

**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA DE AGRONOMIA**

**Distribución de la capacidad de humectación en agregados de  
suelo bajo distinto uso**

Tesis presentada como parte de  
los requisitos para optar  
al grado de Licenciado en  
Agronomía

**PATRICIA ALEJANDRA CAMPOS ALVARADO**

**VALDIVIA – CHILE**

**2004**

PROFESOR PATROCINANTE

Dante Pinochet T  
Ing.Agr.,M.Sc.,Ph.D.

---

PROFESORES INFORMANTES

Roberto MacDonald H.  
Ing.Agr.,M.Sc.

---

Carlos Ramírez G.  
Dr.Rer.Nat

---

Dedico este trabajo a mis padres por su constante apoyo y paciencia a lo largo de la carrera y a mi pareja por su gran ayuda y dedicación, imprescindible para finalizar este proceso.

Agradezco en forma especial al fallecido profesor Achim Ellies Schmidt, quien me hizo parte de este proyecto, permitiéndome trabajar junto a un gran académico y en especial a una gran persona.

## ÍNDICE DE MATERIAS

1	INTRODUCCION	1
2	REVISION BIBLIOGRAFICA	2
2.1	Resistencia a la humectación	2
2.1.1	Causas de la resistencia a la humectación	4
2.1.1.1	Repelencia natural	4
2.1.1.2	Repelencia inducida	6
2.1.2	Efectos causados por la hidrofobia	6
2.1.3	Efecto de la materia orgánica	7
2.1.4	Evaluación de la capacidad de humectación de suelos	9
2.1.4.1	Ángulo determinado a partir de fotografías	9
2.1.4.2	Determinación geométrica del ángulo de contacto sobre una superficie de suelo	9
2.1.4.3	Determinación del ángulo de contacto sobre una superficie de microagregados	10
3	MATERIAL Y METODO	11
3.1	Materiales	11
3.1.1	Material edáfico	11
3.1.2	Tamaño de agregados	11
3.1.3	Lupa con campo de visión horizontal (Contact Angle Meter)	11
3.1.4	Materiales para mediciones	12
3.2	Método	13
3.2.1	Determinación de la humectación de agregados	13

3.2.2	Determinación de la humectación de la matriz de cada estrata	14
3.2.3	Contenido de materia orgánica	14
3.2.4	Análisis estadístico	14
4	PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	15
4.1	Variación en la capacidad de humectación y contenido de materia orgánica de los suelos	15
4.2	Variación de la humectación según uso de suelos	20
4.3	Variación de la capacidad de humectación según profundidad de estratas	22
4.4	Variación de la capacidad de humectación entre agregados de distinto diámetro.	24
4.5	Variación de la capacidad de humectación al interior de agregados y su relación con el valor de matriz	26
5	CONCLUSIONES	38
6	RESUMEN	39
	SUMMARY	41
7	BIBLIOGRAFIA	43
	ANEXOS	47

**INDICE DE CUADROS**

Cuadro		Página
1	Ángulos de contacto de capas de agregados y de matriz según serie de suelo	17
2	Contenido de materia orgánica de capas de agregados y de matriz según serie de suelo	18
3	Comparación de medianas de ángulos de contacto y materia orgánica de agregados, según serie de suelo	19
4	Comparación de medianas de ángulos de contacto y materia orgánica de matriz, según serie de suelo	19
5	Comparación de medianas de ángulos de contacto y materia orgánica de agregados, según uso de suelo	22
6	Comparación de medianas de ángulos de contacto y materia orgánica de matriz, según uso de suelo	22
7	Comparación de medianas de ángulos de contacto y materia orgánica de agregados, según profundidad de suelo	24
8	Comparación de medianas de ángulos de contacto y materia orgánica de matriz, según profundidad de suelo	24
9	Comparación de medianas de ángulos de contacto y materia orgánica según diámetro de agregados	25
10	Diferencias estadísticas en ángulos de contacto entre capas de agregados y valor de matriz según serie de suelo	27
11	Diferencias estadísticas en el contenido de materia orgánica entre de capas de agregados y valor de matriz según serie de suelo	28

## INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1 Esquema de ángulo de contacto que forma un líquido depositado sobre una superficie sólida	3
2 Forma que toma la gota de líquido sobre un sólido repelente	4
3 Lupa con campo de visión horizontal (Contact Angle Meter)	12
4 Variación del ángulo de contacto y contenido de materia orgánica en los agregados de suelo y la matriz según serie de suelo	20
5 Variación del ángulo de contacto de capas de agregados para cada tamaño seleccionado y el valor de matriz de la Serie Fresia	30
6 Variación del ángulo de contacto de capas de agregados para cada tamaño seleccionado y el valor de matriz de la Serie Metrenco	31
7 Variación del ángulo de contacto de capas de agregados para cada tamaño seleccionado y el valor de matriz de la Serie Osorno	32
8 Variación del ángulo de contacto de capas de agregados para cada tamaño seleccionado y el valor de matriz de la Serie Pemehue	33
9 Variación en el contenido de materia orgánica de capas de agregados para cada tamaño seleccionado y valor de matriz de la Serie Fresia	34
10 Variación en el contenido de materia orgánica de capas de agregados para cada tamaño seleccionado y valor de matriz de la Serie Metrenco	35
11 Variación en el contenido de materia orgánica de capas de agregados para cada tamaño seleccionado y valor de matriz de la Serie Osorno	36
12 Variación en el contenido de materia orgánica de capas de agregados para cada tamaño seleccionado y valor de matriz de la Serie Pemehue	37

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Ángulo de humectación de las capas de agregados	48
2	Ángulo de humectación de la matriz de cada estrata	54
3	Contenido de materia orgánica de las capas de agregados de suelo	55
4	Contenido de materia orgánica de la matriz de cada estrata	57
5	Coeficientes de variación de la medición de ángulo de contacto de agregados	58
6	Coeficiente de variación de la medición de ángulo de contacto de la matriz de cada estrata	59
7	Coeficiente de variación del contenido de materia orgánica de agregados	60
8	Coeficiente de variación del contenido de materia orgánica de la matriz de cada estrata	61



## 1 INTRODUCCION

La resistencia a la humectación del suelo se debe a la presencia de compuestos apolares de la materia orgánica que se producen durante su mineralización y que cubren la superficie de los minerales. Los usos y manejos a los cuales se somete el suelo inciden en la formación de estos compuestos, además de provocar cambios cuantitativos y cualitativos en la distribución de la materia orgánica.

Esta redistribución en la materia orgánica provoca a su vez cambios en la capacidad de humectación lo que incide directamente en el balance y el movimiento del agua en el suelo. Esto se observa en la infiltración y en el escurrimiento superficial.

La hipótesis de esta tesis es que la distribución espacial de la materia orgánica en el suelo es anisotrópica. Esta distribución debería estar en función del grado de agregación. Con ello la capacidad de humectación también debe tener una variabilidad espacial.

El objetivo de la presente investigación es evaluar la distribución de la materia orgánica y la capacidad de humectación en la matriz del suelo y en distintas capas de agregados en algunos suelos de la zona Centro Sur sometidos a distintos usos.

## 2 REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1 Resistencia a la humectación.

La humectación de un suelo es un fenómeno de superficie y depende en alto grado de la relación entre las fases del suelo. En el contacto de un sólido y líquido, actúan fuerzas de adhesión, lo que trae consigo una modificación de las propiedades del líquido, provocando el fenómeno de repelencia al agua. (TSCHAPEK, 1966).

La afinidad o repelencia de una superficie sólida con el agua se origina por las fuerzas en las interfases. La humectación de un suelo se debe a las fuerzas intermoleculares de naturaleza eléctrica, éstas no sólo actúan entre moléculas de igual material (cohesión), sino que también entre moléculas de distintas características (adhesión). Si la atracción entre el agua y la superficie sólida es mayor que la cohesión interna de las moléculas de agua, el líquido se esparce sobre la superficie. Si esta atracción es menor, las partículas rechazan el agua y se forma un menisco cóncavo en el cual se observa un ángulo de contacto ( $\alpha$ ) entre las tres fases (TSCHAPEK, 1966). Este ángulo en una gota de agua depositada sobre una superficie plana, o un menisco en un capilar, tiene por vértice la unión de las tres fases y se proyecta como una tangente sobre la superficie del líquido y el aire (Figura 1). Esta corresponde a una evaluación macroscópica ideal de una situación de equilibrio termodinámico (Wolf, 1957; citado por ELLIES *et al.*, 1996).

El equilibrio mecánico de una gota de agua sobre una superficie sólida fue definido por YOUNG como:

$$g_{sv} - g_{sl} = g_{lv} \cos \alpha \quad (2.1)$$

en la cual:

$\gamma_{sv}$  = tensión de las interfases sólido-vapor ( $J\text{ cm}^{-2}$ )

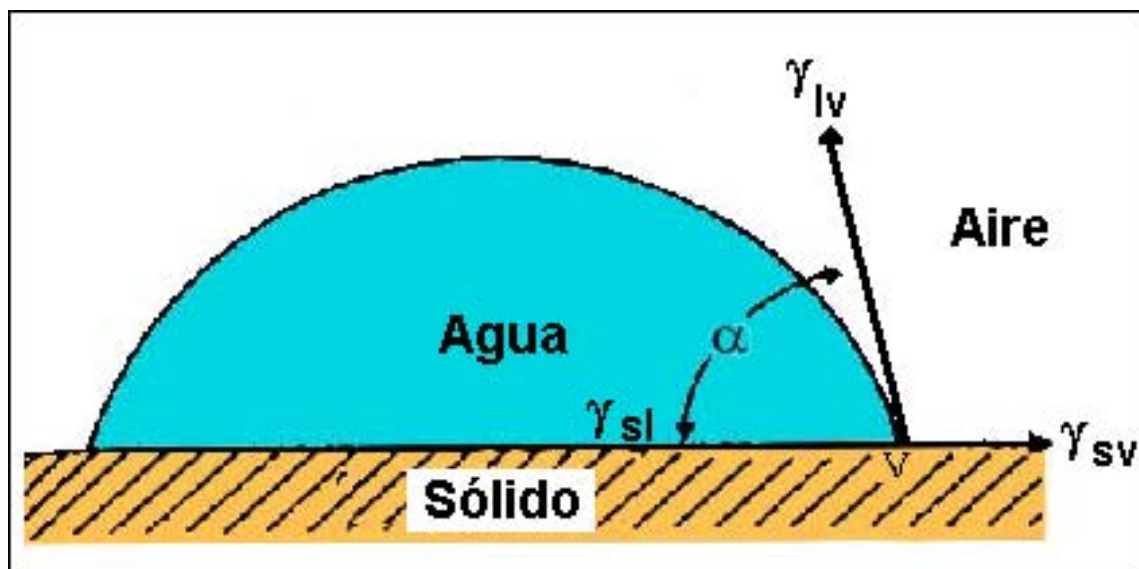
$\gamma_{sl}$  = tensión de las interfases sólido-líquido ( $J\text{ cm}^{-2}$ )

$\gamma_{lv}$  = tensión de las interfases líquido-vapor ( $J\text{ cm}^{-2}$ )

V = vértice de la unión de las tres fases

$\alpha$  = ángulo de contacto entre las interfases sólido-líquido y líquido-vapor

(DEBANO, 1969a).



**FIGURA 1** Esquema de ángulo de contacto que forma un líquido depositado sobre una superficie sólida.

La repelencia al agua, se observa en suelos con diferente génesis, como los de origen volcánico, granítico y derivados de morrenas glaciales. En la Figura 2, se observa la forma que adquiere una gota de agua sobre un sólido repelente. Este fenómeno es más frecuente en suelos de climas semiáridos o después de un secado intensivo del suelo (BOND, 1969). Suelos hidrófobos fueron reportados en muchos países (Debano y Letey, 1969; citado por WALLIS *et al.*, 1992) los cuales pueden ocupar grandes áreas. En Chile, los Hapludands se caracterizan por presentar este fenómeno en forma acentuada, debido al alto contenido de materia orgánica (ELLIES, 1978).

WALLIS *et al.*(1992) sugieren que la repelencia de los suelos es más bien la norma que una excepción, existiendo una gran variabilidad en la magnitud de la repelencia. Esto implica una alteración del balance hidrológico en los suelos durante lluvias estivales y otoñales o con riegos sobre suelo seco.



**FIGURA 2** Forma que toma la gota de líquido sobre un sólido repelente.

**2.1.1 Causas de la resistencia a la humectación.** Existen dos causales que producen repelencia al agua: una por causas naturales y la otra inducida. En ambos casos, láminas hidrófobas orgánicas se encuentran cubriendo las partículas minerales del suelo o se ubican a la entrada de un poro (ROBERTS y CARBON, 1972).

2.1.1.1 Repelencia natural. La repelencia natural al agua depende de la textura, acidez, tipo de cubierta vegetal y presencia de microorganismos.

Los suelos de textura gruesa tienen una menor superficie específica en relación a los de textura fina, lo que implica que una misma cantidad de sustancias hidrófobas cubren proporcionalmente una mayor superficie (DEBANO, 1969a). Los suelos Hapludands más cercanos a la cordillera andina, presentan una textura más gruesa, por

lo que la hidrofobia es más acentuada que en suelos con texturas más finas (ELLIES, 1975).

Hartge (1978), citado por HAUSER (1980), señala que en suelos ácidos una humectación deficiente, se atribuye a una concentración de ácidos orgánicos en la zona de la interfase, lo que conduce a modificar las propiedades físicas del agua en la superficie de contacto. ELLIES (1978), señala que en suelos Hapludands, la humectación está asociada con la acidez, debido a que el contenido de materia orgánica en estos suelos aumenta entre los rangos de pH 6,5 a 4,9. Por lo tanto, los suelos ácidos son más difíciles de humectar y la aplicación de sustancias alcalinas al suelo podría favorecer la humectación al neutralizar las sustancias hidrófobas.

ELLIES *et al.* (1996) y CARON *et al.* (1996), señalan que la repelencia natural al agua está estrechamente relacionada con la vegetación que se encuentra sobre el suelo. Sitios con una baja capacidad de humectación presentan un alto tenor de materia orgánica y en Chile estos se encuentran bajo bosque nativo o en suelos poco intervenidos, debido a que el uso del suelo influye en las propiedades de la materia orgánica en dos formas: alterando el aporte anual que procede después de la muerte de plantas y animales y variando el ritmo con que ésta se mineraliza (RUSSEL, 1992).

ELLIES *et al.* (1996), mencionan que junto a aspectos cuantitativos de la materia orgánica también influyen factores cualitativos en la capacidad de humectación del suelo, en donde suelos Hapludands, en sitios bajo bosque nativo exhiben altos ángulos de contacto aún cuando no siempre presentan el mayor contenido de materia orgánica.

BOND (1969), señala que los productos de la descomposición de la cobertura vegetal pueden provocar algún tipo de repelencia debido a que tienen un mayor contenido de lípidos. Según RUSSEL (1992), un mayor contenido de lípidos procede de la parte no humificada de la materia orgánica, como restos frescos de plantas y

organismos vivos. Muchas plantas producen ceras para mantener sus hojas impermeables al agua, debido a que esto facilita la remoción de las partículas depositadas sobre ellas, como polvo, esporas y que tiene como resultado una limpieza de la superficie de las plantas con la lluvia, neblina o rocío. Estas ceras se incorporan al suelo al descomponerse el material vegetal (JONGE *et al.*, 1999).

Bond y Harris (1964); Bornemiza (1964) citados por SAVAGE *et al.*(1969a), concluyeron que la repelencia era causada por productos metabólicos de los microorganismos, de los cuales las sustancias más importantes serían ácidos húmicos y polisacáridos. Estas sustancias pueden formar sales o complejos con las arcillas del suelo o con cationes inorgánicos alterando sus propiedades.

Bond (1964), propone que los diferentes grados de repelencia en suelos bajo un cierto tipo de vegetación, pueden deberse a distintas asociaciones entre colonias de microorganismos y plantas (WALLIS *et al.*, 1992).

2.1.1.2 Repelencia inducida. Las quemaduras de residuos orgánicos pueden acentuar el carácter hidrofóbico de un suelo. Al someterse un suelo a una alta temperatura, cambia la naturaleza físico-química de la materia orgánica. Al quedar descubierto de vegetación por efecto del fuego, la erodibilidad de los suelos en pendiente aumenta, lo que se ve acentuado por la hidrofobia inducida (DEBANO, 1969b).

