



**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA DE AGRONOMIA**

**Variación del contenido de materia orgánica de suelos  
volcánicos sometidos a distintos manejos agrícolas**

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

**Jorge Luis Navarro Manríquez**

**VALDIVIA – CHILE**

**2007**

Agradezco a todas las personas que confiaron en mí y en mis capacidades para llevar a buen término esta etapa de mi vida. Agradezco especialmente a mi madre por su apoyo incondicional y confianza sin límites. A manolo, mi viejo, por que siempre que necesite fuerza para continuar con mis objetivos te tuve como ejemplo. A mis hermanos, los cuales cada uno a su manera me hicieron sentir capaz de alcanzar mis metas en la vida. Por último agradezco a Angélica, mi pareja, con quien en las buenas y en las malas he contado.

Para coni..., lo más hermoso de mi vida.

PROFESOR PATROCINANTE:

Dante Pinochet T.

Ing. Agr., M. Sc., Ph. D.

-----

PROFESOR INFORMANTE:

Juan Nissen M.

Ing. Agr., Dr. rer. hort.

-----

PROFESOR INFORMANTE:

Roberto Mac Donald H.

Ing. Agr., Ms Sc.

-----

## INDICE DE MATERIAS

	<b>MATERIA</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>3</b>
2.1	Materia orgánica del suelo	3
2.2	Importancia de la materia orgánica del suelo	5
2.2.1	Efecto sobre las propiedades químicas	6
2.2.2	Efecto sobre las propiedades físicas	6
2.2.3	Efecto sobre las propiedades biológicas	7
2.3	Dinámica de la materia orgánica del suelo	8
2.3.1	Factores del clima y suelo que afectan la descomposición	9
2.3.1.1	Aireación	10
2.3.1.2	Textura	10
2.3.1.3	pH	10
2.3.1.4	Temperatura	10
2.3.1.5	Humedad	11
2.4	Importancia del manejo de residuos	14
2.4.1	El manejo de residuos y el nitrógeno	16
2.5	Ciclo del carbono	18
2.6	Relación carbono – materia orgánica	21
2.7	Características generales de los suelos trumaos	22
2.8	Caracterización de las series utilizadas	24
2.8.1	Serie Osorno	24
2.8.2	Serie Los Lagos	25
<b>3</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODO</b>	<b>26</b>
3.1	Toma de muestras	26
3.2	Preparación de las muestras	26
3.3	Determinación del carbono total del suelo por método de titulación (metodología de Walkley y Black)	29

	<b>MATERIA</b>	<b>PÁGINA</b>
3.4	Determinación del carbono soluble del suelo	30
3.5	Determinación del nitrógeno disponible (nitratos más amonio), con extracción de KCl 2M y determinación por arrastre de vapor de Bremner	30
3.6	Determinación de aluminio intercambiable en KCl 1M	31
3.7	Determinación de aluminio extractable	31
3.8	Diseño de análisis estadístico	32
<b>4</b>	<b>PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>33</b>
4.1	Relación entre los parámetros analizados	33
4.1.1	Evaluación del tipo de suelo a través del Al extractable	33
4.1.2	Relación entre el Al extractable y la materia orgánica	37
4.1.3	Relación del Al extractable con el Al intercambiable de los suelos	38
4.1.4	Relación entre el Al intercambiable y la materia orgánica	40
4.1.5	Relación entre el Al intercambiable y el pH de los suelos	41
4.1.6	Relación entre la materia orgánica y el nitrógeno mineral del suelo	42
4.2	Relación entre las variables medidas a distintas profundidades de muestreo	44
4.2.1	Relación del aluminio extractable a ambas profundidades de muestreo	44
4.2.2	Relación de la materia orgánica a ambas profundidades de muestreo	45
4.2.3	Relación del aluminio intercambiable a ambas profundidades de muestreo	46
4.2.4	Relación del nitrógeno a ambas profundidades de muestreo	46
4.3	Evaluación de parámetros de medición directa	47

	<b>MATERIA</b>	<b>PÁGINA</b>
4.3.1	Efecto del manejo sobre la materia orgánica a través del tiempo	47
4.3.2	Efecto del manejo a través del tiempo sobre el carbono soluble	52
4.3.3	Efecto del manejo a través del tiempo sobre el nitrógeno	54
4.3.4	Efecto del manejo a través del tiempo sobre el aluminio intercambiable	58
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>RESUMEN</b>	<b>64</b>
<b>7</b>	<b>SUMMARY</b>	<b>65</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>66</b>
	<b>ANEXOS</b>	

## INDICE DE CUADROS

	<b>CUADRO</b>	<b>PÁGINA</b>
1	Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades químicas del suelo.	6
2	Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo.	7
3	Clasificación y propiedades de los ácidos húmicos	13
4	Nitrógeno potencialmente mineralizable, según historial de manejo en suelos del sur de Chile, por ajuste no lineal	17
5	Historial de las praderas utilizadas del fundo Osorno	27
6	Historial de los cultivos utilizados del fundo Osorno	28
7	Historial de las praderas utilizadas del fundo Los Lagos	28
8	Historial de los cultivos utilizados del fundo Los Lagos	29
9	Valores promedios de materia orgánica y aluminio extractable en los dos suelos para ambos manejos	36
10	Análisis de suelos Osorno y Los Lagos para materia orgánica entre tratamientos para ambas profundidades de muestreo a través del tiempo.	51
11	Análisis de suelos Osorno y Los Lagos para carbono soluble entre tratamientos para ambas profundidades de muestreo a través del tiempo	54
12	Análisis de suelos Osorno y Los Lagos para nitrógeno entre tratamientos para ambas profundidades de muestreo a través del tiempo	57
13	Análisis de suelos Osorno y Los Lagos para aluminio intercambiable entre tratamientos para ambas profundidades de muestreo a través del tiempo	60

