedo, M. y Roquero, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi ó Prensa. Madrid. España. 929p.

Ramila, J. Rojas, R. 2008. Alternativas de uso y disposición de biosólidos y su impacto en las tarifas de agua. Tesis Ingeniero Comercial mención en administración. Universidad de Chile.Santiago. Chile, 166p.

Robichaud, P., Hungerford, R. 2000. water repellency by laboratory burning of four northern rocky Mountain forest soils. Journal of hydrology 231 ó 232: 207 ó 219.

Rodríguez, J.M., Marin, R. 1999. Fisicoquímica de aguas. Ediciones Díaz de Santos, Madrid, España. 462p.

Roy, J. L. & W. B. McGill. 1998. Characterization of disaggregated nonwetable surface soils found at old crude oil spill sites. Can. Journal of soil science . 78: 331-334p.

Sánchez V. 2004. Aspectos físicos y químicos del suelo. Ciencia ahora (Chile). N°13. 76-83 p. Schoolargoogle. 10 Abril 2006.

Segovia, M. 2008. Evaluación de algunas actividades biológicas en suelo andisol, manejado con diferentes dosis de biosólidos cloacales en trigo, al segundo año de aplicación. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de la Frontera. Temuco. Chile. 90p.

Seoanez, M. 2005. Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo. Mundi-Prensa, España. P. 37-66

SISS. Sector sanitario. Gobierno de Chile.13 de noviembre 2011.

<http://www.siss.cl/propertyvalue-1808.html>

Sort X y Alcañiz J. 1999. Effects of sewage sludge amendment on soil aggregation. Land

Thompson, L.M., Troeh. F.R. 2002. Los suelos y su fertilidad. McGraw- Hill Book company, New york, USA. 609p.

- Tobasura, I.** 2007. Ambientalismo y ambientalistas: una expresión del ambientalismo en Colombia. *Revista Ambiente & Sociedade (Brasil)*. Volumen 10 (002): 45-60p
- Toro C.** 2005. Áreas potenciales para la aplicación de biosólidos en plantaciones forestales en la VI región de Chile. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 65p.
- Tosso T.** 1985. Suelos volcánicos de Chile. 1ª edición. Editor Juan Tosso T. Casa editorial INIA. Santiago. Chile. 717p.
- Trelo-Ges, V. And Chusavathi, T.** 2002. Effect of municipal waste and grass cultivation on physical properties of a sandy soil of northeast Thailand. In: Abstracts 17 th World Congress of Soil Science. Bangkok. Thailand. 924 p.
- Vélez, J.** 2007. Los biosólidos: ¿una solución o un problema? Producción más limpia. Vol. 2 N° 2. 17 p.
- Vera, R.** 2004. Estudio de la homogeneidad del aluminio extractable, de un Andisol de La X Región de Chile, utilizando parámetros geoestadísticos. Tesis Licenciado Agronomía Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 79 p.
- Vyhmeister, E.** 1980. Algunos aspectos hídricos del horizonte superficial de tres tipos de suelos del sur de Chile. Tesis Ing. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 43p.
- White, I; MJ Sully & KM Perroux.** 1992. Measurement of surface soil hydraulic properties: Disk permeameters, tension infiltrometers and other techniques. In: Topp GC; Reynolds WD; Green RE (Ed). *Advances in measurement of soil physical properties: bringing theory into practice*. SSSA Special Publication Nr 30. SSSA, Inc, Madison, Wisconsin. 69-103.

10. ANEXOS

ANEXOS.

Anexo 1: Anova de 2 vías para infiltración acumulada a 20 (cm) de profundidad.

Source	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
A_TRAT	6	6	804,113	2,7061	0,0188*
B_TIEMPO	5	5	11863,887	47,9117	<,0001*
A_TRAT*B_TIEMPO	30	30	515,328	0,3469	0,9992

No hay diferencias estadísticas A Trat * B tiempo (efecto cruzado o de interacción).

Anexo 2: Anova de una vía para velocidad de infiltración estabilizada a 20 (cm) de profundidad.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
A_TRAT	6	590,5929	98,4322	1,0152	0,4544
Error	14	1357,4425	96,9602		
C. Total	20	1948,0355			

Anexo 3: Anova de una vía para ángulo de contacto tamizado 90 ó 75 micrones (5 cm) de profundidad.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
A_TRAT	6	22,965886	3,82765	1,9199	0,2066
Error	7	13,955950	1,99371		
C. Total	13	36,921836			

Anexo 4: Anova de una vía para ángulo de contacto Tamizado 90-75 micrones (10cm) de profundidad.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
A_TRAT	6	11,009186	1,83486	1,8096	0,2278
Error	7	7,097900	1,01399		
C. Total	13	18,107086			

Anexo 5: Anova de una vía para ángulo de contacto tamizado < 150 micrones (5 cm) de profundidad.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
A_TRAT	6	22,600386	3,76673	1,2007	0,4034
Error	7	21,960500	3,13721		
C. Total	13	44,560886			

Anexo 6: Anova de una vía para ángulo de contacto tamizado < 150 micrones (10 cm) de profundidad.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
A_TRAT	6	30,242986	5,04050	1,3835	0,3379
Error	7	25,503900	3,64341		
C. Total	13	55,746886			