**2.1.2 Efectos causados por la hidrofobia.** El efecto más notorio de la resistencia a la humectación, es una reducción en la infiltración de agua, lo que favorece el escurrimiento superficial. En suelos muy hidrófobos esta tasa de infiltración es lenta durante la fase inicial, pero aumenta en el tiempo (WALLIS *et al.*, 1992).

La reducción en la tasa de infiltración, tiene importantes consecuencias hidrológicas. La repelencia al agua puede ser responsable de un incremento del escurrimiento superficial, aumentando la erosión en terrenos con pendiente,

particularmente después de eventos lluviosos durante el verano u otoño (WALLIS *et al.*, 1992).

Una resistencia extrema a la humectación produce erosión por arrastre de material agregado, además de inhibir el desarrollo vegetal por la falta de agua, sin embargo suelos con poca afinidad por el agua, presentan agregados estables a la dispersión, por lo tanto, una moderada hidrofobia es adecuada para conservar la matriz porosa o los agregados del suelo (ELLIES *et al.*, 1995).

GIOVANNINI *et al.*(1983), encontraron que las sustancias hidrófobas naturales en una arcilla repelente aparecen comportándose como un agente cementante de las partículas de los agregados del suelo.

La repelencia al agua y su variabilidad espacial se observa con una humectación irregular, provocando la aparición de líneas de flujo preferencial en el suelo, lo que afecta el movimiento de solutos en él (DEKKER *et al.*, 2001). Esto además favorece una mayor evaporación en sitios con una mayor resistencia a humectarse, debido a que el agua se encuentra retenida con una menor tensión.

En los suelos volcánicos del sur de Chile se observa como consecuencia de la resistencia a la humectación, un retardo del ascenso de agua desde los horizontes inferiores del suelo, debido a una reducción en la tasa de evaporación, lo que se traduce en una economía del agua dentro del suelo durante los períodos secos del año (ELLIES, 1975).

**2.1.3 Efecto de la materia orgánica.** La resistencia a la humectación en los suelos se debe exclusivamente a algunos componentes orgánicos. Bozer *et al.*(1969), citado por WALLIS *et al.*(1992), encontraron entre los materiales que disminuían la humectabilidad del suelo, compuestos orgánicos con características anfotéricas (con grupos hidrofílicos e hidrofóbicos). Ellos postularon que el extremo hidrofílico adsorbía

a la superficie hidrofílica del suelo, probablemente por formación de complejos, por puentes de Hidrógeno y/o fuerzas intermoleculares de Van Der Waals. La porción hidrofóbica de los compuestos podría entonces, crear una nueva superficie de la partícula del suelo.

Uno de las sustancias que más afectan la humectación son las huminas (Jamison, 1946; Latey *et al.*, 1969; Letey, 1972; citados por ELLIES *et al.*, 1996). Ínfimas cantidades de componentes hidrófobos de la materia orgánica, ubicados en posiciones estratégicas en los agregados pueden afectar fuertemente la humectación, retardando la entrada de agua dentro de los agregados, incrementando su estabilidad frente a la acción dispersante del agua (GIOVANNINI *et al.*, 1983 y Sullivan, 1990 citado por PICCOLO, 1999).

Los componentes hidrofóbicos del suelo tales como grasas, ceras y resinas, también inducen a la estabilización de los agregados (Bond y Harris, 1964, Harris y *col.*, 1966; citados por FORTUN y FORTUN, 1989), así como las largas cadenas alifáticas que forman parte importante del humus, proporcionan áreas hidrófobas a la materia orgánica del suelo (RUSSEL, 1992).

Según Hayes (1986), citado por FORTUN y FORTUN (1989), para que la materia orgánica estabilice los agregados es necesario que el material penetre en el mismo, uniendo dos o más partículas primarias del suelo. En el caso de moléculas orgánicas en solución, es importante que estas se difundan a lugares de adsorción internos y sean absorbidas o asociadas, de algún modo, a componentes del suelo que estén próximos.

CARTER (1992), determinó que en suelos bajo un sistema de cero labranza o labranza mínima aumenta el contenido de carbono orgánico, diámetro medio de los agregados y estabilidad estructural. Un suelo invertido, en el cual no se favorece la



acumulación de materia orgánica ni la actividad microbial, sufre un deterioro de la estructura, debido a la disminución de la estabilidad de los agregados (CHAN, 1992).

La ruptura física directa se manifiesta cuando los agregados, secos al aire, se mojan de una forma rápida. Rovira y Greacen (1957), citados por FORTUN y FORTUN (1989), han sugerido que la ruptura física de los agregados expone la materia orgánica, no accesible previamente, a su mineralización por parte de la biomasa microbial, se produce así una menor tasa de esta en el suelo, acelerando la descomposición de las sustancias orgánicas agregantes.

**2.1.4 Evaluación de la capacidad de humectación de suelos.** La capacidad de humectación se puede determinar en forma directa, mediante metodologías que permiten medir el ángulo de contacto sólido-líquido, por lo tanto un resultado cuantitativo permite diferenciar suelos con distinta capacidad de humectación. Algunas de estas metodologías se encuentran descritas a continuación.

2.1.4.1 Ángulo determinado a partir de fotografías. Esta metodología descrita por ELLIES (1978), consiste en obtener una fotografía del ángulo de contacto que forma una gota de líquido depositada sobre un portaobjetos, el que contiene un extracto de solución de suelo secada sobre él. La gota debe ser fotografiada inmediatamente una vez depositada sobre el portaobjetos y luego determinar el ángulo.

2.1.4.2 Determinación geométrica del ángulo de contacto sobre una superficie de suelo. Se determina el ángulo de contacto líquido-sólido sobre una superficie plana de suelo, sin embargo, esta medición sólo puede realizarse en suelos con extrema hidrofobía, para evitar que la gota puede infiltrar o esparcirse dentro del bloque de suelo. Además factores como la rugosidad de la superficie pueden afectar la medición (LETEY, 1969).

2.1.4.3 Determinación del ángulo de contacto sobre microagregados. Esta metodología es la utilizada en el presente trabajo y consiste en la determinación del ángulo de contacto formado por una gota depositada sobre una superficie homogénea de microagregados, obteniendo una medición cuantitativa directa, que permite diferenciar suelos con distinta capacidad de humectación (BURCKHARDT, 1985).

BACHMANN (1998), describe esta metodología en la cual el material edáfico se adhiere a un portaobjetos mediante una cinta adhesiva de doble contacto, de esta manera se disminuye el efecto de la rugosidad del suelo, respecto al método propuesto por LETEY (1969), donde se trabaja con bloques de suelo.

La metodología presenta la ventaja que puede ser usado en todos los suelos, independiente del grado de repelencia que estos presenten (BACHMANN, 1998).

### 3 MATERIAL Y METODO

#### 3.1 Materiales.

Los materiales utilizados para evaluar el ángulo de contacto se detallan a continuación.

**3.1.1 Material edáfico.** Para la presente investigación se seleccionaron cuatro suelos, dos Palehumults y dos Hapludands, ubicados en el Centro Sur del país, en la IX y X Región Para cada suelo se seleccionaron sitios bajo una pradera permanente y otro bajo un bosque nativo secundario.

Las Series de suelos seleccionadas fueron Metrenco (Palehumult, UNITED STATES DEPARMENT OF AGRICULTURE NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE, 1998), Pemehue (Hapludands, USDA, 1998) ambas ubicadas en la Provincia de Cautín; perteneciente a la IX Región. En la X Región se seleccionaron las Series Fresia (Palehumult, USDA, 1998), ubicado en la Provincia de Llanquihue y la Serie Osorno (Hapludands, USDA, 1998) que se ubica en la provincia de Osorno.

Las muestras de suelo en cada sitio fueron recolectadas a dos profundidades: 0-10 y 10-20 cm.

**3.1.2 Tamaño de agregados.** Se seleccionaron agregados mediante un tamizado suave con un tamaño de 4,0 a 6,3 mm y 10,0 a 12,5 mm de diámetro.

**3.1.3 Lupa con campo de visión horizontal (Contact Angle Meter).** Este instrumento permite medir el ángulo de contacto que se forma al depositar una gota de

líquido sobre una superficie sólida, el cual se observa en un campo de visión horizontal. El ocular cuenta con un goniómetro que permite la determinación de un ángulo de contacto. El portaobjeto con la muestra de microagregados de suelo es depositada en una cámara, que tiene por objeto evitar corrientes de aire y sobre la cual es depositada la gota de líquido mediante un sistema de jeringa con un émbolo desplazable, calibrado a través de un tornillo micrométrico, que permite aplicar una cantidad precisa de solución sobre la muestra (KRÛSS, 1991) (Figura 3).



**FIGURA 3** Lupa con campo de visión horizontal (Contact Angle Meter).

**3.1.4 Materiales para mediciones.** Los ángulos de contacto se midieron sobre microagregados, provenientes de distintas capas del agregado, los cuales se obtienen

mediante un desgaste mecánico con un cuchillo cartonero marca Isofit. De este material se selecciona mediante tamices, microagregados entre 63 y 38 mm de diámetro. Para adherir el material se usó cinta adhesiva de doble contacto, marca 3M, modelo 5044. Se eliminó el exceso con un pincel marca Atlas N° 319, de una pulgada de ancho.

## **3.2 Método**

La metodología consistió en determinar el ángulo de humectación a través de un método cuantitativo directo. Estos resultados fueron analizados a través de dos pruebas estadísticas y correlacionados con el contenido de materia orgánica de los suelos.

**3.2.1 Determinación de la humectación de agregados.** La obtención de microagregados a partir de los agregados se realizó a través de una desvastación del material. Mediante un cuchillo cartonero se fue raspando desde el exterior hacia el interior del agregado, para obtener tres capas, una externa, una media y una interna.

Siguiendo la metodología establecida por CONTRERAS (1998), el material desvastado fue tamizado seleccionándose el rango de 38 a 63 mm. Estos microagregados fueron espolvoreados sobre una cinta adhesiva de doble contacto adherida a un portaobjetos, eliminando el material suelto por medio de un pincel. Los portaobjetos con la muestra de suelo, fueron calentados en una estufa a 105°C durante 20 minutos, para aumentar el rango de lectura de la capacidad de humectación.

En la muestra con las distintas capas de agregados se coloca mediante la jeringa, una gota de aproximadamente 0,04 cm<sup>3</sup> de una solución saturada de KCl, que posee una mayor tensión superficial. Esta gota se observa en un campo de visión horizontal, en la cual se mide el ángulo de contacto que se forma entre el líquido y el sólido a través del goniómetro instalado en el ocular.

**3.2.2 Determinación de la humectación de la matriz de cada estrata.** Con la misma metodología se evaluó la capacidad de humectación del suelo proveniente de un material homogeneizado correspondiente a cada profundidad seleccionada.

**3.2.3 Contenido de materia orgánica.** La materia orgánica se determinó mediante el método de Walkley y Black, con suelo secado a 25°C por 24 h y tamizado a 0,5 mm.

**3.2.4 Análisis estadístico.** Los resultados para las variables tipo de suelo, uso, profundidad y tamaño de agregados, fueron analizados estadísticamente mediante las medianas a través del análisis de Kruskal-Wallis (5%), para cada serie por separado. Para analizar las diferencias entre capas de agregados y matriz, se utilizó el análisis de varianza mediante la prueba de Tuckey (5%)

Para correlacionar las dos variables medidas, se realizó un análisis de regresión simple (1%).

## 4 PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Variación en la capacidad de humectación y contenido de materia orgánica de los suelos.

Los ángulos de contacto obtenidos se agruparon por Serie de suelo, uso, profundidad de estratas y capas de agregados para los dos tamaños de agregados seleccionados, además del valor de matriz perteneciente a cada estrata de suelo y que representa el material no agregado (Cuadro 1). Todos los valores representan el promedio de 10 repeticiones obtenidas para todas las mediciones de ángulos de contacto, que se encuentran en el anexo 1 y 2. De la misma forma se encuentran agrupados en el Cuadro 2, los contenidos de materia orgánica de los suelos, valores que corresponden a la media de 3 repeticiones, que se encuentran en el Anexo 2 y 3.

En el Cuadro 3, se encuentra el resultado del análisis de Kruskal-Wallis, el cual indica diferencias estadísticamente significativas entre las medianas correspondientes a cada serie, tanto en la medición de ángulo como de materia orgánica. El resultado indica que los valores más altos de ángulo de contacto se encuentran en los suelos Hapludands, es decir, estos suelos presentan una mayor resistencia a humectarse que los suelos Palehumults. En suelos Hapludands, la Serie Pemehue presenta la más baja humectación con los valores de ángulo de contacto más altos, seguido por la Serie Osorno. La hidrofobia más acentuada en la Serie Pemehue, puede ser producto de la influencia de características cualitativas de la materia orgánica, debido a que posee un contenido de materia orgánica levemente inferior a la Serie Osorno, aunque estadísticamente distinto. En suelos Palehumults, la Serie Fresia presenta estadísticamente una humectación muy similar a Osorno, mientras que la Serie Metrenco presenta la capacidad de humectación más alta.

Las diferencias entre suelos Hapludands y Palehumult están relacionadas con el desarrollo pedogenético de los suelos, donde los suelos más cercanos a la Cordillera presentan una mayor repelencia al agua, debido a un aporte de cenizas más recientes o frecuentes que un suelo que se encuentra más alejado del cordón cordillerano, en el cual, su capacidad de humectación tiende a aumentar. Esto se asocia con una mayor presencia de propiedades ándicas en los suelos, en los cuales el predominio de arcillas no cristalinas, como el alofán, favorece una mayor acumulación de materia orgánica, debido a la formación de complejos órgano-minerales, que la estabilizan (ZUNINO, 1985; TAN, 1993). Así lo indica el resultado en el contenido de materia orgánica en los suelos (Cuadro 3) el cual presenta una tendencia similar a los valores de ángulo de contacto, en donde los suelos Hapludands tienen más materia orgánica que los suelos Palehumults.

Para relacionar ambas variables, se realizó un análisis de regresión simple con la totalidad de los datos, los que se encuentran en el anexo 1 y 2, que dio como resultado un coeficiente de correlación  $r$  de 0,62\*, lo que indica una relación aceptable entre la medición de ángulo de contacto y el contenido de materia orgánica en los suelos.

El coeficiente de correlación para cada serie indica que la relación es alta en los suelos Hapludands, con  $r = 0,90^*$  y  $0,70^*$  para la serie Pemehue y Osorno respectivamente, por lo que el contenido de materia orgánica es determinante en la magnitud del ángulo de contacto en estos suelos, por las razones antes explicadas. En suelos Palehumult el coeficiente de correlación, es bajo en la serie Fresia con  $r = 0,42^*$  e inexistente en Metrenco con  $r = -0,09$ , por lo que el contenido de materia orgánica no en este suelo no explica los resultados en el ángulo de contacto. Cabe señalar que debido a la alta humectación que presentaron los agregados de esta serie, no fue posible determinar el ángulo de contacto en algunas capas de los agregados. Además se produjo una alta variabilidad en los datos que se ve reflejado en un alto coeficiente de variación

---

\* = significativo al 1%



en la medición de ángulo y también en la determinación del contenido de materia orgánica (Anexo 5 y 7).