## INDICE DE FIGURAS

	<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
1	Ciclo del carbono	19
2	Valores de aluminio extractable según el manejo para ambos suelos	34
3	Ubicación geográfica de los predios y sectores de muestreo en estos	35
4	Relación entre el Al extractable y la materia orgánica presente en ambos suelos	37
5	Relación entre el Al extractable y el Al intercambiable en ambos suelos	39
6	Relación entre el Al intercambiable y la materia orgánica en ambos suelos	40
7	Relación entre el Al intercambiable y el pH en ambos suelos	41
8	Relación entre el nitrógeno y la materia orgánica en ambos suelos	43
9	Relación del Al extractable a ambas profundidades de muestreo.	44
10	Relación de la materia orgánica a ambas profundidades de muestreo	45
11	Relación del Al intercambiable a ambas profundidades de muestreo	46
12	Relación del nitrógeno a ambas profundidades de muestreo	47
13	Evolución en la materia orgánica para ambos suelos a través del tiempo según tipo de manejo en base a promedios anuales, a profundidades de muestreo de 0 – 10 cm y 10 – 20 cm	49

	<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
14	Evolución en el carbono soluble para ambos suelos a través del tiempo según tipo de manejo en base a promedios anuales, a profundidades de muestreo de 0 – 10 cm y 10 – 20 cm	53
15	Evolución en el nitrógeno para ambos suelos a través del tiempo según tipo de manejo en base a promedios anuales, a profundidades de muestreo de 0 – 10 cm y 10 – 20 cm	55
16	Evolución en el aluminio intercambiable para ambos suelos a través del tiempo según tipo de manejo en base a promedios anuales, a profundidades de muestreo de 0 – 10 cm y 10 – 20 cm	59

## 1 INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo es una propiedad determinante en las funciones físicas, químicas y biológicas del suelo. De esta forma su dinámica es importante en la productividad agrícola del sitio específico, siendo determinante en la calidad de un suelo.

Mantener un nivel adecuado de materia orgánica en el suelo, es un pre-requisito para obtener rendimientos sostenibles en los distintos cultivos a lo largo del tiempo. Sin embargo, ciertas prácticas agrícolas como la utilización de monocultivos sin la incorporación de residuos y el uso de fertilizantes artificiales para compensar el aporte de nutrientes, han producido una fuerte declinación de los niveles de materia orgánica del suelo.

A pesar de este conocimiento, no se ha determinado cuales son las prácticas de manejo agronómico que permitirían reestablecer, mantener o incrementar los niveles de materia orgánica del suelo. Para ello, se ha enfatizado que se debe realizar un aumento en la utilización de materiales orgánicos como desechos animales, residuos vegetales y/o rotaciones dentro de un sitio específico (potrero del predio) y el rol que tienen las praderas en el incremento de la materia orgánica de los suelos.

De esta forma, el objetivo general de este trabajo es evaluar el rol que tienen las praderas en la restauración de la materia orgánica del suelo y como el manejo de cultivos, sin una adecuada incorporación de residuos, disminuye el contenido de materia orgánica del suelo y que ello redunda en una menor calidad del suelo.

Este trabajo se basa en la hipótesis de que el mayor reciclaje a través de ingreso de residuos al sistema pradera cultivo, aumenta el contenido de materia orgánica del suelo y ello produce una mayor fertilidad del suelo.

Como objetivos específicos se plantean:

Evaluar la variación del contenido de materia orgánica del suelo de acuerdo a los años de cultivos y de praderas en sitios de suelos similares y diferentes.

Evaluar los efectos del contenido de materia orgánica acumulada en parámetros de fertilidad del suelo: N mineral y C soluble.

Evaluar la variación de los parámetros de acumulación de materia orgánica y de fertilidad en la profundidad de muestreo (0-10 cm. y 10 a 20 cm).

## 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Materia orgánica del suelo

El suelo está constituido por tres fases que interactúan entre ellas, una fase sólida, una fase líquida y una fase gaseosa. La organización de los componentes sólidos en forma espacial determina la estructura del suelo, que en sí define la interacción entre los sólidos con el espacio poroso destinado al aire y al agua o solución del suelo (HONORATO, 2000).

La mantención de una estructura adecuada de un suelo determina en el largo plazo la sustentabilidad de un agroecosistema. Entre otros factores intrínsecos del sistema suelo, tales como los ciclos de humedecimiento y de secado y la acción de los materiales cementantes del suelo son determinantes de la formación de la estructura. Entre ellos, está el contenido de materia orgánica y en ese sentido, es imperativo mantener la materia orgánica del suelo la cual es factor determinante de la porosidad, y por lo tanto, de la capacidad de infiltración, retención de humedad, resistencia a la erosión hídrica y eólica y es fuente básica de fertilidad química (IZAURRALDE *et al.* 2000, citado por APEZTEGUIA y SERENO, 2002).

Todos los suelos contienen materia orgánica derivada directamente de los residuos de plantas y animales, la cual es sintetizada durante la descomposición biológica de estos (TOSSO, 1985). Un importante paso en la comprensión de la dinámica de la materia orgánica fue reconocer que solo una pequeña parte del total del carbono orgánico y nitrógeno presente en el suelo es biológicamente activo (MATUS, 1994). De esta forma, se ha definido que la materia orgánica del suelo (MOS) tiene dos componentes: uno descomponible y que genera la fertilidad del suelo y uno difícilmente descomponible que influye

en las características coloidales y comportamiento químico de éste (KÖRSCHNES *et al.*, 1998; ZAGAL *et al.*, 2002).