**CUADRO 1 Ángulos de contacto de capas de agregados y de matriz según Serie de suelo.**

Uso	Profundidad de estratas (cm)	Diámetro de agregado (mm)	Capas (mm)	Ángulo de contacto según Serie de suelos FRESIAMETRENCOOSORNOPEMEHUE			
				(°)			
pradera	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	52,2	67,4	64,8	95,5
			C (2-4)	79,2	54,5	86,6	108,4
			I (0-2)	68,5	72,4	81,0	106,7
			M	30,2	30,6	24,6	95,9
		10-12,5	E (8-12,5)	74,3	71,9	75,9	99,4
			C (4-8)	72,3	51,9	75,3	95,5
			I (0-4)	75,6	43,2	75,4	98,9
			M	30,2	30,6	24,6	95,9
	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	61,5	19,4	77,2	70,8
			C (2-4)	76,3	23,1	74,2	66,0
			I (0-2)	78,9	12,2	79,2	65,4
			M	21,7	30,8	25,0	61,5
		10-12,5	E (8-12,5)	74,6	24,0	64,7	65,2
			C (4-8)	79,7	38,8	60,7	93,1
			I (0-4)	75,4	26,1	67,7	69,3
			M	21,7	30,8	25,0	61,5
bosque	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	57,0	16,1	91,0	117,2
			C (2-4)	65,7	-	93,6	110,6
			I (0-2)	64,2	18,6	94,8	108,2
			M	31,0	19,0	64,2	112,6
		10-12,5	E (8-12,5)	58,9	12,4	82,8	105,4
			C (4-8)	66,8	-	87,4	111,8
			I (0-4)	73,4	10,6	78,1	109,1
			M	31,0	19,0	64,2	112,6
	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	55,0	12,6	53,4	82,3
			C (2-4)	60,9	11,0	43,7	85,1
			I (0-2)	59,8	11,5	35,7	82,9
			M	13,0	13,2	30,6	85,6
		10-12,5	E (8-12,5)	59,9	14,2	32,4	88,2
			C (4-8)	70,0	-	22,8	82,3
			I (0-4)	74,3	17,1	34,7	76,0
			M	13,0	13,2	30,6	85,6

E = capa externa. C = capa centro. I = capa interna. M = matriz

**CUADRO 2 Contenido de materia orgánica de capas de agregados y de matriz según Serie de suelo.**

Uso	Profundidad de estratas (cm)	Diámetro de agregado (mm)	Capas (mm)	Contenido de materia orgánica según Serie de suelos				
				FRESIA	METRENCO	OSORNO	PEMEHUE	
pradera	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	15,5	6,1	16,0	16,7	
			C (2-4)	15,1	6,3	16,1	16,4	
			I (0-2)	15,0	5,3	16,9	15,9	
		10-12,5	M	14,5	4,4	15,4	16,0	
			E (8-12,5)	15,4	12,7	16,2	16,2	
			C (4-8)	16,1	11,9	17,4	16,7	
	10-20	4-6,3	I (0-4)	15,8	12,1	16,2	17,0	
			M	14,5	4,4	15,4	16,0	
			E (4-6,3)	13,4	5,2	12,0	8,7	
		10-12,5	C (2-4)	15,5	5,3	11,6	10,9	
			I (0-2)	15,0	5,6	11,9	10,2	
			M	14,1	4,8	12,4	10,5	
	bosque	0-10	4-6,3	E (8-12,5)	15,5	5,1	12,8	10,3
				C (4-8)	15,8	4,8	12,5	12,8
				I (0-4)	15,5	5,0	12,3	12,3
			10-12,5	M	14,1	4,8	12,4	10,5
E (4-6,3)				14,3	5,0	27,0	17,5	
bosque		0-10	4-6,3	C (2-4)	14,3	5,6	27,1	17,3
				I (0-2)	13,2	4,8	27,4	16,8
				M	12,6	11,5	26,2	17,8
			10-12,5	E (8-12,5)	13,9	11,8	25,8	18,2
				C (4-8)	13,6	11,2	26,1	17,5
	10-20	4-6,3	I (0-4)	12,7	11,0	25,8	17,0	
			M	12,6	11,5	26,2	17,8	
			E (4-6,3)	11,4	11,0	12,0	12,3	
		10-12,5	C (2-4)	11,5	12,4	12,4	12,0	
			I (0-2)	11,3	11,3	14,1	12,0	
bosque	10-20	M	9,6	11,0	10,7	12,7		
		E (8-12,5)	11,8	11,0	9,5	13,7		
		C (4-8)	10,8	11,1	9,8	14,3		
	10-12,5	I (0-4)	11,1	10,4	11,6	14,1		
		M	9,6	11,0	10,7	12,7		

E = capa externa. C = capa centro. I = capa interna. M = matriz

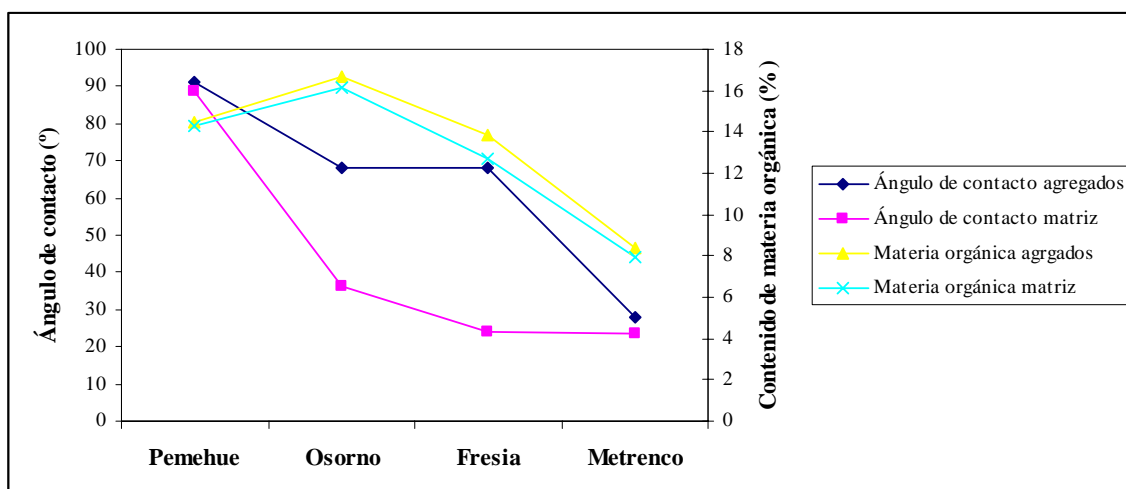
**CUADRO 3 Comparación de medianas de ángulos de contacto y materia orgánica de agregados, según Serie de suelo.**

<b>Serie</b>	<b>Ángulo de contacto</b>	<b>Contenido de materia orgánica</b>
	(°)	(%)
<b>Fresia</b>	69,0 b	14,2 b
<b>Metrenco</b>	21,0 c	8,8 c
<b>Osorno</b>	74,0 b	15,1 a
<b>Pemehue</b>	94,0 a	14,9 b

En el Cuadro 4, se encuentran los resultados de la capacidad de humectación y contenido orgánico del material homogeneizado, denominado matriz, resultado que también se entrega en forma gráfica en la Figura 4. Se observa como los valores de ángulo de contacto, disminuyen respecto a los agregados, no obstante presentan una tendencia similar, donde los suelos Hapludands presentan más hidrofobia que los Palehumults. Aunque el contenido de materia orgánica es levemente superior en los agregados, las diferencias en la humectación podrían ser causa de la influencia de características cualitativas de la materia orgánica que se encuentra en el material agregado.

**CUADRO 4 Comparación de medianas de ángulos de contacto y materia orgánica de matriz, según Serie de suelo.**

<b>Serie</b>	<b>Ángulo de contacto</b>	<b>Contenido de materia orgánica</b>
	(°)	(%)
<b>Fresia</b>	28,0 b	13,3 b
<b>Metrenco</b>	26,0 c	8,0 c
<b>Osorno</b>	29,0 b	14,3 a
<b>Pemehue</b>	90,0 a	14,0 ab



**FIGURA 4** Variación del ángulo de contacto y contenido de materia orgánica en los agregados de suelo y la matriz según serie de suelo.

#### 4.2 Variación de la humectación según uso de suelos.

La cantidad y naturaleza del aporte de materia orgánica proveniente de la hojarasca de los vegetales puede ser alterada a través de cambios en el uso y manejo del suelo, lo que se ve reflejado en diferencias estadísticas significativas en los resultados de ángulo de contacto, como también en el contenido de materia orgánica de cada sitio.

El Cuadro 5, muestra el resultado estadístico que compara las medianas de los ángulos de contacto provenientes de los agregados, el cual indica que existe una mayor resistencia a la humectación en sitios bajo pradera, excepto en la serie Pemehue, en la cual el bosque presenta una mayor resistencia a la humectación, producto de un mayor contenido de materia orgánica en este sitio. Similar es el caso de la Serie Fresia, en la cual una mayor resistencia a la humectación en la pradera, también es producto de un mayor contenido de materia orgánica en ese sitio, lo que podría explicarse por la baja densidad del bosque provocando un aporte orgánico bajo a diferencia de la pradera en la cual podría existir un mayor reciclaje de la materia orgánica, además del aporte orgánico de fecas animales durante el pastoreo. En el Cuadro 6, se encuentra el resultado en la medición realizada en material no agregado, denominado matriz, cuya tendencia es

similar a la observada en los agregados, pero en menor magnitud en el caso del ángulo de contacto, como ya se explicó anteriormente.

En la serie Metrenco, una mayor hidrofobia en la pradera, podría ser producto de la influencia de factores cualitativos de la materia orgánica, debido a que el contenido de materia orgánica indica que este es mayor en el suelo bajo bosque, resultado que también se observa en la medición de la matriz.

Los resultados en los ángulos de contacto y materia orgánica de los agregados de la serie Osorno, no presentan diferencias estadísticamente significativas, sin embargo los resultados indican que la influencia de factores cualitativos de la materia orgánica también podría ser la causa de una mayor hidrofobia en la pradera, debido a que el sitio bajo bosque presenta un mayor contenido de materia orgánica. Sin embargo en la matriz, el contenido orgánico del sitio bajo bosque se puede asociar con una mayor hidrofobia en este sitio (Cuadro 6). Este resultado podría explicarse al analizar los valores de humectación y materia orgánica provenientes de los agregados de la estrata subsuperficial del bosque (Cuadro 1), en los cuales se observan valores muy bajos en relación a la estrata superficial que afectan el valor promedio correspondiente a bosque. Esto hace suponer que el aporte orgánico en profundidad es muy bajo, lo que se explica por el alto grado de intervención que en que se encontraba el bosque de esta serie.

En el caso de la Serie Pemehue, un mayor contenido de materia orgánica en el bosque provoca una mayor hidrofobia en este sitio, situación que también es evidente en la medición de matriz. Esto concuerda con lo expuesto por ELLIES *et al.*(1995), quienes señalan que la humectación decrece cuando los aportes orgánicos son altos y frecuentes, como ocurre bajo una vegetación boscosa.

**CUADRO 5 Comparación de medianas de ángulos de contacto y materia orgánica de agregados, según uso de suelo.**

Uso	Fresia	Metrenco	Osorno	Pemehue
<b>Ángulo de contacto (°)</b>				
<b>Pradera</b>	74,0 a	40,0 a	74,0 a	94,0 b
<b>Bosque</b>	64,0 b	11,0 b	65,5 a	97,5 a
<b>Contenido de materia orgánica (%)</b>				
<b>Pradera</b>	15,3 a	5,6 b	14,5 a	14,2 b
<b>Bosque</b>	12,7 b	10,5 a	19,9 a	15,6 a

**CUADRO 6 Comparación de medianas de ángulos de contacto y materia orgánica de matriz, según uso de suelo.**

Uso	Fresia	Metrenco	Osorno	Pemehue
<b>Ángulo de contacto (°)</b>				
<b>Pradera</b>	29,0 a	31,0 a	25,0 b	79,0 b
<b>Bosque</b>	27,5 a	14,0 b	46,5 a	98,5 a
<b>Contenido de materia orgánica (%)</b>				
<b>Pradera</b>	14,4 a	4,7 b	14,0 a	13,2 a
<b>Bosque</b>	10,9 b	11,1 a	18,3 a	15,2 a

#### **4.3 Variación de la capacidad de humectación según profundidad de estratas.**

Al analizar el efecto de la profundidad sobre la magnitud de la humectación, se encontró que el suelo superficial siempre presenta una mayor resistencia a la humectación, con diferencias estadísticamente significativas en casi todos los casos, debido a una mayor acumulación de materia orgánica (Cuadro 7).

Los resultados en el Cuadro 1, muestran que en las estratas superficiales, los ángulos de contacto son en promedio 1,5 veces mayores que los ángulos de las estratas subsuperficiales, excepto en sitio bajo bosque de la Serie Fresia y Metrenco, en el cual

ambas presentan una humectación similar. La mayor variación en la humectación entre estratas se observa en la pradera de la Serie Metrenco y bajo bosque en la Serie Osorno. En la primera el desarrollo muy superficial de raíces podría ser responsable de la mayor acumulación de materia orgánica en esa estrata y en el otro caso, la existencia de un bosque muy degradado podría ser la causa de un aporte orgánico importante sólo en superficie. Esto se correlaciona con la cantidad de materia orgánica que hay en las estratas superiores de estos sitios, que es significativamente mayor que las estratas inferiores.

La tendencia en el contenido de materia orgánica de las estratas (Cuadro 7), es muy similar a los resultados de ángulos de contacto, en la cual se observa un mayor contenido de materia orgánica en la superficie con diferencias estadísticamente significativas en casi todas las series. La tendencia que se observa en el Cuadro 2, indica que el contenido de materia orgánica en las estratas superficiales es en promedio 1,4 veces más alto que en la estrata inferior, excepto en el sitio bajo bosque de la serie Metrenco en la cual la estrata inferior tiene un mayor contenido que la superior, pero que no se ve reflejado en los ángulos de contacto que son similares. Solo el sitio bajo pradera en la serie Fresia no presenta una diferencia entre las estratas.

En los ángulos de contacto del material homogeneizado de la matriz (Cuadro 8) también manifiestan una tendencia similar a la observada en los agregados, aunque los valores son más bajos, muestran que en promedio las estratas superficiales presentan una resistencia a la humectación 1,5 veces mayor que las profundas, excepto en las en las estratas que corresponden a pradera de las Series Osorno y Metrenco (Cuadro 1), en las cuales la humectación es similar. Sin embargo en la Serie Metrenco este resultado no se correlaciona con el contenido de materia orgánica, que es levemente superior en la estrata subsuperficial (Cuadro 2). La tendencia se mantiene en el resto de los suelos, en los cuales el contenido de materia orgánica de las estratas superiores es 1,4 veces más alto que las estratas profundas, producto de un mayor aporte orgánico en superficie.

**CUADRO 7 Comparación de medianas de ángulos de contacto y materia orgánica de agregados, según profundidad de suelo.**

Profundidad estratas	Fresia	Metrenco	Osorno	Pemehue
cm	Ángulo de contacto (°)			
0 - 10	68,0 a	30,5 a	83,0 a	107,0 a
10-20	71,5 a	16,0 b	56,0 b	79,0 b
Contenido de materia orgánica (%)				
0 - 10	14,6 a	8,8 a	21,7 a	16,8 a
10-20	13,2 b	8,1 a	12,0 b	12,2 b

**CUADRO 8 Comparación de medianas de ángulos de contacto y materia orgánica de matriz, según profundidad de suelo.**

Profundidad estratas	Fresia	Metrenco	Osorno	Pemehue
cm	Ángulo de contacto (°)			
0 - 10	30,5 a	30,0 a	44,5 a	103,5 a
10 - 20	15,0 b	28,0 a	26,0 b	74,0 b
Contenido de materia orgánica (%)				
0 - 10	13,7 a	8,2 a	20,7 a	16,9 a
10-20	11,7 a	7,9 a	11,5 b	11,5 b

#### 4.4 Variación de la capacidad de humectación entre agregados de distinto diámetros.

Al analizar la variación de la humectación que se produce en agregados de distinto diámetro no se observa una tendencia general en los resultados. En el Cuadro 9, se observa que solo la serie Fresia y la Serie Osorno presentan diferencias estadísticas significativas entre los tamaños de agregados, en donde los agregados de mayor diámetro son más hidrófobos en el caso de Fresia y lo contrario ocurre para la serie



Osorno en donde los agregados menores son más hidrófobos, por lo tanto no es posible concluir algún resultado. En el Cuadro 1, se puede observar que en las Series Osorno y Pemehue, agregados de diámetro menor presentan en su mayoría una menor humectación, tanto en sitios de pradera como de bosque, aunque sin diferencias estadísticamente significativas en esta última. Según JONGE *et al.*(1999), en suelos que presentan resistencia a la humectación, los agregados de menor tamaño muestran un mayor grado de repelencia, como es el caso de los suelos Hapludands. Este resultado podría sugerir que la agregación de menor tamaño en estos suelos, tiene un desarrollo pedogenético mayor, en el cual acumula más materia orgánica y que agregados de mayor tamaño mayor podrían ser aglomeraciones de agregados menores.

En tanto en la serie Metrenco, no se observan diferencias estadísticas entre las medianas, ni una tendencia clara en los promedios, los que muestran que agregados de menor diámetro presentan más resistencia a la humectación en las estratas superficiales de pradera y bosque y lo contrario ocurre en las estratas superficiales. Sin embargo, hay diferencias estadísticas significativas entre tamaños de agregados para el contenido de materia orgánica (Cuadro 9). Estos resultados muestran una correlación con la medición de ángulo de contacto en la mayoría de las series, pero no existen diferencias estadísticas entre las medianas, ni algún tipo de tendencia en los resultados.

**CUADRO 9 Comparación de medianas de ángulos de contacto y materia orgánica según diámetro de agregados.**

<b>Diámetro agregados</b>	<b>Fresia</b>	<b>Metrenco</b>	<b>Osorno</b>	<b>Pemehue</b>
<b>mm</b>	<b>Ángulo de contacto (°)</b>			
<b>4 - 6,3</b>	64,0 b	17,0 a	77,0 a	91,5 a
<b>10 - 12,5</b>	73,0 a	20,0 a	71,0 b	94,5 a
	<b>Contenido de materia orgánica (%)</b>			
<b>4 - 6,3</b>	14,2 a	5,6 b	14,9 a	14,1 a
<b>10 - 12,5</b>	14,2 a	11,0 a	14,5 a	15,3 a

#### **4.5 Variación de la capacidad de humectación al interior de agregados y su relación con el valor de matriz.**

En el Cuadro 10, se muestran las medias del ángulo de humectación de cada capa de agregado y la matriz, en el cual las letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre los valores.

Se observa que los valores más altos de ángulo de contacto con diferencias estadísticas significativas, tienden a concentrarse en las capas media (C) e internas (I) de los agregados, lo que indica que existe una mayor resistencia a la humectación hacia el interior de los agregados. A su vez, la resistencia a la humectación es mayor en las capas de agregados en relación con el valor de matriz. Estos resultados concuerdan con los contenidos de materia orgánica expuestos en el Cuadro 11, en donde se observa que la forma como se distribuye esta en los agregados es similar a la tendencia que experimentan los cambios de los ángulos de contacto, es decir, hay un mayor contenido de materia orgánica hacia el interior de los agregados, considerando las capas central (C) e interna (I) como el interior, aunque existen menos diferencias estadísticas entre los resultados.

Una mayor acumulación de materia orgánica al interior de los agregados, que se manifiesta en una mayor resistencia a la humectación, podría deberse a una mayor protección física y química dentro del agregado, ya que se encuentra en condiciones de anaerobiosis, esto dificultaría su degradación por parte de la biomasa microbiana. Esta acumulación de materia orgánica al interior de los agregados se manifiesta en un mayor resistencia a la humectación, puede ser resultado del efecto que produce una raíz durante el proceso de agregación de un suelo, la cual mediante la succión de agua produce la contracción y posterior fractura del suelo, quedando la raíz atrapada dentro del agregado en condiciones de anaerobiosis o a través de la migración de material orgánico soluble que se encuentra en la solución del suelo, ya que la presencia de éste disminuye la tensión superficial del agua, permitiendo su entrada al interior de los agregados a través de la porosidad fina. (ELLIES, 1975).

**CUADRO 10 Diferencias estadísticas en ángulos de contacto entre capas de agregados y valor de matriz según serie de suelo.**

Uso	Profundidad de estratas (cm)	Diámetro de agregados (mm)	Capas (mm)	Ángulo de contacto según Serie de suelos (°)							
				FRESIA		METRENCO		OSORNO		PEMEHUE	
Pradera	4-6,3		E (4-6,3)	52,2	c	67,4	b	64,8	c	95,5	b
			C (2-4)	79,2	a	54,5	c	86,6	a	108,4	a
			I (0-2)	68,5	b	72,4	a	81,0	b	106,7	a
			M	30,2	d	30,6	d	24,6	d	95,9	b
	0-10		E (8-12,5)	74,3	b	71,9	a	75,9	a	99,4	a
			C (4-8)	72,3	c	51,9	b	75,3	a	95,5	b
			I (0-4)	75,6	a	43,2	c	75,4	a	98,9	a
			M	30,2	d	30,6	d	24,6	b	95,9	b
	4-6,3		E (4-6,3)	61,5	b	19,4	c	77,2	b	70,8	a
			C (2-4)	76,3	a	23,1	b	74,2	c	66,0	b
			I (0-2)	78,9	a	12,2	d	79,2	a	65,4	b
			M	21,7	c	30,8	a	25,0	d	61,5	c
	10-20		E (8-12,5)	74,6	b	24,0	d	64,7	a	65,2	c
			C (4-8)	79,7	a	38,8	a	60,7	b	93,1	a
			I (0-4)	75,4	b	26,1	c	67,7	a	69,3	b
			M	21,7	c	30,8	b	25,0	c	61,5	d
Bosque	4-6,3		E (4-6,3)	57,0	b	16,1	b	91,0	b	117,2	a
			C (2-4)	65,7	a	-		93,6	a	110,6	bc
			I (0-2)	64,2	a	18,6	a	94,8	a	108,2	c
			M	31,0	c	19,0	ab	64,2	c	112,6	b
	0-10		E (8-12,5)	58,9	c	12,4	b	82,8	b	105,4	c
			C (4-8)	66,8	b	-		87,4	a	111,8	ab
			I (0-4)	73,4	a	10,6	b	78,1	c	109,1	b
			M	31,0	d	19,0	a	64,2	d	112,6	a
	4-6,3		E (4-6,3)	55,0	b	12,6	a	53,4	a	82,3	c
			C (2-4)	60,9	a	11,0	a	43,7	b	85,1	a
			I (0-2)	59,8	a	11,5	a	35,7	c	82,9	bc
			M	13,0	c	13,2	a	30,6	d	85,6	ab
	10-20		E (8-12,5)	59,9	c	14,2	b	32,4	a	88,2	a
			C (4-8)	70,0	b	-		22,8	c	82,3	b
			I (0-4)	74,3	a	17,1	a	34,7	a	76,0	c
			M	13,0	d	13,2	b	30,6	b	85,6	b

\*Letras distintas en las columnas, indican diferencias estadísticamente significativas entre capas de agregados (TUCKEY, 5%) .E = capa externa. C = capa centro. I = capa interna. M = matriz

**CUADRO 11 Diferencias estadísticas en el contenido de materia orgánica entre de capas de agregados y valor de matriz según Serie de suelo.**

Uso	Profundidad de estratas (cm)	Diámetro de agregado (mm)	Capas (mm)	Contenido de materia orgánica según Serie de suelos (%)							
				FRESIA		METRENCO		OSORNO		PEMEHUE	
Pradera	4-6,3		E (4-6,3)	15,5	a	6,1	a	16,0	b	16,7	a
			C (2-4)	15,1	ab	6,3	a	16,1	b	16,4	a
			I (0-2)	15,0	ab	5,3	a	16,9	a	15,9	a
			M	14,5	b	4,4	a	15,4	c	16,0	a
	0-10		E (8-12,5)	15,4	ab	12,7	a	16,2	a	16,2	b
			C (4-8)	16,1	a	11,9	a	17,4	a	16,7	a
			I (0-4)	15,8	a	12,1	a	16,2	ab	17,0	a
			M	14,5	b	4,4	b	15,4	b	16,0	b
	4-6,3		E (4-6,3)	13,4	c	5,2	a	12,0	a	8,7	c
			C (2-4)	15,5	a	5,3	a	11,6	a	10,9	a
			I (0-2)	15,0	ab	5,6	a	11,9	a	10,2	b
			M	14,1	bc	4,8	a	12,4	a	10,5	ab
	10-20		E (8-12,5)	15,5	a	5,1	a	12,8	a	10,3	b
			C (4-8)	15,8	a	4,8	a	12,5	a	12,8	a
			I (0-4)	15,5	a	5,0	a	12,3	a	12,3	a
			M	14,1	b	4,8	a	12,4	a	10,5	b
Bosque	4-6,3		E (4-6,3)	14,3	a	5,0	b	27,0	a	17,5	ab
			C (2-4)	14,3	a	5,6	a	27,1	a	17,3	ab
			I (0-2)	13,2	ab	4,8	b	27,4	a	16,8	b
			M	12,6	b	11,5	a	26,2	b	17,8	a
	0-10		E (8-12,5)	13,9	a	11,8	a	25,8	a	18,2	a
			C (4-8)	13,6	a	11,2	a	26,1	a	17,5	bc
			I (0-4)	12,7	b	11,0	a	25,8	a	17,0	c
			M	12,6	b	11,5	a	26,2	a	17,8	ab
	4-6,3		E (4-6,3)	11,4	a	11,0	a	12,0	b	12,3	ab
			C (2-4)	11,5	a	12,4	a	12,4	b	12,0	b
			I (0-2)	11,3	a	11,3	a	14,1	a	12,0	b
			M	9,6	b	11,0	a	10,7	c	12,7	a
	10-20		E (8-12,5)	11,8	a	11,0	a	9,5	c	13,7	b
			C (4-8)	10,8	ab	11,1	a	9,8	c	14,3	a
			I (0-4)	11,1	ab	10,4	a	11,6	a	14,1	ab
			M	9,6	b	11,0	a	10,7	b	12,7	c

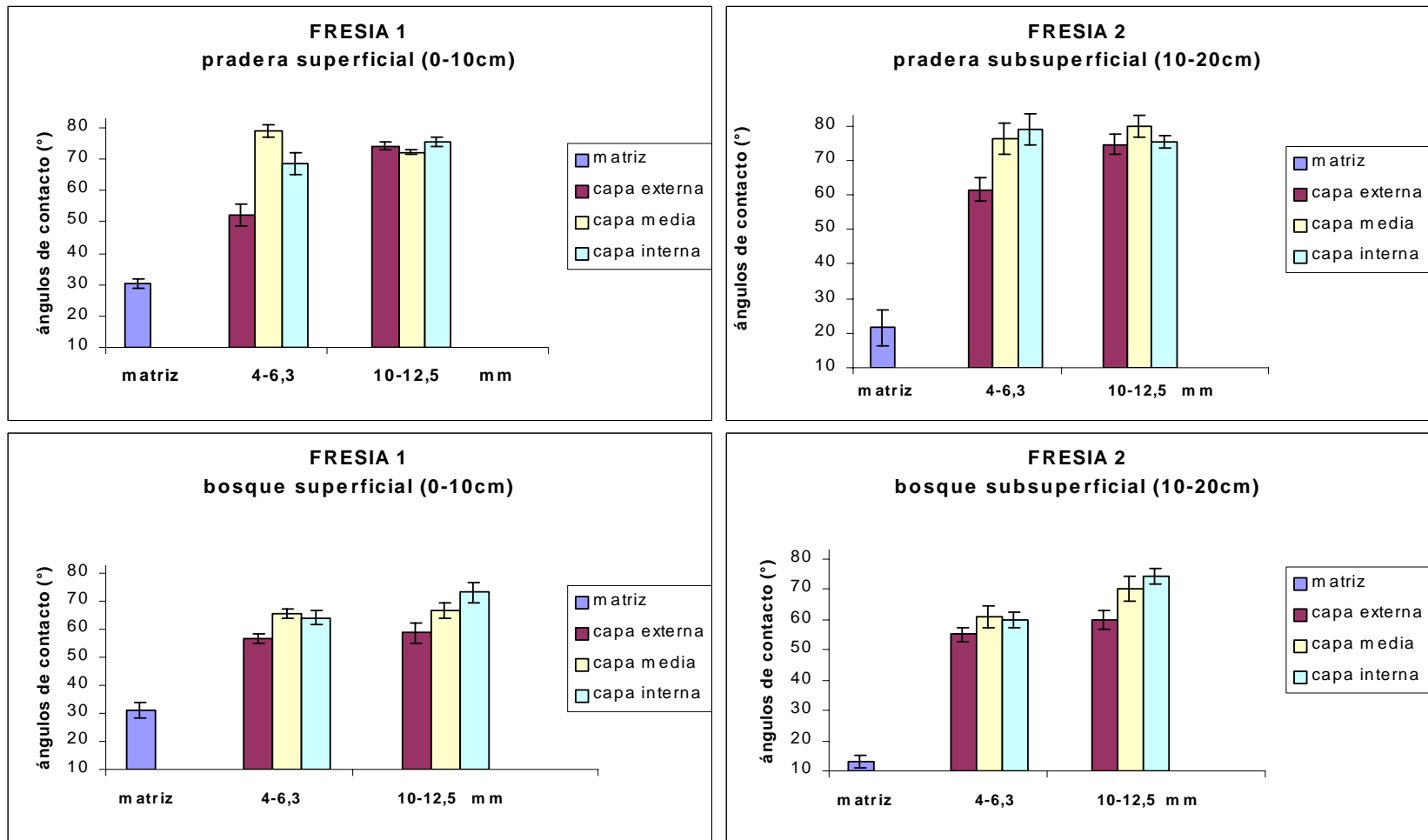
\*Letras distintas en las columnas, indican diferencias estadísticamente significativas entre capas de agregados (TUCKEY, 5%). E = capa externa. C = capa centro. I = capa interna. M = matriz

En las figuras 5 a 12, se se entrega de manera gráfica, las diferencias que se producen en la capacidad de humectación y en el contenido de materia orgánica entre el material proveniente de las capas de agregados y el material sin agregación correspondiente a la matriz de cada estrata. El grado de variación de cada medición, correspondiente al coeficiente de variación, se indica a través de la longitud de las líneas sobre cada barra, valores que se encuentran en los Anexos 5 a 8. Se observa en la Serie Metrenco el alto grado de variación que se produce en la medición de ángulo de contacto, producto del alto grado de humectación que presentó este suelo. En la estrata subsuperficial del sitio bajo pradera en la Serie Pemehue y subsuperficial del sitio bajo bosque en la Serie Osorno, se observan algunos valores con mayor variabilidad, lo que podría ser efecto de errores en la medición. En las figuras correspondientes al contenido de materia orgánica, se observan coeficientes de variación altos, pero que se encuentran en forma aislada, lo que también puede ser producto de un error en la medición.

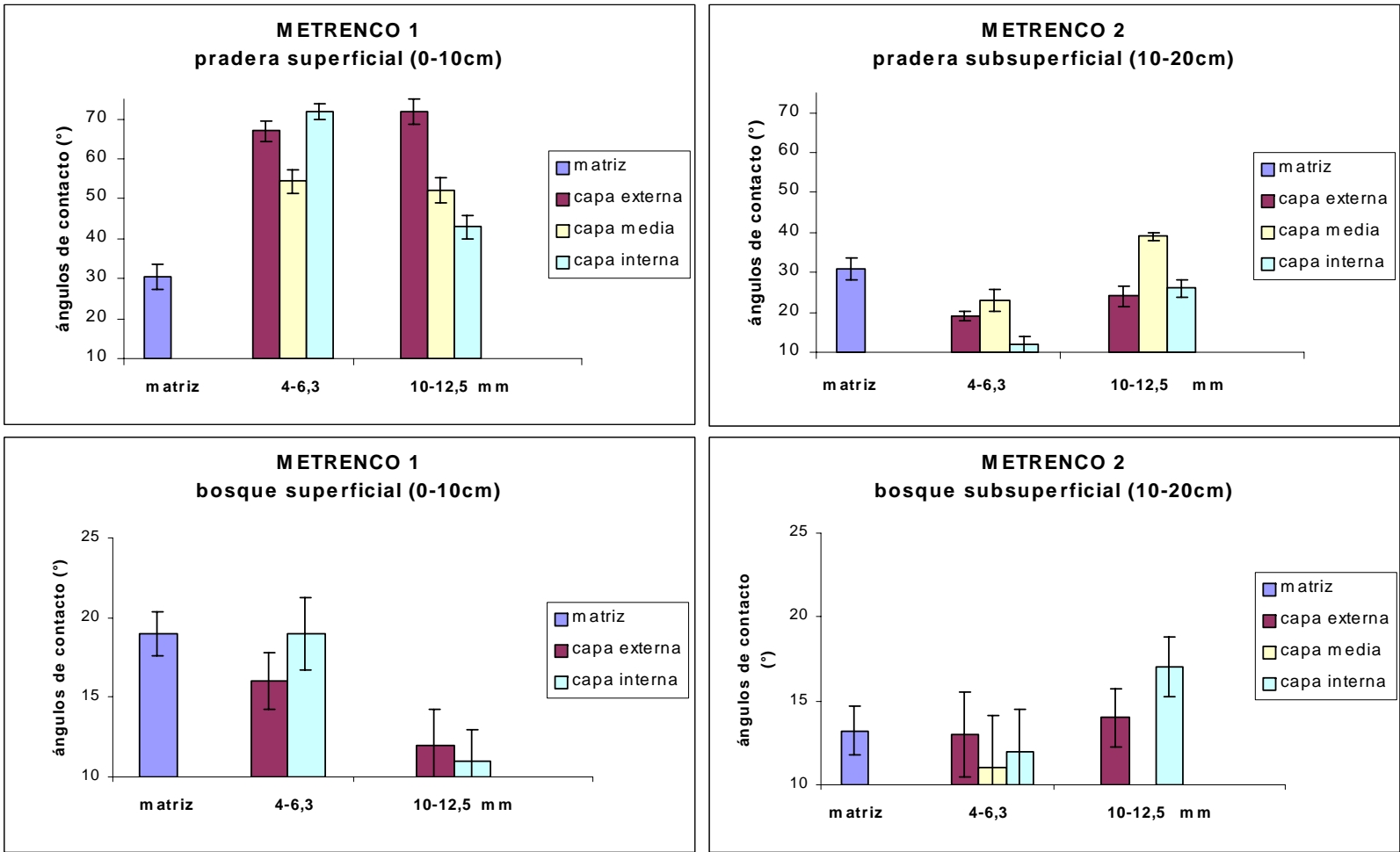
En las series Fresia (Figura 5) y Osorno (Figura 7) se observa que el valor correspondiente a la matriz, es en todos los casos inferior al valor de las capas de agregados de ambos tamaños. En Pemehue (Figura 8) esta diferencia es casi nula, indicando que no hay diferencias entre material agregado y sin agregación.