Según Theng *et al.* (1989), citados por MORÓN (1994), la materia orgánica del suelo son todos los compuestos orgánicos, vivos o muertos que se encuentren en él. La materia orgánica viva comprende las raíces, macroorganismos o fauna y los microorganismos. La materia orgánica muerta es clasificada en: a) fracción liviana, compuesta por residuos en descomposición con un tamaño mayor a 250  $\mu\text{m}$  y con una densidad menor a 1,6 – 2,0  $\text{g/cm}^3$ , y b) una fracción pesada producto de agregados órgano-minerales con densidades mayores. De esta forma, la materia orgánica de los suelos es muy heterogénea y su permanencia en el suelo es muy variable, ya que presenta tiempos de reciclaje que van desde horas a siglos (Campbell *et al.* 1967, citado por BORIE *et al.*, 1995).

Por otra parte la MOS se caracteriza por hallarse en continuo proceso de degradación, por lo cual se le considera un componente transitorio del suelo que debe ser repuesto continuamente. Esta materia orgánica raramente sobrepasa el 10% del total del suelo (generalmente oscila entre un 2 a 3%) pero aun así su influencia sobre las propiedades del suelo es de fundamental importancia y obliga a que las técnicas culturales conduzcan a un abastecimiento sistémico de las reservas húmicas (BARREIRA, 1978). Según ROBINSON (1960), las cifras más altas de materia orgánica, excluyendo las turbas, corresponden a suelos de hierba, en climas húmedos y las cifras más bajas se encuentran en climas cálidos con escasez de lluvias. Las variaciones en el contenido de materia orgánica en el perfil del suelo son también muy considerables, apreciándose una disminución de esta desde la superficie hacia la profundidad.

## 2.2 Importancia de la materia orgánica del suelo

El reconocimiento que la adición de materia orgánica mejora la productividad del suelo fue detectada hace milenios por los agricultores, de modo que la práctica de agregar materia orgánica al suelo es muy antigua y fue probablemente el primer criterio de fertilidad de suelos utilizado (DE WIT y GOUDRIAAN, 1974).

De esta forma, BORNEMISZA (1982) señala que la fracción orgánica del suelo tiene un papel importante en aspectos fundamentales tales como regular procesos químicos que allí ocurren, influye sobre las características físicas y es el centro de casi todas las actividades biológicas en el mismo, incluyendo la microflora, la fauna y hasta el sistema de raíces de plantas superiores (BRONSON *et al.*, 2004). Todo lo anterior ha sido enfatizado por BRADY y WEIL (2000), quienes señalan que la materia orgánica afecta directamente a muchas propiedades y procesos que ocurren en los suelos, afectando en forma significativa la acción sobre el medio ambiente.

Un efecto adicional de la MOS en la productividad agrícola es su papel de fuente importante de nutrientes y su cuantificación es esencial para orientar respecto a las prácticas más sostenibles de manejo del suelo (MAYER y XING, 2001). Esto es particularmente dependiente del conocimiento del impacto del manejo agronómico sobre las diferentes fracciones de la MOS (Janzen *et al.*, 1992, citado por ZAGAL *et al.*, 2002). Esto mismo lo señala Satorre (1998), citado por VILCHE *et al.*, (2002), quienes indican que los ciclos agrícolas degradan las características físicas y químicas del suelo, las cuales se recuperan durante el periodo de praderas, en conjunto con un manejo adecuado de residuos.

**2.2.1 Efecto sobre las propiedades químicas.** En el proceso de descomposición de la materia orgánica del suelo se liberan nutrientes a través de las reacciones de intercambio. Además, el CO<sub>2</sub> liberado por los microorganismos y la producción de ciertos ácidos orgánicos aumenta la solubilidad de ciertos minerales, principalmente K, Ca y Mg (ESPINOSA, 1982).

Los procesos químicos en que interviene en forma relevante la materia orgánica se muestran en el Cuadro 1.

**CUADRO 1. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades químicas del suelo.**

- La estabilización de la acidez del suelo por su poder amortiguador.
- La apreciable contribución a la capacidad de intercambio catiónico de los suelos, especialmente en suelos de textura arenosa o en suelos antiguos con arcillas de reducida capacidad de cambio.
- Los fenómenos de adsorción, entre los cuales son de particular importancia la inactivación de plaguicidas y la fijación de fósforo.
- Los ácidos húmicos de la materia orgánica afectan directamente los minerales del suelo y aceleran su descomposición.

FUENTE: BORNEMISZA (1982), BRADY y WEIL (2000), ESPINOSA (1982), ROJAS (2005), VALDÉS (2003).

**2.2.2 Efecto sobre las propiedades físicas.** La acción de la materia orgánica en este aspecto se ve reflejada tanto en características reconocibles a simple vista, así como en otras en que el efecto no es tan claro, pero no por esto menos importante.

Según ESPINOSA (1982), ZAGAL (2002), la descomposición de la materia orgánica contribuye directamente a establecer una mayor y mejor

agregación del suelo, afectando por tanto la estructura de este y a través de ella la infiltración, permeabilidad y por ende el drenaje del suelo. Además de esto la materia orgánica también afecta directamente el desarrollo de raíces y evita la erosión. Estas y otras características que afecta la materia orgánica del suelo se muestran en el Cuadro 2.

**CUADRO 2. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo.**

- La estructura del suelo, respecto a la cual se debe señalar que favorece la formación de agregados individuales, reduce la agregación global del suelo y disminuye la plasticidad del mismo. Además mejora la infiltración del agua, reduce las pérdidas por evaporación y mejora el drenaje en suelos de textura fina.
- Al oscurecer el suelo en climas templados, fomenta su calentamiento y, por ende promueve una mejor germinación y el aprovechamiento más fácil del agua.
- Los coloides orgánicos ayudan a retener el agua en suelos arenosos, aunque su influencia es menos pronunciada en otros.

FUENTE: BORNEMISZA (1982), BRADY y WEIL (2000), ESPINOSA (1982), ROJAS (2005), VALDÉS (2003).