En ambas mediciones en la Serie Metrenco (Figuras 6 y 10) no se observa una tendencia clara entre los valores de matriz y los valores provenientes de las capas de agregados, debido a la alta capacidad de humectación que presentó esta serie, provocando gran variabilidad en los resultados.

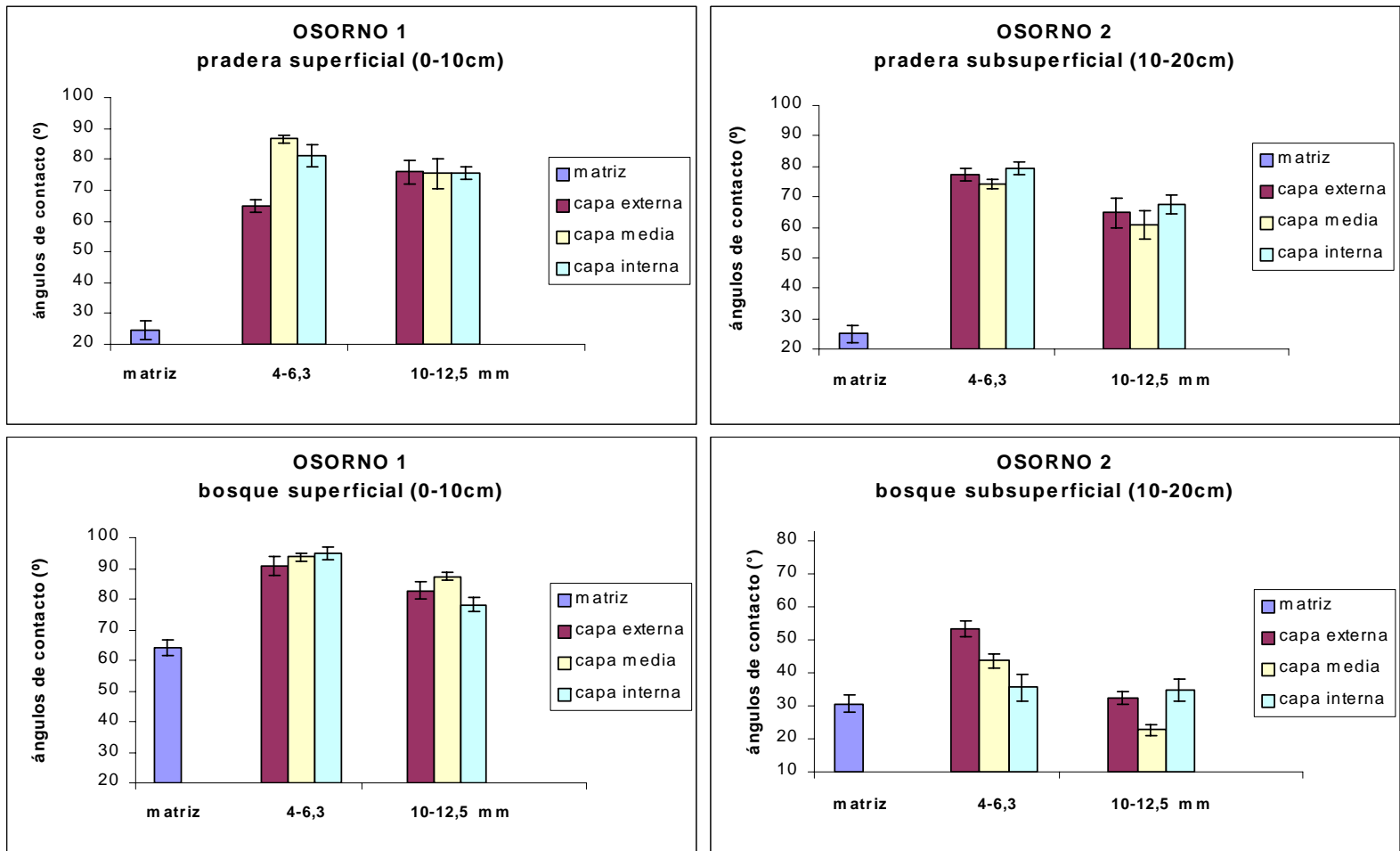
En el caso de la medición de materia orgánica (Figuras 9 a 12) las diferencias entre valores que representan la matriz y los valores que corresponden a cada capa de agregado son casi nulas lo que indica que estas diferencias en cuanto a contenido no son importantes sino su manifestación en la capacidad de la humectación, lo que podría ser efecto de la calidad de la materia orgánica existente entre material agregado y sin agregación.



**FIGURA 5** Variación del ángulo de contacto de capas de agregados para cada tamaño seleccionado y el valor de matriz de la Serie Fresia.

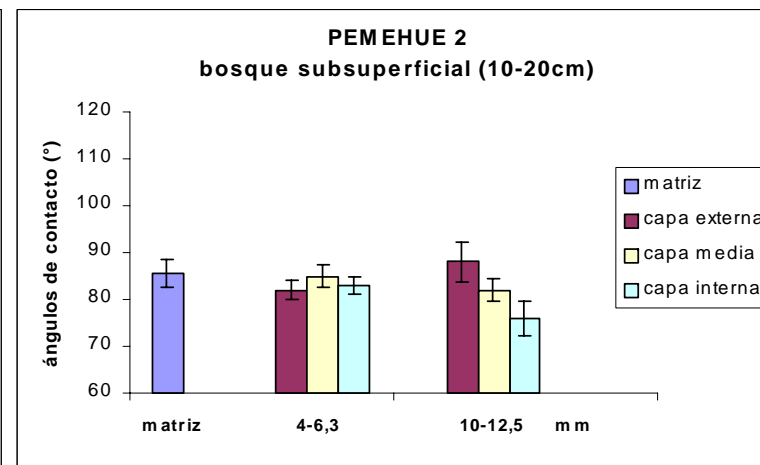
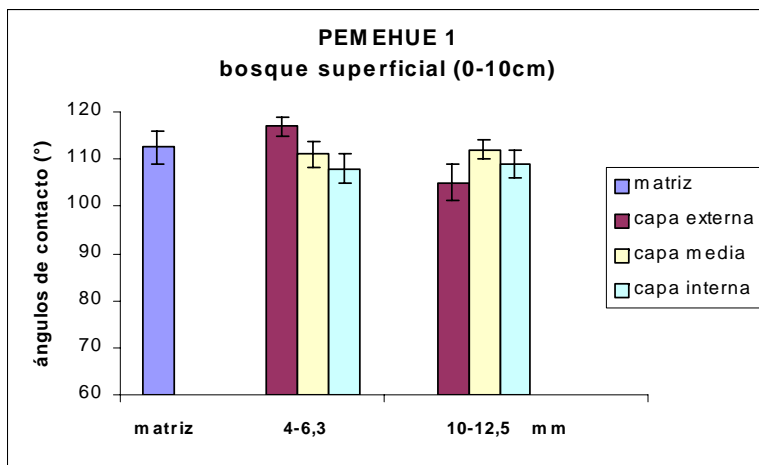
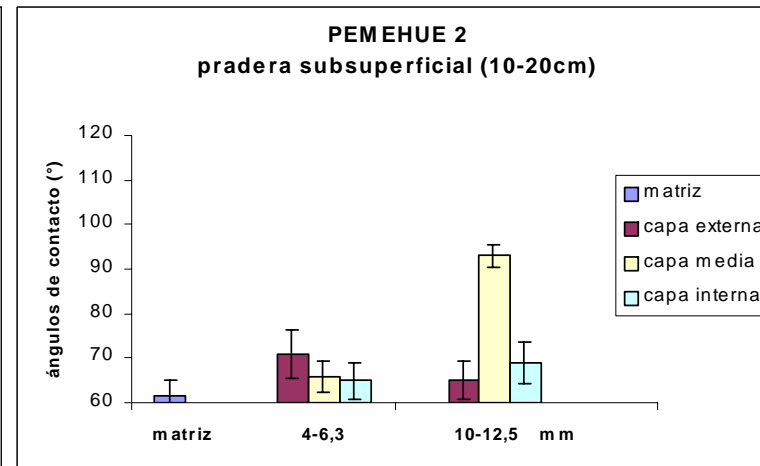
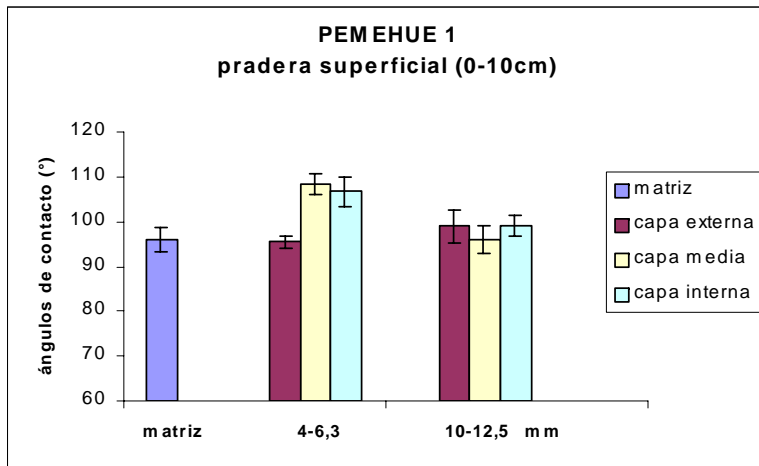


**FIGURA 6** Variación del ángulo de contacto de capas de agregados para cada tamaño seleccionado y el valor de matriz de la Serie Metrenco.

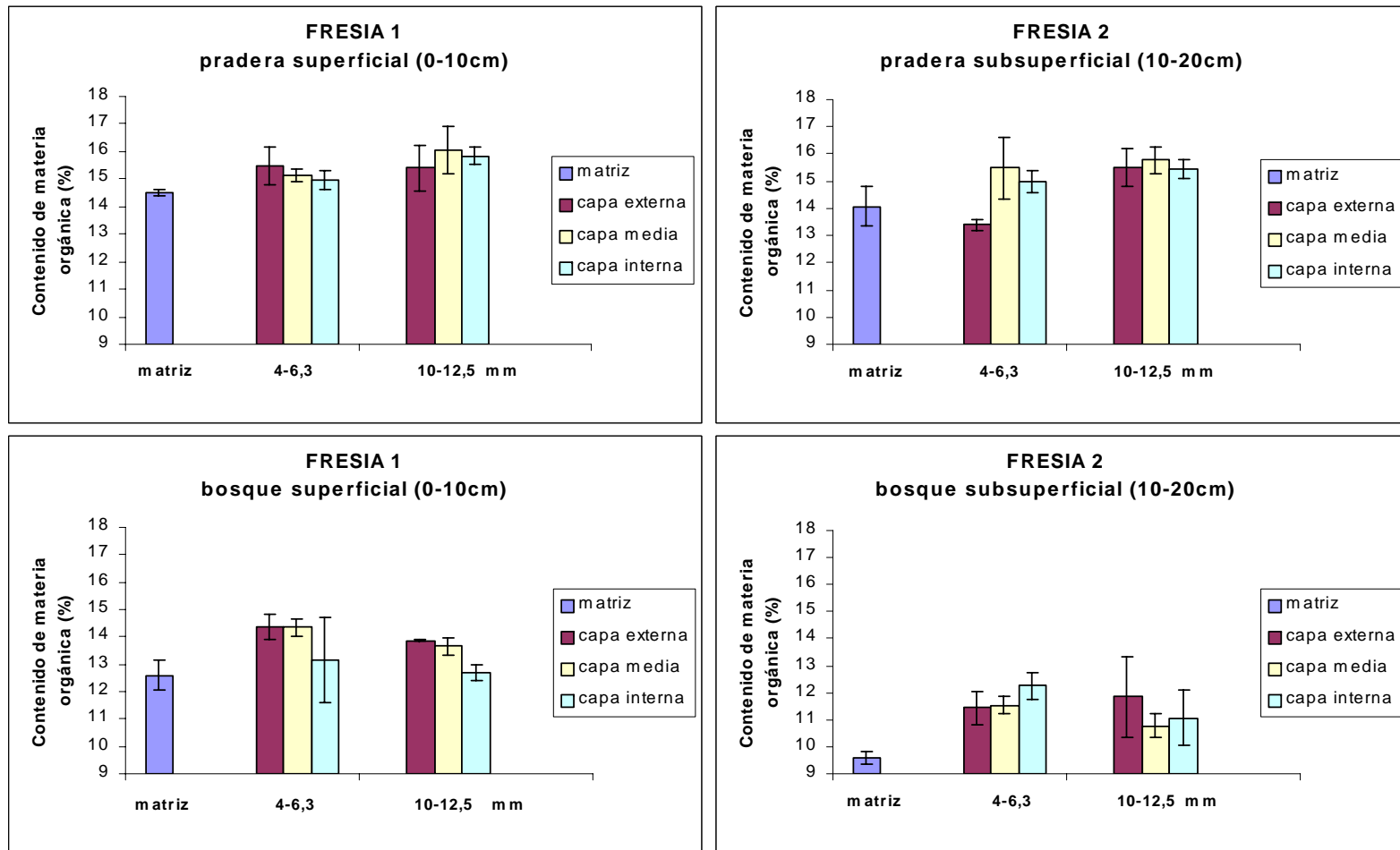


**FIGURA 7** Variación del ángulo de contacto de capas de agregados para cada tamaño seleccionado y el valor de matriz de la Serie Osorno.