**2.2.3 Efecto sobre las propiedades biológicas.** En cuanto a los factores biológicos, conviene distinguir entre los que tienen efectos benéficos y los perjudiciales para las plantas.

FASSBENDER (1975) señala que la materia orgánica influye sobre la producción de sustancias inhibitoras y activadoras del crecimiento, importantes para la vida microbiana del suelo, así como la participación en procesos

pedogenéticos, debido a sus propiedades de peptización, coagulación, formación de quelatos y otros.

Entre los efectos benéficos se destacan los factores que fomentan el crecimiento, señalando que la materia orgánica es fuente de nutrientes tanto para los organismos superiores como para los inferiores (BRADY y WEIL, 2000). Caviedes y Vergara (1988), citados por UNIVERSIDAD DE CHILE (1991), señalan el efecto de la materia orgánica sobre el equilibrio de la flora microbiana del suelo, lo que se expresaría en una mayor resistencia a enfermedades y plagas del mismo. Esta materia orgánica es también la fuente energética de los organismos por sus compuestos de carbono, aunque dichos organismos del suelo no son capaces de utilizar más que una pequeña cantidad de esta energía por lo cual el resto se mantiene en los residuos o se disipa en forma de calor (BORNEMISZA 1982; ROJAS 2005).

En zonas templadas cubiertas con vegetación natural, lo normal es que los horizontes superiores tengan unos porcentajes de materia orgánica variables entre 2.5 y 10%, cifras inferiores pueden corresponder a condiciones climáticas de gran aridez y en consecuencia poca vegetación. Por el contrario, cifras muy superiores implican generalmente dificultades para los procesos de mineralización por causa de excesiva acidez o de hidromorfía. En zonas cálidas y lluviosas, a pesar de que la vegetación natural presente un marcado desarrollo, es normal que los porcentajes de materia orgánica sean muy bajos debido a la enorme rapidez de mineralización (GANDULLO, 2000).

### **2.3 Dinámica de la materia orgánica del suelo**

Los términos materia orgánica y humus se emplean indistintamente en agricultura; sin embargo, el primero es más amplio e incluye al segundo. El

problema surge por la alta heterogeneidad del objeto en estudio (MORÓN, 1994). Según GANDULLO (2000), se ha definido al humus como un complejo de productos orgánicos de naturaleza coloidal, el cual es originado por un proceso doble de descomposición y síntesis de los residuos orgánicos que se incorporan al suelo.

La materia orgánica del suelo está sometida a la acción catabólica de la flora microbiana quimiorganotrófica, produciendo la descomposición biológica de los residuos orgánicos frescos (mineralización primaria). Existe una fracción de estas sustancias que son resistentes a la mineralización, ya que su estructura química las hace difícilmente atacables por los microorganismos, o bien, porque se producen metabolitos muy reactivos que intervienen en la formación de complejos orgánicos estables. Este proceso de síntesis biológica se conoce como inmovilización biológica (UNIVERSIDAD DE CHILE 1991).

Según ESPINOSA (1982); MORÓN (1994), la rapidez con la cual un sustrato orgánico se oxida depende de su composición y de las condiciones físicas y químicas del ambiente que lo rodea, ya que tiene una estrecha relación con la microflora y microfauna del suelo

**2.3.1 Factores de clima y suelo que afectan la descomposición.** Se sabe que el clima influye directamente en la tasa de descomposición de la materia orgánica presente en los suelos, la cual en conjunto con algunas características edáficas del sector aceleran o retrasan dicha tasa. Dentro de los muchos factores que afectan la descomposición de la materia orgánica, los de mayor incidencia son la aireación, textura, pH, temperatura y humedad del suelo. Todos estos factores en conjunto, actúan sobre la actividad biológica (GARRIDO, 2005).

**2.3.1.1 Aireación.** La mineralización de la materia orgánica es a través de la oxidación biológica, por lo cual en suelos anegados se produce un desequilibrio en la actividad, lo que provoca una acumulación de la materia orgánica sin descomponer. Se considera que un suministro de oxígeno menor o igual al 10% dentro de la atmósfera del suelo es limitante para dicha actividad (ESPINOSA, 1982).

**2.3.1.2 Textura.** Según HASSINK (1997), hay una relación entre la textura y el carbono orgánico asociado a la fracción de arcilla y limo del suelo. Esta relación entre el contenido de carbono orgánico que es adsorbido por la fracción mineral del suelo y la textura que este presente, se aprecia al encontrar niveles de saturación para arcilla y limo ligados al carbono. Se debe señalar que esta relación es diferente según el tipo de manejo al que estuvo sometido el suelo, ya que los aportes de materia orgánica y la disturbancia del suelo causarían a la vez una liberación de esta materia orgánica y un aumento de carbono disponible para su descomposición, siendo mayores en suelos bajo cultivo en relación a suelos bajo praderas (SIX *et al.*, 2002).

**2.3.1.3 pH.** En suelos de condiciones de pH neutro o cercano a esta condición la descomposición de la materia orgánica se ve favorecida. Se ha observado que la agregación de carbono vegetal a suelos de condiciones ácidas la descomposición es muy lenta, teniéndose información que al cabo de 5 años aun es posible encontrar hasta 1/5 del material agregado (ESPINOSA, 1982).

**2.3.1.4 Temperatura.** Si se considera que la actividad biológica por la ley de Arrhenius, la cual dice que “la actividad biológica aumenta 2 a 3 veces por cada 10 °C de aumento de temperatura si el resto de las condiciones permanece constante, siempre que no comprometan la destrucción de los microorganismos”, esta ley se expresa como  $Q_{10}$  (ESPINOSA, 1982). La mayor

intensidad de los procesos de síntesis ocurre a temperaturas entre 30 °C y 40 °C, lo que origina una importante estabilización de la materia orgánica del suelo (ESPINOSA, 1982).

A bajas temperaturas, también ocurre una rápida disminución de la producción de CO<sub>2</sub>. Varios autores confirman esto, afirmando que esta actividad se ve fuertemente restringida a temperaturas inferiores a 10°C, lo cual se podría deber a que existen muy pocos organismos psicrófilos que actúan a estas temperaturas (ESPINOSA, 1982).

**2.3.1.5 Humedad.** Se sabe que el contenido óptimo de humedad para la descomposición de la materia orgánica corresponde aproximadamente al 80% de la capacidad de retención de humedad del suelo. La producción de CO<sub>2</sub> aumenta a medida que el contenido de humedad del suelo es mayor, dentro de límites. Según los estudios realizados por Steubing (1977), citado por ESPINOSA (1982), nos indicaría que para una pradera existe una tasa de evolución de CO<sub>2</sub> desde 1,02 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> en verano, a 13,38 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> a principio de otoño, correlacionado con un aumento de la precipitación. Las mayores tasas de descomposición ocurren a tensiones de humedad del suelo entre 0,05 y 0,15 bares. A tensiones mayores de 3 bares se observa una disminución en la respiración del suelo cerca de 1,1 a 1,5 veces respecto al máximo, a tensiones mayores de 50 bares la actividad respiratoria disminuye bruscamente en 12 a 13,5 veces respecto al máximo.

Bajo condiciones de anegamiento o saturación, las tasas de evolución de CO<sub>2</sub> se reducen, probablemente por reducción de la descomposición aeróbica y por disminución de la difusión del CO<sub>2</sub> (ESPINOSA, 1982).

La periodicidad de la temperatura y humedad se manifiestan a diferentes escalas de tiempo: anuales, estacionales, mensuales, semanales, diarias, horarias, etc. Estos ciclos de temperatura y humedad no coinciden necesariamente, y por lo tanto, se darán condiciones diversas. Por ejemplo, un aumento de la humedad y de la temperatura estimulará el desarrollo de los microorganismos; sucederá lo contrario si ambas bajan. Si aumenta la temperatura y baja la humedad, o lo contrario, ocurrirán situaciones intermedias (IBAÑEZ y VIAL, 1971).

Por otra parte, Rosell (1990), citado por UNIVERSIDAD DE CHILE (1991), señala que la acumulación de los residuos orgánicos biológicamente estables forman el humus, que es sinónimo de “reservorio” de sustancias orgánicas. Este producto es de naturaleza coloidal, amorfa, de color oscuro, hidrofílico, ácido y se encuentra íntimamente asociado a la materia mineral fina del suelo. Representa aproximadamente el 85% de la materia orgánica total del suelo, mientras que la biomasa edáfica responsable de las transformaciones biológicas y bioquímicas de los residuos orgánicos alcanzan sólo un 5%. Se puede dividir conceptualmente, de manera simple, en dos compartimentos (pooles): el primero correspondería a lo que se denomina MOS lábil, que se encuentra formado por restos animales, plantas y microorganismos, transformados de manera incompleta que son la primera fuente de humus y que no forman parte integral del suelo (Borie *et al.*, 1995; Labrador, 1996; citados por ZAGAL *et al.*, 2002). Estos constituyentes más simples serían algunos como: monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos, que son fuente primaria de nutrición para los microorganismos que habitan en el suelo, ya que son fácilmente degradados por ellos y también son utilizados por la flora superior que el suelo sustenta, por esta razón, su contenido en los suelos es bajo y puede ser una medida de la actividad biológica del mismo (BORIE *et al.*, 1995).

La clasificación morfológica propuesta por Kubiena se basa en los aspectos macro y micromorfológicos de la materia orgánica en la naturaleza. Bajo las condiciones ecológicas específicas de un suelo se desarrolla un tipo determinado de vegetación y asimismo los restos que se depositan en el suelo tienen una composición específica y por acción de los microorganismos desarrollados en ese medio finalmente se producen determinados tipos de humus (FASSBENDER, 1975). Los restos vegetales y animales son polímeros de compuestos orgánicos que durante el proceso de su transformación son primeramente degradados y depolimerizados hasta sus constituyentes básicos. Como en este proceso se produce la formación de componentes inorgánicos se le denomina con el nombre de mineralización. Los productos orgánicos no alterados constituyen la fracción de materia orgánica, la cual a través de un proceso de humificación genera nuevos componentes.

El segundo grupo se denomina MOS estable que está formado por sustancias húmicas y productos en descomposición que forman parte integral del suelo (Borie et al. 1995; Labrador, 1996; citados por ZAGAL *et al.*, 2002).

Según FASSBENDER (1975), los ácidos húmicos se clasifican basando su solubilidad en diferentes solventes lo que origina tres grupos: ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas, los que se observan en el Cuadro 3.

**CUADRO 3. Clasificación y propiedades de los ácidos húmicos.**

Parámetros		Color	Solubilidad en			
			Bromuro de Acetilo	Agua	Alcohol	Soda
<b>Ác. Fúlvicos</b>		Amarillo	Soluble	Soluble	Soluble	Soluble
<b>Ác. Húmico</b>	<b>Ac. Himato melánico</b>	Marrón	Soluble	Insoluble	Soluble	Soluble
	<b>Ác. Húmico pardo</b>	Marrón oscuro	Insoluble	Insoluble	Insoluble	Soluble
	<b>Ác. Húmico gris</b>	Gris	Insoluble	Insoluble	Insoluble	Soluble
<b>Humina</b>		Negro	Insoluble	Insoluble	Insoluble	Insoluble

FUENTE: FASSBENDER (1975).

Tradicionalmente se ha utilizado en el estudio de la materia orgánica del suelo el fraccionamiento químico en ácidos fúlvicos, húmicos y huminas anteriormente señalado, pero este fraccionamiento ha sido criticado por no tener sus fracciones un claro significado biológico (Stevenson y Elliot, 1989., citados por MORÓN, 1994).