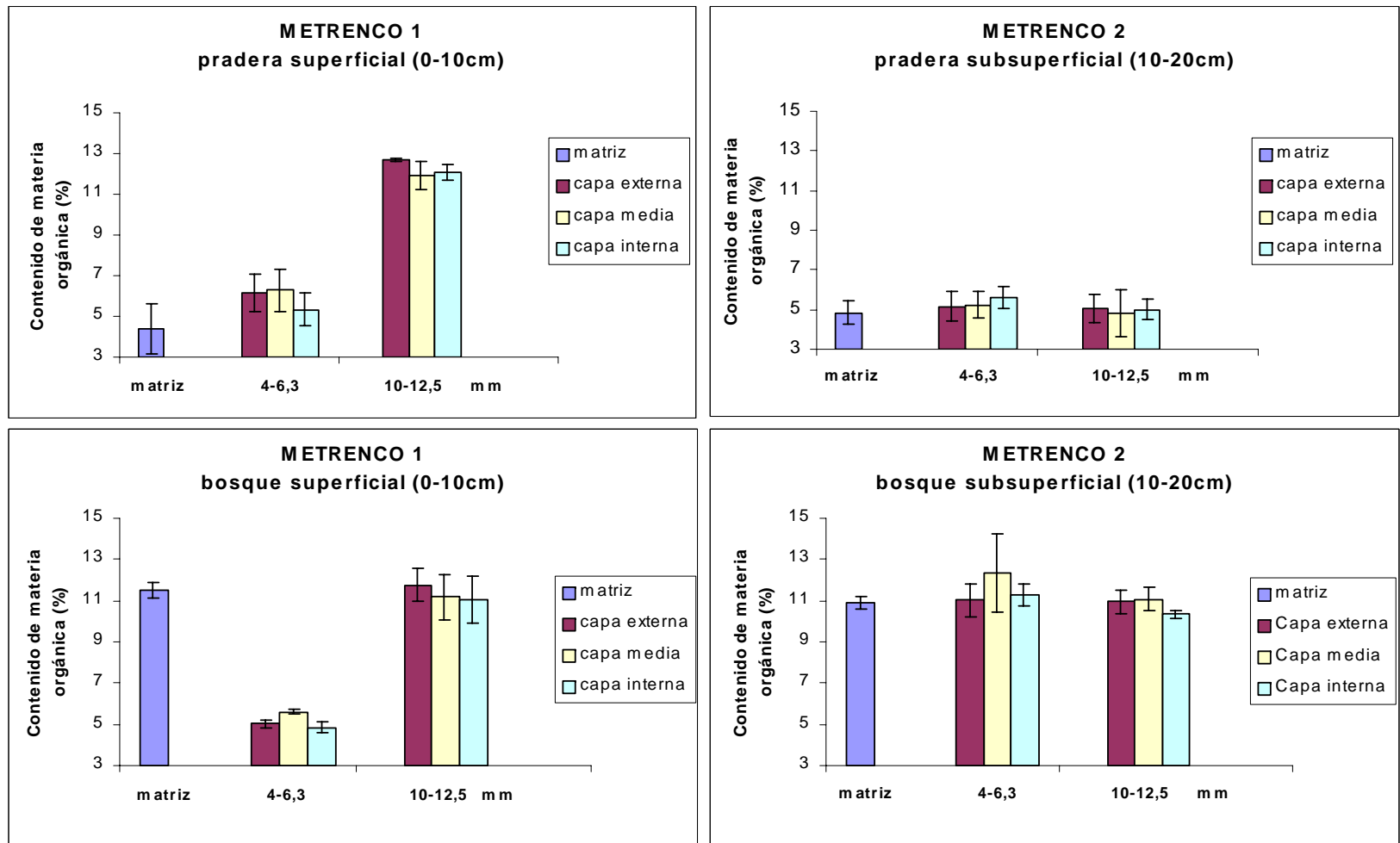




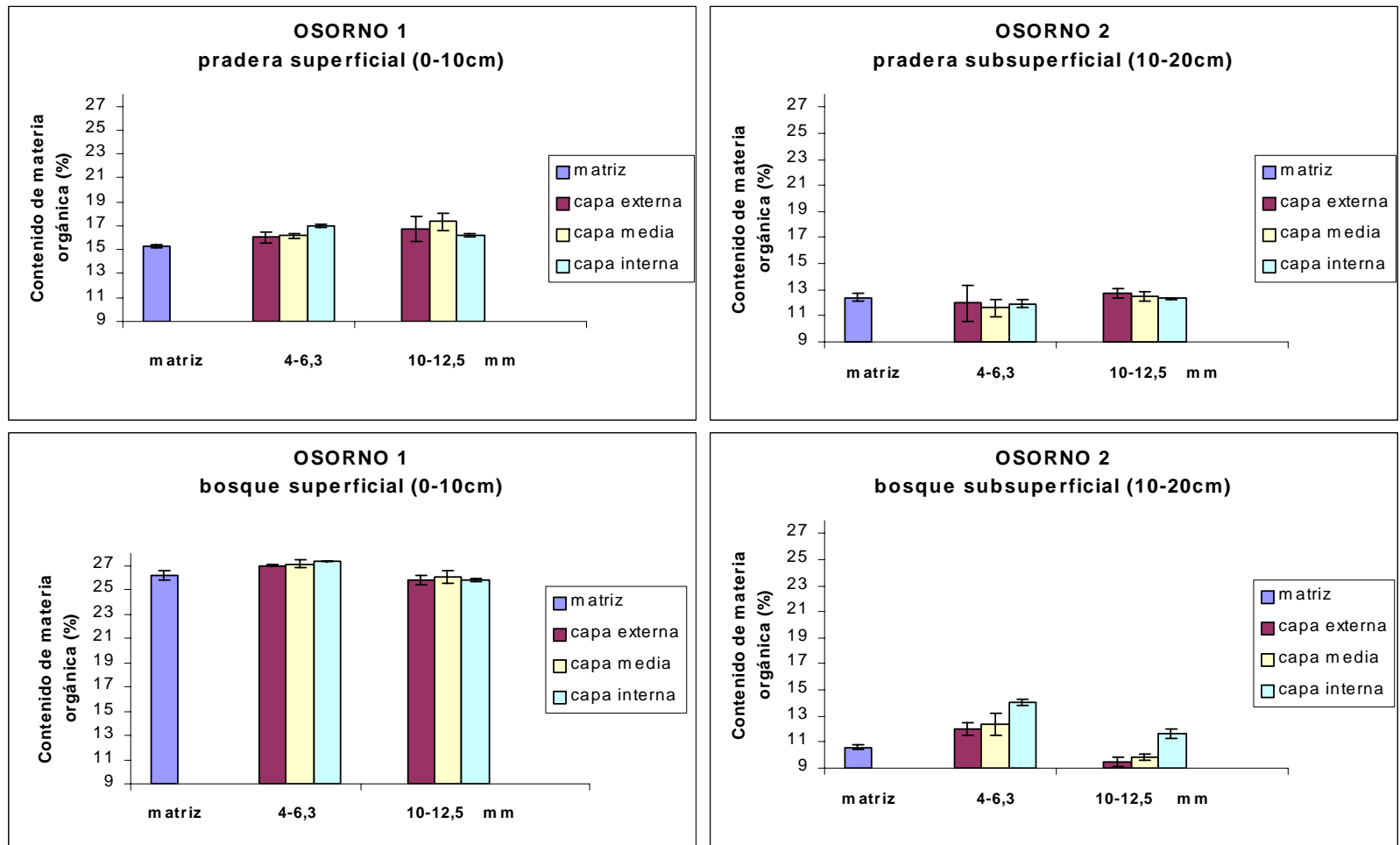
**FIGURA 8** Variación del ángulo de contacto de capas de agregados para cada tamaño seleccionado y el valor de matriz de la Serie Pemehue.



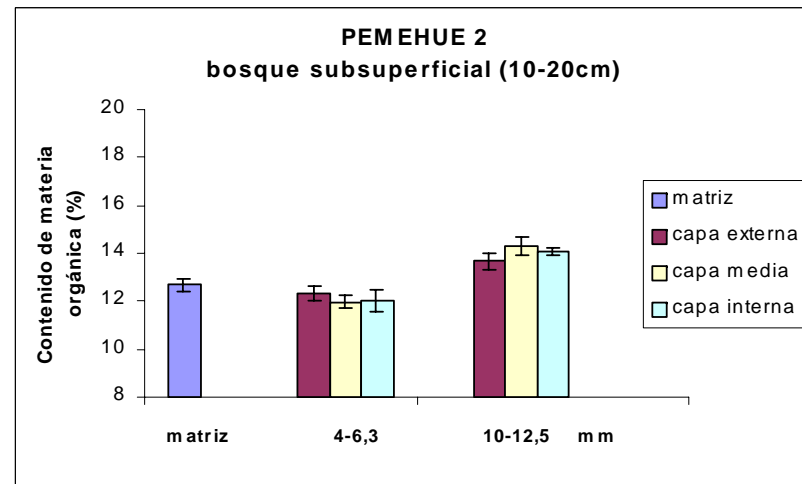
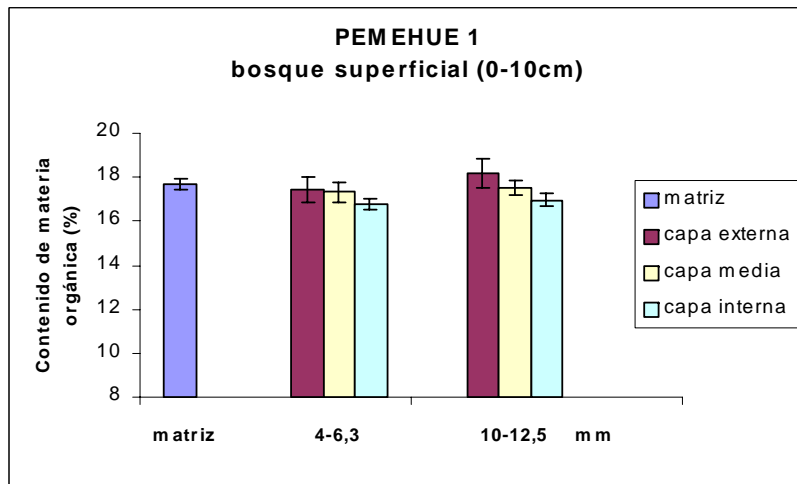
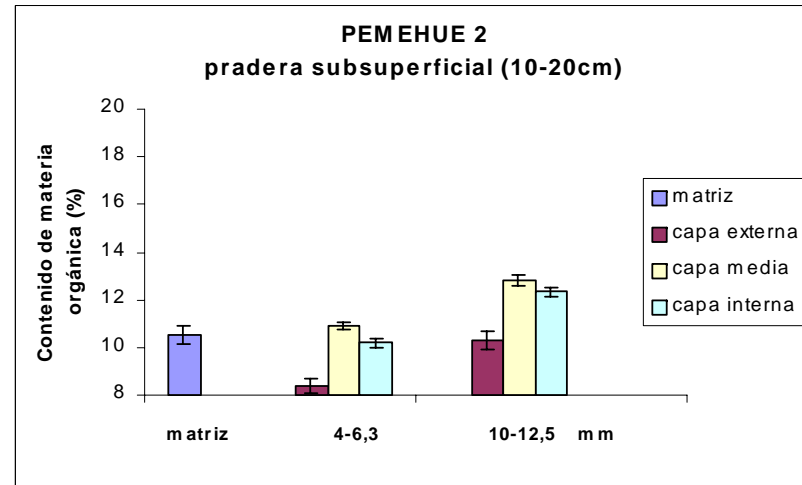
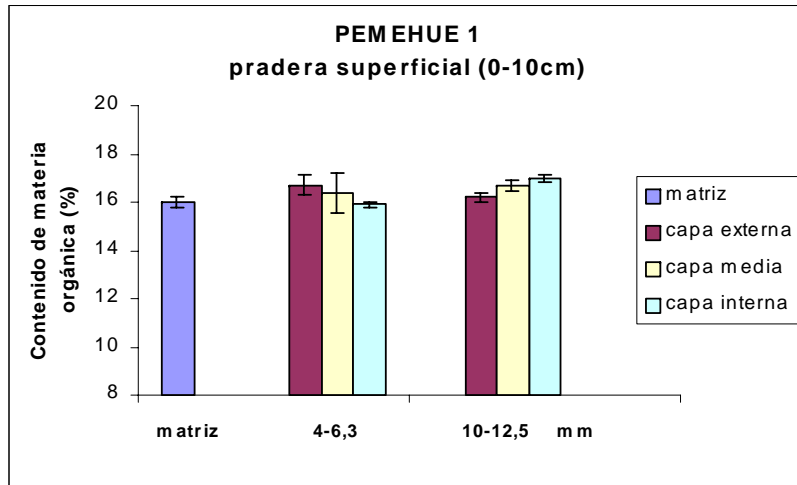
**FIGURA 9** Variación en el contenido de materia orgánica de capas de agregados para cada tamaño seleccionado y valor de matriz de la Serie Fresia.



**FIGURA 10** Variación en el contenido de materia orgánica de capas de agregados para cada tamaño seleccionado y valor de matriz de la Serie Metrenco.



**FIGURA 11** Variación en el contenido de materia orgánica de capas de agregados para cada tamaño seleccionado y valor de matriz de la Serie Osorno.



**FIGURA 12** Variación en el contenido de materia orgánica de capas de agregados para cada tamaño seleccionado y valor de matriz de la Serie Pemehue.

## 5 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten concluir que:

- Suelos con un mayor contenido de materia orgánica, presentan una mayor resistencia a la humectación. Los suelos Hapludands tienen un mayor contenido orgánico, por lo tanto su capacidad de humectación es inferior que en suelos Palehumults.
- Debido a un mayor aporte orgánico en superficie, la resistencia a la humectación es mayor en estratas superficiales, la que disminuye en las estratas más profundas.
- Una mayor resistencia a la humectación en sitios bajo pradera, podría ser producto del alto grado de intervención del bosque nativo existente en las series.
- No se observa una tendencia clara en la distribución de la capacidad de humectación y el contenido de materia orgánica, según el tamaño de los agregados.
- La capacidad de humectación es variable dentro de los agregados de suelo, la que tiende a aumentar hacia el interior de estos.
- Se acepta la hipótesis de este trabajo, que postula una distribución anisotrópica de la materia orgánica y por lo tanto de la capacidad de humectación en el suelo.

## 6 RESUMEN

Se evaluó la distribución espacial de la capacidad de humectación en dos suelos Hapludands y Palehumults del Centro-Sur de Chile sometidos a uso forestal y pratense.

Se seleccionaron dos diámetros de agregados provenientes de una estrata superficial (0-10 cm) y de una subsuperficial (10-20 cm). Los agregados se rasparon manualmente, en tres capas desde la superficie al interior, de este material se seleccionó la fracción de microagregados con diámetro entre 63-38 $\mu$ m en el cual se midió el ángulo de contacto y el contenido de materia orgánica. Paralelamente éstos parámetros fueron medidos en material no agregado proveniente de la matriz del suelo. La determinación del ángulo de contacto se realizó sobre la superficie de microagregados, depositando una gota de líquido, que se observó en una lupa con campo de visión horizontal.

La resistencia a la humectación y el contenido de carbono orgánico es mayor en los suelos Hapludands y en las estratas superficiales de todos los suelos.

El contenido de materia orgánica tiende a ser mayor en suelo bajo bosque, pero se manifiesta en una mayor hidrofobia en suelo bajo pradera, en las series Metrenco y Osorno, resultado de la influencia de factores cualitativos de la materia orgánica, en la primera y por la existencia de un bosque muy degradado en la segunda. En las series Fresia y Pemehue se observó una relación directa entre el contenido de materia orgánica y el ángulo de humectación.

La resistencia a la humectación tiende a ser mayor en agregados de menor diámetro, sin embargo no hay una tendencia clara en los resultados ni algún tipo de relación con el contenido de materia orgánica.

La capacidad de humectación presenta una variación dentro de los agregados, la cual es generalmente menor hacia el interior, debido a una mayor acumulación de materia orgánica, que se encuentra en condiciones de anaerobiosis. Esta distribución anisotrópica del contenido de materia orgánica y por lo tanto de la capacidad de humectación también se produce entre material agregado y sin agregación.



## SUMMARY

The spatial distribution of the wetting capacity was evaluated on two Hapludands and two Palehumult from Southern Chile submitted to forest and pasture management.

The distribution of the wetting capacity was correlated with the organic matter content in the soil.

Two diameters of aggregates from topsoil (0-10cm) and the subsoil (10-20 cm) were selected. The aggregates were manually scraped, selecting of this material the microagregates fraction between 38-63  $\mu\text{m}$  diameter for determine the contact angle and the organic matter content. At the same time, both parameters were measured in not agregate material from the matrix of the soil. The angle contact was determined depositing a liquid drop on the microagregates surface, and observed by a microscope with horizontal vision field.

The wetting resistance and the organic matter content is greater in the Hapludands soils and in the topsoil in all series soils.

The organic matter content tends to be greater in the sites with a forest, however the hydrophobic properties are greater in the pasture in series Metrenco and Osorno, result of the qualitative factors influence of the organic matter in the first and the existence of the degraded forest in the second. In Fresia and Pemehue soils was observed a direct relation between organic matter content and angle contact.

The wetting resistance tends to be greater in the small diameter aggregate, however, there is not the direct relation with organic matter content.

The wetting capacity is variable in the aggregates, there is lower at the interior, due a greather organic matter acumulation in the interior. This content organic is in anaerobic conditons. The anisotropic distributions of the organic matter content and the wetting capacity is diferent too, between aggregates and not agregated material.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- BACHMANN, J. 1998. A rapid method to measure water repellency of soils. 16° Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo, Montpellier, Francia. Summaries, Volumen I: 20 p.
- BOND, R. 1969. The occurrence of water-repellent soils in Australia. Proceedings of the symposium on water repellent soils. University of California. Riverside, USA. pp: 1-6.
- BURCKHARDT, W. 1985. Determination of the wetting characteristics of peat soils extract by contact angle measurements. *Z. Pflanzenernähr Boden.* 148: 66-72.
- CARON, J; ESPINDOLA, R. y ANGERS, D. 1996. Soil structural stability during rapid wetting: Influence of land use on some aggregate properties. *Soil Science Society of America Journal.* 60: 901-908.
- CARTER, M. 1992. Influence of reduced tillage systems on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distribution and structural stability of the surface soil in a humid climate. *Soil and Tillage Research.* 23(4): 361-372.
- CONTRERAS, C. 1998. Metodología para evaluar la capacidad de humectación en suelos. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 48 p.
- CHAN, K. 1992. Development of seasonal water repellence under direct drilling. *Soil Science Society of America Journal.* 56(1): 326-329.

- DEBANO, L. 1969a. Water movement in water-repellent. Proceedings of the symposium on water repellent soils. University of California. Riverside, USA. pp 61-89.
- \_\_\_\_\_. 1969b. The relationship between heat treatment and water repellency in soil. Proceedings of the symposium on water repellent soils. University of California. Riverside, USA. pp 265-280.
- DEKKER, L.; DOERR, S.; OOSTINDIE, K.; ZIOGAS, A. y RITSEMA, C. 2001. Water repellency and critical soil water content in a dune sand. *Soil Science Society of America Journal*.65: 1667-1674
- ELLIES, A. 1975. Untersuchungen über einige Aspekte des Wasserhaushaltes vulkanischer Aschenböden aus der gemässigten Zone Südchiles. Disertation. Hannover, Technische Universität Hanover. Alemania. 107 p.
- ELLIES, A. 1978. Algunos aspectos de hidrofobia de suelos derivados de cenizas volcánicas. II Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo. Departamento de Ingeniería de Suelos. Facultad de Agronomía. Universidad de Chile. Santiago. Tomo II: pp: 344-365.
- ELLIES, A., GREZ, R. y RAMIREZ, C. 1995. Potencial de humectación y estabilidad estructural de suelos sometidos a diferentes manejos. *Agricultura Técnica*. Chile. 55 (3-4): 220-225
- ELLIES, A., GREZ, R. y RAMIREZ, C. 1996. Efecto de la materia orgánica sobre la capacidad de humectación y las propiedades estructurales de algunos suelos de la zona centro sur de Chile. *Agro Sur*. Chile. 24 (1): 48-58

- FORTUN, C. y FORTUN, A. 1989. Diversos aspectos sobre el papel de la materia orgánica humificada en la formación y estabilización de los agregados del suelo. *Anales de Edafología y Agrobiología (Madrid)*. 48: 185-204.
- GIOVANNINI, J. LUCCHESI, S. y CERVELLI, S. 1983. Water repellent substances and aggregate stability in hydrophobic soils. *Soil Science*. 135: 110-113.
- HAUSER, S. 1980. Efecto de las quemadas sobre las propiedades humectantes en suelos de la zona sur. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. p.
- JONGE, L.W.; JACOBSEN, O. y MOLDRUP, P. 1999. Soil water repellency: Effects of water content, temperature, and particle size. *Soil Science Society of America Journal*. 63:437-442
- KRUSS. 1991. Contact angle meter G1. Users manual. Rheologie und Grenzflächenchemie. Rheologie and Surface Science. Hamburg, Germany. 23 p.
- LETEY, J. 1969. Measurement of contact angle, water drop penetration time, and critical surface tension. Proceedings of the symposium on water repellent soils. University of California. Riverside, USA. pp: 265-280.
- PICCOLO, A. y MBAGWU, J. 1999. Role of hydrophobic component of soil organic matter in soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal*. 63: 1801-1810.
- ROBERTS, F. y CARBON, B. 1972. Water repellence in sandy soils of south-western Australia. II. Some chemical characteristics of the hydrophobic skins. *Australian Journal of Soil Research*. 10: 35-42.

RUSSEL, A.; 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel. Madrid, Mundi-Prensa. España. 632 p.

SAVAGE, S., MARTIN, J. y LETEY, J. 1969 a. Contribution of humic acid a polisaccharide to water repellency in sand and soil. Soil Science Society of America. Proceedings. 33: 405-409.

TAN, K. 1993. Principles of soil chemistry. 2<sup>th</sup>. New York, Marcel Dekker, Inc. United States of America. 362p.

TSCHAPEK, M. 1966. El agua del suelo. Nuevas gráficas. Madrid, España. 480 p.

SOIL SURVEY STAFF (SSS). 1998. Keys to soil taxonomy. 8<sup>th</sup> Ed. 326 p.

WALLIS, M. y HORNE, D. 1992. Soil Water Repellency. Advances in Soil Science. 20: 92-138.

ZUNINO, H. Y BORIE, F. 1985. Materia orgánica y procesos biológicos en suelos alofánicos. In: Tosso, J.(ed). Suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Santiago. 5: 341-425.

**ANEXOS**

### ANEXO 1 Ángulo de humectación de las capas de agregados.

Uso	Profundidad de estratas (cm)	Diámetro de agregados (mm)	Capas (mm)	Ángulo de contacto de capas de agregados según Serie de suelo			
				Fresia	Metrenco	Osorno	Pemehue
pradera	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	54	68	60	97
pradera	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	56	67	65	97
pradera	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	52	70	65	97
pradera	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	52	64	67	96
pradera	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	56	70	67	96
pradera	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	51	72	65	96
pradera	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	44	65	66	95
pradera	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	52	67	65	94
pradera	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	54	65	63	94
pradera	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	51	66	65	93
pradera	0-10	4-6,3	C (2-4)	80	50	89	106
pradera	0-10	4-6,3	C (2-4)	78	55	87	106
pradera	0-10	4-6,3	C (2-4)	78	56	86	112
pradera	0-10	4-6,3	C (2-4)	82	57	87	110
pradera	0-10	4-6,3	C (2-4)	79	59	87	109
pradera	0-10	4-6,3	C (2-4)	76	56	87	106
pradera	0-10	4-6,3	C (2-4)	77	51	85	106
pradera	0-10	4-6,3	C (2-4)	82	56	85	111
pradera	0-10	4-6,3	C (2-4)	81	54	85	108
pradera	0-10	4-6,3	C (2-4)	79	51	88	110
pradera	0-10	4-6,3	I (0-2)	75	75	85	106
pradera	0-10	4-6,3	I (0-2)	64	71	77	111
pradera	0-10	4-6,3	I (0-2)	67	71	83	110
pradera	0-10	4-6,3	I (0-2)	65	71	80	101
pradera	0-10	4-6,3	I (0-2)	71	70	80	108
pradera	0-10	4-6,3	I (0-2)	71	71	83	105
pradera	0-10	4-6,3	I (0-2)	69	76	84	109
pradera	0-10	4-6,3	I (0-2)	69	74	85	109
pradera	0-10	4-6,3	I (0-2)	64	72	76	106
pradera	0-10	4-6,3	I (0-2)	70	73	77	102
pradera	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	74	70	74	103
pradera	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	74	68	70	98
pradera	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	73	75	78	99
pradera	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	76	75	74	95
pradera	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	74	73	78	102
pradera	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	72	78	71	95
pradera	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	75	70	81	94
pradera	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	77	71	78	103
pradera	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	74	69	74	103
pradera	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	74	70	81	102
pradera	0-10	10-12,5	C (4-8)	72	52	74	95
pradera	0-10	10-12,5	C (4-8)	73	50	73	99
pradera	0-10	10-12,5	C (4-8)	73	51	84	97

(Continúa)



Continuación Anexo 1

Uso	Profundidad	Diámetro	Capas	Ángulo de contacto de capas de agregados según Serie de suelo			
	de estratas	de agregados		Fresia	Metrenco	Osorno	Pemehue
	(cm)	(mm)	(mm)	(°)			
pradera	0-10	10-12,5	C (4-8)	72	50	80	96
pradera	0-10	10-12,5	C (4-8)	73	50	76	99
pradera	0-10	10-12,5	C (4-8)	71	54	73	90
pradera	0-10	10-12,5	C (4-8)	72	56	82	93
pradera	0-10	10-12,5	C (4-8)	72	50	70	91
pradera	0-10	10-12,5	C (4-8)	72	58	70	99
pradera	0-10	10-12,5	C (4-8)	73	48	71	96
pradera	0-10	10-12,5	I (0-4)	75	48	73	101
pradera	0-10	10-12,5	I (0-4)	74	42	73	101
pradera	0-10	10-12,5	I (0-4)	78	40	76	101
pradera	0-10	10-12,5	I (0-4)	73	41	78	101
pradera	0-10	10-12,5	I (0-4)	75	43	78	96
pradera	0-10	10-12,5	I (0-4)	74	42	74	97
pradera	0-10	10-12,5	I (0-4)	77	43	75	97
pradera	0-10	10-12,5	I (0-4)	76	48	78	101
pradera	0-10	10-12,5	I (0-4)	77	45	76	96
pradera	0-10	10-12,5	I (0-4)	77	40	73	98
pradera	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	58	17	75	65
pradera	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	62	21	73	61
pradera	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	63	21	79	72
pradera	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	61	19	79	80
pradera	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	69	18	79	67
pradera	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	60	20	77	72
pradera	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	58	19	77	71
pradera	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	65	19	75	74
pradera	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	59	20	79	70
pradera	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	60	20	79	76
pradera	10-20	4-6,3	C (2-4)	72	27	73	65
pradera	10-20	4-6,3	C (2-4)	73	18	75	68
pradera	10-20	4-6,3	C (2-4)	79	22	75	72
pradera	10-20	4-6,3	C (2-4)	73	24	73	67
pradera	10-20	4-6,3	C (2-4)	72	26	73	62
pradera	10-20	4-6,3	C (2-4)	74	24	75	64
pradera	10-20	4-6,3	C (2-4)	76	24	72	69
pradera	10-20	4-6,3	C (2-4)	78	23	73	69
pradera	10-20	4-6,3	C (2-4)	81	23	78	61
pradera	10-20	4-6,3	C (2-4)	85	20	75	63
pradera	10-20	4-6,3	I (0-2)	85	15	79	62
pradera	10-20	4-6,3	I (0-2)	75	10	79	62
pradera	10-20	4-6,3	I (0-2)	83	12	81	65
pradera	10-20	4-6,3	I (0-2)	81	11	80	69
pradera	10-20	4-6,3	I (0-2)	81	13	82	68
pradera	10-20	4-6,3	I (0-2)	75	-	78	66
pradera	10-20	4-6,3	I (0-2)	83	-	79	58

(Continúa)

## Continuación Anexo 1

Uso	Profundidad de estratas (cm)	Diámetro de agregados (mm)	Capas (mm)	Ángulo de contacto de capas de agregados según Serie de suelo			
				Fresia	Metrenco	Osorno	Pemehue
				(°)			
pradera	10-20	4-6,3	I (0-2)	70	-	75	70
pradera	10-20	4-6,3	I (0-2)	80	-	78	63
pradera	10-20	4-6,3	I (0-2)	76	-	81	71
pradera	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	76	20	65	60
pradera	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	79	25	60	58
pradera	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	72	23	72	70
pradera	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	72	21	60	68
pradera	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	72	22	71	67
pradera	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	78	26	66	67
pradera	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	76	28	60	62
pradera	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	73	23	68	67
pradera	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	77	26	66	70
pradera	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	71	26	59	63
pradera	10-20	10-12,5	C (4-8)	79	40	68	93
pradera	10-20	10-12,5	C (4-8)	81	40	55	96
pradera	10-20	10-12,5	C (4-8)	80	38	58	94
pradera	10-20	10-12,5	C (4-8)	77	38	61	94
pradera	10-20	10-12,5	C (4-8)	81	37	60	91
pradera	10-20	10-12,5	C (4-8)	81	40	55	95
pradera	10-20	10-12,5	C (4-8)	81	38	61	90
pradera	10-20	10-12,5	C (4-8)	76	38	68	91
pradera	10-20	10-12,5	C (4-8)	79	40	63	90
pradera	10-20	10-12,5	C (4-8)	82	39	58	97
pradera	10-20	10-12,5	I (0-4)	75	26	66	69
pradera	10-20	10-12,5	I (0-4)	76	27	72	74
pradera	10-20	10-12,5	I (0-4)	77	26	71	67
pradera	10-20	10-12,5	I (0-4)	73	23	69	75
pradera	10-20	10-12,5	I (0-4)	73	25	63	64
pradera	10-20	10-12,5	I (0-4)	78	26	67	61
pradera	10-20	10-12,5	I (0-4)	75	30	64	67
pradera	10-20	10-12,5	I (0-4)	78	29	70	71
pradera	10-20	10-12,5	I (0-4)	75	23	70	74
pradera	10-20	10-12,5	I (0-4)	74	26	65	71
bosque	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	56	17	88	119
bosque	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	59	14	90	116
bosque	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	57	16	88	117
bosque	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	54	17	88	117
bosque	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	57	15	88	116
bosque	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	55	16	92	122
bosque	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	59	17	93	116
bosque	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	57	20	95	118
bosque	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	58	14	92	116
bosque	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	58	15	96	115

(Continúa)

## Continuación Anexo 1

Uso	Profundidad	Diámetro	Capas	Ángulo de contacto de capas de agregados según Serie de suelo			Pemehue
	de estratas	de agregados		Fresia	Metrenco	Osorno	
	(cm)	(mm)	(mm)			(°)	
bosque	0-10	4-6,3	C (2-4)	65	-	94	112
bosque	0-10	4-6,3	C (2-4)	65	-	95	108
bosque	0-10	4-6,3	C (2-4)	64	-	94	111
bosque	0-10	4-6,3	C (2-4)	63	-	96	109
bosque	0-10	4-6,3	C (2-4)	65	-	91	108
bosque	0-10	4-6,3	C (2-4)	67	-	93	110
bosque	0-10	4-6,3	C (2-4)	68	-	94	109
bosque	0-10	4-6,3	C (2-4)	66	-	93	118
bosque	0-10	4-6,3	C (2-4)	69	-	93	110
bosque	0-10	4-6,3	C (2-4)	65	-	93	111
bosque	0-10	4-6,3	I (0-2)	61	18	92	108
bosque	0-10	4-6,3	I (0-2)	65	19	93	112
bosque	0-10	4-6,3	I (0-2)	64	20	93	108
bosque	0-10	4-6,3	I (0-2)	64	14	97	110
bosque	0-10	4-6,3	I (0-2)	68	19	98	105
bosque	0-10	4-6,3	I (0-2)	68	19	96	106
bosque	0-10	4-6,3	I (0-2)	61	21	94	114
bosque	0-10	4-6,3	I (0-2)	61	-	94	108
bosque	0-10	4-6,3	I (0-2)	64	-	96	107
bosque	0-10	4-6,3	I (0-2)	66	-	95	104
bosque	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	54	11	84	101
bosque	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	53	10	84	103
bosque	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	57	15	87	109
bosque	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	62	16	80	109
bosque	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	64	15	82	105
bosque	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	63	12	87	104
bosque	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	57	12	82	103
bosque	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	60	11	80	110
bosque	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	61	10	80	110
bosque	0-10	10-12,5	E (8-12,5)	58	-	82	100
bosque	0-10	10-12,5	C (4-8)	65	-	87	110
bosque	0-10	10-12,5	C (4-8)	68	-	87	109
bosque	0-10	10-12,5	C (4-8)	68	-	89	114
bosque	0-10	10-12,5	C (4-8)	62	-	88	111
bosque	0-10	10-12,5	C (4-8)	71	-	85	114
bosque	0-10	10-12,5	C (4-8)	66	-	88	111
bosque	0-10	10-12,5	C (4-8)	68	-	88	109
bosque	0-10	10-12,5	C (4-8)	64	-	88	113
bosque	0-10	10-12,5	C (4-8)	67	-	85	114
bosque	0-10	10-12,5	C (4-8)	69	-	89	113
bosque	0-10	10-12,5	I (0-4)	71	8	76	109
bosque	0-10	10-12,5	I (0-4)	70	9	81	109
bosque	0-10	10-12,5	I (0-4)	69	9	74	113
bosque	0-10	10-12,5	I (0-4)	74	11	78	112