## 2.4 Importancia del manejo de residuos

El manejo de residuos determina el ingreso de C al subsistema suelo. Mientras más residuos ingresan al sistema mayor es el ingreso de C y activación de la vida microbial del suelo. De esta forma las cantidades de materia orgánica de los suelos son dependientes de la cantidad de residuos ingresados (BRADY y WEIL, 2000). Es así como el pool de carbono orgánico

del suelo representa un equilibrio dinámico entre las ganancias y las pérdidas, por esto las conversiones de un ecosistema natural a uno agrícola provocan pérdidas de este carbono, las cuales serán aun mayores si exceden a los aportes. Esto nos estaría señalando que almacenar carbono atmosférico, incrementando el reservorio de carbono orgánico e inorgánico mediante un uso apropiado del suelo y aplicando prácticas de manejo agrícola recomendadas (Lal, 2004., citado por GARRIDO, 2005).

Así se ha determinado que los suelos bajo pradera son más ricos en materia orgánica que los suelos de cultivo. Ello se debe a que bajo praderas se produce una mayor contribución de residuos provenientes de la vegetación y de los excrementos de los animales de pastoreo. Además el hecho de no establecer cultivos extractantes en el suelo produce una protección de la materia orgánica en la agregación de los sólidos del suelo causante de la estructuración. Una situación inversa ocurre bajo condiciones de cultivos. Además de una mayor exportación de la materia orgánica producida en los productos cosechados, en general, se produce un menor reciclaje de residuos ya que estos, en algunos ecosistemas son quemados o dados como consumo animal, en otros potreros diferentes desde donde fueron cosechados. Otro factor que influye es la intensa aireación producida por las operaciones de labranza que favorecen la descomposición oxidante por los organismos aeróbicos (ROBINSON, 1960).

Los efectos más notables se observan en los horizontes superiores del suelo, que son los que reciben constantemente aportes de materiales orgánicos, sobre todo de origen vegetal (BARREIRA, 1978). Lo anterior es apoyado por BRADY y WEIL (2000), quienes nos dicen que bajo condiciones naturales, la materia orgánica producida por la vegetación es devuelta al suelo,

no así en áreas bajo cultivos, donde el material vegetal es removido por acción del hombre o los animales.

Según FASSBENDER (1987), bajo un sistema de explotación rotativa se tiene una utilización corta e intensiva del suelo, seguida de una larga etapa de regeneración de su fertilidad. Esta fertilidad se va perdiendo en el tiempo, es así como después de una explotación intensiva del suelo entre 2 y 5 años se alcanza un grado tal de agotamiento de la fertilidad de los suelos que hace que sea muy difícil de recuperar.

Según estudios realizados por ZAGAL *et al.* (2002), los contenidos de carbono, en especial la parte correspondiente a la fracción liviana, presentaba una disminución a medida que la intensidad de uso era mayor a través del tiempo, especialmente cuando no existía una incorporación de la materia orgánica que es producida. A continuación se nombrarán algunos de los manejos más comunes a realizar para mantener niveles adecuados de materia orgánica en el suelo según BRADY y WEIL (2000).

- Se debe mantener un suministro continuo de materiales orgánicos al suelo con la finalidad de conservar un nivel apropiado de materia orgánica en éste. Dicho suministro debe provenir principalmente de residuos vegetales, estiércoles, compost, y otros desechos orgánicos que sean aprovechables por el suelo.

- El máximo crecimiento de las plantas aumentará la cantidad de materia orgánica que se puede agregar al suelo desde los residuos de los cultivos. El crecimiento de estas plantas provee bajo y sobre el suelo residuos que son la principal fuente de materia orgánica para éste.

- La labranza acelera las pérdidas de materia orgánica por aumento de la oxidación de ésta y por erosión, por lo cual se debería limitar esta práctica al control de malezas y a la mantención de una adecuada aireación. Esto se podría lograr con prácticas conservacionistas.

- La vegetación perenne como praderas y especialmente sistemas naturales se deben fomentar cada vez que esto sea posible, ya que este tipo de sistemas ayuda a mantener y estabilizar niveles de materia orgánica dentro del suelo.

**2.4.1 El manejo de residuos y el nitrógeno.** Todos los agroecosistemas presentan ciertos niveles de nitrógeno que están directamente relacionados con los historiales de manejo bajo el cual estuvieron sometidos. Es por esto que en lugares como la zona sur de nuestro país, donde existe una gran cantidad de biomasa vegetal depositada y que se recicla año tras año, durante cientos de años existiría una gran acumulación de materia orgánica y N orgánico, sumado además al tipo de arcilla dominante, el alofán y las condiciones climáticas que favorecen dicha acumulación.

Los residuos frescos que se agregan al suelo tales como tallos, hojas y raíces, producto del historial de manejo y la incorporación de residuos recientes, además de en menor medida el N estabilizado desprotegido por el laboreo, entregan el suministro de N de acuerdo a la dinámica seguida por este elemento en el suelo, el cual estará dado por la fracción activa del N (Rodríguez y Silva, 1984; Rodríguez y Sierra, 1987; citados por MENDOZA, 1999).

El historial de manejo en relación al ingreso en cantidad y calidad de residuos es lo que determina los contenidos de nitrógeno potencialmente

mineralizable y no en si el contenido total de materia orgánica o nitrógeno total del suelo. Es por esto que un ingreso de residuos por un período prolongado de praderas determina una mayor mineralización de nitrógeno que aquellos sistemas bajo cultivos, determinándose que las praderas aportan 2 a 3 veces más N que los residuos de cultivos. Lo anterior se presenta en el Cuadro 4.

**CUADRO 4. Nitrógeno potencialmente mineralizable, según historial de manejo en suelos del sur de Chile, por ajuste no lineal.**

<i>Suelo</i>	<i>Manejo</i>		<i>Npm (N mg/kg)</i>
	<i>Tipo</i>	<i>años</i>	
N. Brauneu  (Andisol)	Cultivo	1	453
		2	363
		3	298
		4	258
		7	160
		10	186
	Pradera	5	338
		6	313
		8	510
		10	540
		20	415
Corte Alto  (Andisol)	Cultivo	2	369
		4	368
		5	379
	Pradera	5	374
		10	386

<i>Suelo</i>	<i>Manejo</i>		<i>Npm (N mg/kg)</i>
	<i>Tipo</i>	<i>años</i>	
Osorno (Andisol)	Pradera	8	319
		8	414
		8	462
Cudico (Ustisol)	Cultivo	3	272
		6	192
	Pradera	3	295
		5	285
		7	317
10	368		

FUENTE: MENDOZA (1999).

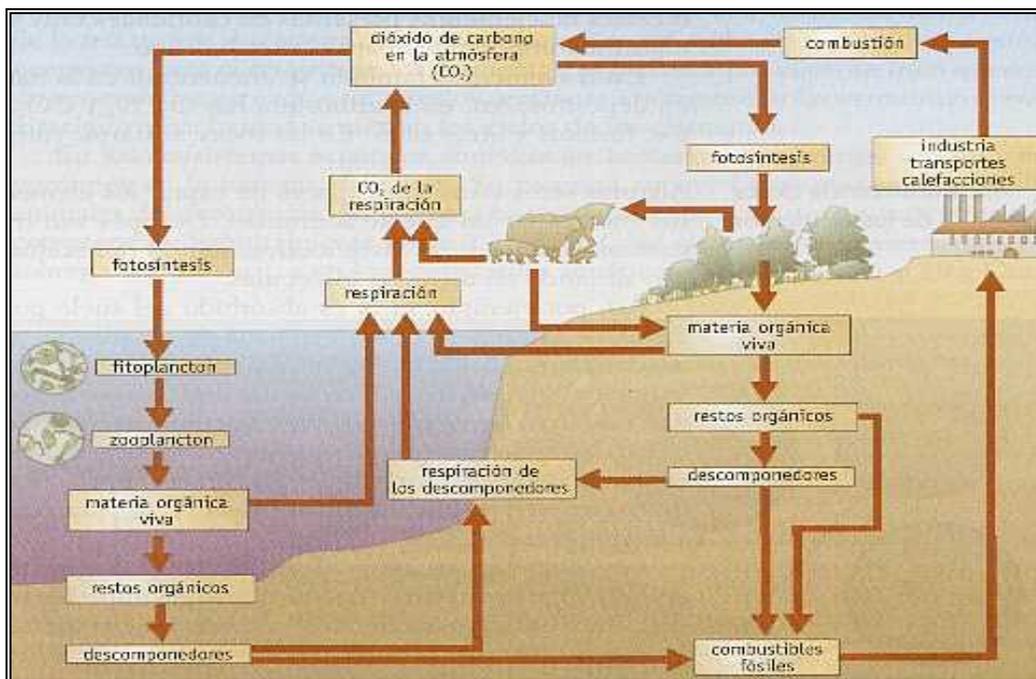
Se aprecia que los sistemas con una mayor extracción (cultivos), existe una menor disponibilidad de materia orgánica fresca que aporte al suministro de N mineral del suelo. Por otra parte, el laboreo del suelo en un mismo sitio disminuiría el efecto de protección sobre la materia orgánica disminuyendo el aporte de N mineral desde el “pool” de N estabilizado, siendo el N potencialmente mineralizable compuesto básicamente por el ingreso de residuos de la temporada ( MENDOZA, 1999).

## 2.5 Ciclo del carbono

El carbono es elemento básico en la formación de las moléculas de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, pues todas las moléculas orgánicas están formadas por cadenas de carbonos enlazados entre sí. El ciclo del carbono es fundamental, porque de él depende la producción de materia orgánica, que es el alimento básico de todos los seres vivos (BRADY y WEIL, 2000).

La reserva fundamental de carbono se encuentra como  $\text{CO}_2$ , el cual puede ser asimilado por las plantas. Este gas está en la atmósfera en una concentración de más del 0,03% y cada año aproximadamente un 5% de estas reservas de  $\text{CO}_2$ , se consumen en los procesos de fotosíntesis, es decir que todo el anhídrido carbónico se renueva en la atmósfera cada 20 años (CIENCIAS DE LA TIERRA Y MEDIO AMBIENTE, 2001).

La vuelta de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera se hace cuando en la respiración los seres vivos oxidan los alimentos produciendo  $\text{CO}_2$ . En el conjunto de la biosfera la mayor parte de la respiración la hacen las raíces de las plantas y los organismos del suelo y no, como podría parecer, los animales más visibles. Los seres vivos acuáticos toman el  $\text{CO}_2$  del agua. La solubilidad de este gas en el agua es muy superior a la de otros gases, como el  $\text{O}_2$  o el  $\text{N}_2$ , porque reacciona con el agua formando ácido carbónico (BRACK y MENDIOLA, 2003).



**Figura 1.** Ciclo del carbono (Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente, 2001).

El carbono está almacenado en el aire, en el agua y en el suelo en forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Este  $\text{CO}_2$  está disponible en cantidades abundantes en el medio ya que a través del proceso de la respiración aeróbica, se utiliza la glucosa como combustible y es degradada, liberándose el carbono en forma de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera. Por tanto en cada nivel trófico de la cadena alimentaría, el carbono regresa a la atmósfera o al agua como resultado de la respiración (BRACK y MENDIOLA, 2003., LENNTECH, 2002).