(Continúa)

## Continuación Anexo 1

Uso	Profundidad	Diámetro	Capas	Ángulo de contacto de capas de agregados según Serie de suelo			
	de estratas	de agregados		Fresia	Metrenco	Osorno	Pemehue
	(cm)	(mm)	(mm)	(°)			
bosque	0-10	10-12,5	I (0-4)	76	14	79	108
bosque	0-10	10-12,5	I (0-4)	78	12	80	104
bosque	0-10	10-12,5	I (0-4)	76	11	76	108
bosque	0-10	10-12,5	I (0-4)	73	11	80	107
bosque	0-10	10-12,5	I (0-4)	78	-	78	108
bosque	0-10	10-12,5	I (0-4)	69	-	79	113
bosque	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	55	11	56	85
bosque	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	59	11	56	82
bosque	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	54	10	57	83
bosque	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	54	11	53	84
bosque	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	55	12	51	81
bosque	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	50	14	51	82
bosque	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	53	17	54	85
bosque	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	57	15	54	83
bosque	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	56	-	52	79
bosque	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	57	-	50	79
bosque	10-20	4-6,3	C (2-4)	64	10	46	82
bosque	10-20	4-6,3	C (2-4)	59	7	45	84
bosque	10-20	4-6,3	C (2-4)	58	8	45	85
bosque	10-20	4-6,3	C (2-4)	56	11	45	86
bosque	10-20	4-6,3	C (2-4)	65	16	41	85
bosque	10-20	4-6,3	C (2-4)	66	16	44	87
bosque	10-20	4-6,3	C (2-4)	63	13	46	84
bosque	10-20	4-6,3	C (2-4)	60	10	43	82
bosque	10-20	4-6,3	C (2-4)	57	10	42	86
bosque	10-20	4-6,3	C (2-4)	61	9	40	90
bosque	10-20	4-6,3	I (0-2)	66	15	38	85
bosque	10-20	4-6,3	I (0-2)	60	11	43	84
bosque	10-20	4-6,3	I (0-2)	58	9	41	80
bosque	10-20	4-6,3	I (0-2)	62	13	33	86
bosque	10-20	4-6,3	I (0-2)	60	10	36	82
bosque	10-20	4-6,3	I (0-2)	60	10	30	85
bosque	10-20	4-6,3	I (0-2)	58	8	34	83
bosque	10-20	4-6,3	I (0-2)	57	11	32	82
bosque	10-20	4-6,3	I (0-2)	60	13	36	81
bosque	10-20	4-6,3	I (0-2)	57	15	34	81
bosque	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	62	14	31	90
bosque	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	55	15	31	84
bosque	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	57	14	35	82
bosque	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	56	14	34	84
bosque	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	64	15	35	87
bosque	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	63	18	35	88
bosque	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	59	13	30	90
bosque	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	63	11	32	95

(Continúa)

## Continuación Anexo 1

Uso	Profundidad	Diámetro	Capas	Ángulo de contacto de capas de agregados según Serie de suelo			
	de estratas (cm)	de agregados (mm)		Fresia	Metrenco	Osorno	Pemehue
				(°)			
bosque	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	62	14	30	88
bosque	10-20	10-12,5	E (8-12,5)	58	14	31	94
bosque	10-20	10-12,5	C (4-8)	68	-	20	81
bosque	10-20	10-12,5	C (4-8)	68	-	24	82
bosque	10-20	10-12,5	C (4-8)	72	-	24	79
bosque	10-20	10-12,5	C (4-8)	66	-	25	79
bosque	10-20	10-12,5	C (4-8)	65	-	20	82
bosque	10-20	10-12,5	C (4-8)	66	-	23	81
bosque	10-20	10-12,5	C (4-8)	69	-	22	83
bosque	10-20	10-12,5	C (4-8)	75	-	24	83
bosque	10-20	10-12,5	C (4-8)	75	-	23	87
bosque	10-20	10-12,5	C (4-8)	76	-	23	86
bosque	10-20	10-12,5	I (0-4)	77	20	30	74
bosque	10-20	10-12,5	I (0-4)	77	16	36	79
bosque	10-20	10-12,5	I (0-4)	75	16	33	81
bosque	10-20	10-12,5	I (0-4)	71	15	36	79
bosque	10-20	10-12,5	I (0-4)	70	15	32	78
bosque	10-20	10-12,5	I (0-4)	77	19	32	80
bosque	10-20	10-12,5	I (0-4)	75	16	42	73
bosque	10-20	10-12,5	I (0-4)	72	19	38	73
bosque	10-20	10-12,5	I (0-4)	75	18	34	71
bosque	10-20	10-12,5	I (0-4)	74	17	34	72

**ANEXO 2    Ángulo de humectación de matriz de cada estrata.**

Uso	Profundidad de estratas (cm)	Ángulo de contacto de matriz según Serie de suelo (°)			
		FRESIA	METRENCO	OSORNO	PEMEHUE
pradera	0-10	31	26	20	91
		33	29	26	94
		29	34	24	97
		29	34	20	99
		28	32	23	97
		31	32	26	99
		30	34	26	96
		29	31	25	98
		31	26	29	95
		31	28	27	93
	10-20	27	26	24	59
		21	31	26	64
		15	34	26	65
		20	30	24	61
		15	29	25	67
		15	34	26	64
		26	34	24	60
		27	28	26	61
		26	32	24	58
		25	30	25	56
Bosque	0-10	36	18	60	114
		31	20	61	115
		31	-	66	111
		35	-	63	117
		32	-	65	119
		29	-	62	111
		28	-	64	111
		28	-	66	111
		30	-	68	109
	10-20	30	-	67	108
		15	15	33	82
		11	14	29	87
		13	12	30	88
		11	14	31	82
		15	11	30	89
		-	12	29	87
		-	14	33	81
		-	-	25	84
-	-	26	84		
-	-	30	83		

### ANEXO 3 Contenido de materia orgánica de las capas de agregados de suelo.

Uso	Profundidad de estratas (cm)	Diámetro de agregados (mm)	Capas (mm)	Contenido de materia orgánica de capas de agregados según Serie de suelo (%)			
				Fresia	Metrenco	Osorno	Pemehue
pradera	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	16,27	5,48	16,1	17,10
			E (4-6,3)	15	5,74	15,55	16,70
			E (4-6,3)	15,2	7,21	16,4	16,30
			C (2-4)	15,27	5,48	15,98	15,63
			C (2-4)	14,86	5,88	16,26	17,23
			C (2-4)	15,23	7,48	16,2	16,30
			I (0-2)	15,08	5,61	17,06	15,89
			I (0-2)	14,58	4,41	16,78	16,03
			I (0-2)	15,2	6,01	17	15,76
			E (4-6,3)	15,99	12,74	16,21	16,43
			E (4-6,3)	15,74	12,61	17,98	16,16
			E (4-6,3)	14,45	12,66	16,1	16,03
			C (2-4)	15,21	12,27	17,79	16,83
			C (2-4)	16,92	12,33	16,54	16,83
			C (2-4)	16,03	11,14	17,8	16,43
	10-12,5	4-6,3	I (0-2)	15,87	12,47	16,07	16,96
			I (0-2)	15,48	12,06	16,37	17,10
			I (0-2)	16,13	11,73	16,3	16,83
			E (4-6,3)	13,63	4,81	13,49	9,08
			E (4-6,3)	13,34	4,67	11,28	8,55
			E (4-6,3)	13,2	6,01	11,1	8,55
			C (2-4)	14,17	4,81	12,09	10,82
			C (2-4)	15,96	4,94	10,84	10,82
			C (2-4)	16,3	6,01	11,9	11,09
			I (0-2)	14,95	5,48	12,24	10,15
			I (0-2)	14,55	5,08	11,56	10,42
			I (0-2)	15,41	6,20	12	10,02
	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	16,01	4,67	13,08	10,55
			E (4-6,3)	15,74	4,67	12,8	9,88
			E (4-6,3)	14,72	5,88	12,38	10,55
			C (2-4)	15,41	3,47	12,65	12,96
			C (2-4)	16,3	5,48	12,23	12,56
			C (2-4)	15,6	5,48	12,6	12,96
I (0-2)			15,87	4,41	12,4	12,29	
I (0-2)			15,34	5,34	12,38	12,15	
I (0-2)			15,18	5,21	12,2	12,56	

(Continúa)

## Continuación Anexo 3

Uso	Profundidad	Diámetro	Capas	Contenido de materia orgánica de capas de agregados según Serie de suelo			
	de estratas (cm)	de agregados (mm)		Fresia	Metrenco	Osorno	Pemehue
				(%)			
bosque	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	14,82	5,08	27,1	16,83
			E (4-6,3)	13,9	4,81	26,96	18,03
			E (4-6,3)	14,31	5,21	27	17,50
			C (2-4)	14,03	5,48	27,38	17,76
			C (2-4)	14,31	5,74	27,24	16,83
			C (2-4)	14,69	5,61	26,8	17,36
			I (0-2)	11,38	4,54	27,38	17,10
			I (0-2)	14,17	5,08	27,38	16,70
			I (0-2)	13,9	4,86	27,4	16,56
			E (4-6,3)	13,89	11,52	26,29	18,17
			E (4-6,3)	13,89	11,11	25,59	18,57
			E (4-6,3)	13,83	12,66	25,5	17,76
			C (2-4)	13,62	10,98	25,85	17,36
			C (2-4)	13,96	10,17	25,71	18,03
			10-20	10-12,5	C (2-4)	13,36	12,38
	I (0-2)	12,43			10,44	25,86	16,96
	I (0-2)	12,57			10,30	25,59	16,83
	I (0-2)	13			12,38	25,8	17,10
	E (4-6,3)	11,91			11,93	11,83	12,69
	E (4-6,3)	11,64			10,84	12,52	12,02
	E (4-6,3)	10,73			10,32	11,6	12,29
	C (2-4)	11,28			13,42	13,2	11,89
	C (2-4)	11,42			13,49	12,37	12,29
	C (2-4)	11,89			10,18	11,5	11,75
	I (0-2)	11,38			11,79	14,31	12,29
	I (0-2)	11,64			10,71	13,76	11,49
	I (0-2)	10,73			11,28	14,1	12,29
	E (4-6,3)	10,98			11,11	9,81	13,62
	E (4-6,3)	10,98			11,46	9,67	13,35
	E (4-6,3)	13,55	10,32	9,08	14,03		
10-12,5	C (2-4)	10,32	11,66	9,59	14,71		
	C (2-4)	10,73	11,11	10,01	13,89		
	C (2-4)	11,22	10,46	9,9	14,30		
	I (0-2)	11,64	10,30	11,17	13,89		
	I (0-2)	11,64	10,57	11,97	14,17		
	I (0-2)	9,91	10,18	11,8	14,17		



**ANEXO 4 Contenido de materia orgánica de la matriz de cada estrata.**

Uso	Profundidad de estratas (cm)	Contenido de materia orgánica de matriz según Serie de suelo			
		FRESIA	METRENCO	OSORNO	PEMEHUE
Pradera	0-10	14,5	5,5	15,3	16,2
		14,6	4,6	15,3	15,8
	10-20	14,4	3,1	15,5	16,1
		14,9	5,0	12,7	10,1
		13,8	5,4	12,2	10,8
		13,6	4,2	12,3	10,8
Bosque	0-10	12,6	11,8	25,9	18,0
		12,1	11,7	26,1	17,6
		13,1	11,0	26,7	17,6
	10-20	9,6	11,3	10,8	13,0
		9,4	11,0	10,6	12,8
		9,9	10,6	10,5	12,4

**ANEXO 5 Coeficientes de variación de la medición de ángulo de contacto de agregados.**

Uso	Profundidad De estratas (cm)	Diámetro de agregados (mm)	Capas (mm)	Coeficiente de variación de ángulos de contacto (%)			
				FRESIA	METRENCO	OSORNO	PEMEHUE
Pradera	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	6,6	3,8	3,2	1,5
			C (2-4)	2,6	5,4	1,6	2,1
			I (0-2)	5,2	2,8	4,3	3,1
		10-12,5	E (8-12,5)	1,9	4,5	5,1	3,7
			C (4-8)	0,9	6,1	6,7	3,4
			I (0-4)	2,2	6,8	2,8	2,3
	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	5,6	6,5	2,9	7,7
			C (2-4)	5,7	11,4	2,4	5,4
			I (0-2)	6,0	15,8	2,5	6,4
		10-12,5	E (8-12,5)	3,9	10,8	7,4	6,4
			C (4-8)	2,4	2,9	7,6	2,7
			I (0-4)	2,4	8,6	4,6	6,6
Bosque	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	2,9	11,1	3,3	1,7
			C (2-4)	2,8	-	1,4	2,6
			I (0-2)	4,1	12,0	2,0	2,9
		10-12,5	E (8-12,5)	6,3	18,5	3,2	3,6
			C (4-8)	3,9	-	1,6	1,8
			I (0-4)	4,8	18,1	2,8	2,6
	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	4,5	19,4	4,5	2,6
			C (2-4)	5,7	28,1	4,8	2,8
			I (0-2)	4,5	21,0	11,3	2,4
		10-12,5	E (8-12,5)	5,5	12,3	6,5	4,8
			C (4-8)	5,9	-	7,4	3,2
			I (0-4)	3,4	10,5	10,0	4,9

**ANEXO 6 Coeficientes de variación de la medición de ángulo de contacto de la matriz de cada estrata.**

Uso	Profundidad de estratas (cm)	Coeficiente de variación de ángulos de contacto (%)			
		FRESIA	METRENCO	OSORNO	PEMEHUE
Pradera	0-10	4,9	10,4	11,8	2,8
	10-20	23,9	8,9	3,8	5,6
Bosque	0-10	8,7	7,4	4,1	3,1
	10-20	15,4	11,1	8,5	3,3

**ANEXO 7 Coeficientes de variación del contenido de materia orgánica de agregados.**

Uso	Profundidad de estratas (cm)	Diámetro de agregados (mm)	Capas (mm)	Coeficiente de variación de contenido de materia orgánica (%)			
				FRESIA	METRENCO	OSORNO	PEMEHUE
Pradera	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	4,4	15,2	2,7	2,4
			C (2-4)	1,5	16,9	0,9	4,9
			I (0-2)	2,2	15,6	0,9	0,8
		10-12,5	E (8-12,5)	5,4	0,5	6,3	1,3
			C (4-8)	5,3	5,6	4,2	1,4
			I (0-4)	2,1	3,1	1,0	0,8
	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	1,6	14,3	11,1	3,5
			C (2-4)	7,4	12,5	5,8	1,4
			I (0-2)	2,9	10,2	2,9	2,0
		10-12,5	E (8-12,5)	4,4	13,8	2,8	3,7
			C (4-8)	3,0	24,1	1,8	1,8
			I (0-4)	2,3	10,1	0,9	1,7
Bosque	0-10	4-6,3	E (4-6,3)	3,2	4,1	0,3	3,5
			C (2-4)	2,3	2,3	1,1	2,7
			I (0-2)	11,7	5,6	0,0	1,7
		10-12,5	E (8-12,5)	0,2	6,8	1,7	2,2
			C (4-8)	2,2	10,0	1,8	2,8
			I (0-4)	2,3	10,5	0,6	0,8
	10-20	4-6,3	E (4-6,3)	5,4	7,4	4,0	2,7
			C (2-4)	2,8	15,3	6,9	2,3
			I (0-2)	4,2	4,8	2,0	3,8
		10-12,5	E (8-12,5)	12,5	5,3	4,1	2,5
			C (4-8)	4,2	5,4	2,2	2,9
			I (0-4)	9,0	1,9	3,6	1,1

**ANEXO 8 Coeficientes de variación de la medición de materia orgánica de la matriz de cada estrata.**

Uso	Profundidad de estratas (cm)	Coeficiente de variación de contenido de materia orgánica (%)			
		FRESIA	METRENCO	OSORNO	PEMEHUE
Pradera	0-10	0,9	28,0	0,6	1,3
	10-20	5,2	12,4	2,4	3,7
Bosque	0-10	4,3	3,5	1,5	1,3
	10-20	2,5	3,0	1,6	2,2