Las plantas toman el carbono del  $\text{CO}_2$  del aire y con la energía de la luz del sol producen alimentos (glucosa, sacarosa, almidón, celulosa, etc.), y liberan oxígeno ( $\text{O}_2$ ). En el ciclo del carbono las plantas juegan el rol más importante y una gran parte de la masa de las plantas está conformada por compuestos de carbono como lo son azúcares, almidones, celulosa, lignina y otros compuestos diversos (MORON, 1994).

Los animales herbívoros se alimentan de estas plantas y usan los compuestos orgánicos para vivir y formar su propia materia. Los carbohidratos (azúcares, almidón, celulosa, lignina, etc.) son descompuestos por los herbívoros por procesos químicos en las células y forman el combustible de su cuerpo. Este proceso se inicia con la respiración, o sea la toma de oxígeno del aire o del agua. Con el oxígeno se descomponen los azúcares y se emite  $\text{CO}_2$  al aire o al agua, con producción de diversas formas de energía, especialmente calor. De esta forma el carbono pasa a formar parte de ellos en forma de proteínas, grasas e hidratos de carbono (LENNTECH, 2002). Los animales carnívoros toman la materia de otros animales por la alimentación. Absorben los componentes de los animales por el proceso digestivo y los descomponen en las células con ayuda del oxígeno que respiran (del aire o del agua) y emiten  $\text{CO}_2$  al aire o al agua (BRACK y MANDIOLA, 2003., BRADY y WEIL, 2000).

La descomposición de las plantas y de los animales al morir restituye el carbono al medio en forma de  $\text{CO}_2$  y materia orgánica, que son aprovechados por otras plantas para reiniciar el ciclo. Los organismos vivos que se encargan de esta descomposición son esencialmente bacterias y hongos. También desprenden  $\text{CO}_2$  los desechos del metabolismo de las plantas y animales, así como los restos de organismos muertos que se descomponen por la acción de ciertos hongos y bacterias (LENNTECH, 2002).

## **2.6 Relación carbono - materia orgánica**

El carbono aparece en los suelos como elemento constitutivo de sustancias orgánicas e inorgánicas. Donde el perfil está sujeto al lavado predominan las formas orgánicas, mientras que bajo condiciones áridas el contenido mayor puede corresponder al carbono inorgánico de los carbonatos (BARREIRA, 1978).

La determinación de la materia orgánica total esta basada en la determinación de C en general por dos diferentes procedimientos; combustión seca del C en la cual se determina el  $\text{CO}_2$  desprendido y por otra parte la combustión húmeda del C basada en la reducción del  $\text{Cr}_2\text{O}_7^-$  y determinación del dicromato no reducido por titulación (FASSBENDER, 1987). Los valores en C total encontrados incluyen los restos vegetales y animales recientemente depositados, la fracción húmica en su proceso de mineralización, la fracción húmica en su proceso de humificación y las formas inertes del C elemental.

Entre los constituyentes de la MOS hay un subgrupo muy importante que son los hidratos de carbono (HC), los que están constituidos por moléculas relativamente pequeñas, que se encuentran libres o asociadas a estructuras moleculares mayores. Ellos, por ser las estructuras menos complejas de la MOS, presentan un reciclaje bastante rápido (BORIE et al, 1995). Los HC de los suelos constituyen alrededor de 5 a 25% de la MOS, y en su mayoría provienen de la descomposición de residuos orgánicos tanto animales como vegetales (Stevenson 1982, citado por BORIE *et al.*, 1995).

Según BUCKMAN y BRADY (1966), BRADY y WEIL (2000), el carbono es el constituyente común en toda materia orgánica. Como consecuencia, sus movimientos durante la digestión microbiana de los tejidos son extraordinariamente significativos. Mucha de la energía adquirida por la fauna y flora en el suelo viene de la oxidación del carbono. Como resultado, su anhídrido es desalojado continuamente y en grandes cantidades, y cuando está en contacto con el agua, se transforma en ácido carbónico. A pesar de ser el ácido carbónico un ácido muy débil, desprende bastante cantidad de H activo influyendo en las reacciones de muchas soluciones del suelo. Su acción disolvente sobre la caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) es importante al remover este mineral de los suelos de las regiones húmedas.

La fracción soluble del C está representada por azúcares monosacáridos, y algunos polisacáridos como el almidón y pectinas, las proteínas como aminoácidos y péptidos, además de celulosa en forma de fibrilla (BUCKMAN y BRADY, 1966).

Según FASSBENDER (1987) y BARREIRA (1978) los valores de C se expresan en porcentajes y por lo tanto la materia orgánica también, ya que se multiplica el % C por el factor convencional de Van Vammelen que corresponde

a 1,724 (algunos autores prefieren utilizar un factor de 1,8). El uso de este factor se ha generalizado en la consideración de que la materia orgánica del suelo contiene un promedio de 58% de C.

## **2.7 Características generales de los suelos trumaos**

Todos los suelos volcánicos desarrollados en la zona central y centro-sur de Chile, esto es, Ñadis, suelos Pardo Arcillosos, Trumaos, Rojo Arcillosos, suelos derivados de Arenas Volcánicas y suelos Pumicíticos, provienen de materiales piroclásticos que incluyen cenizas, arenas, pómez o formas transportadas de estos materiales (HONORATO, 2000), quién además dice que tanto los suelos Trumaos así como los Rojo arcillosos presentan un origen similar, teniendo una génesis relacionada con la actividad volcánica presente en la formación de los suelos de nuestro país en la Zona Centro Sur y Sur. En la formación de estos suelos los materiales a menudo han sido retransportados ya sea por agua, hielo o viento.

Los suelos Trumaos en conjunto, tienden a ser francos, friables, usualmente con estratificaciones deposicionales claramente distinguibles o con diferencias de color nítidas entre el suelo y el subsuelo (HONORATO, 2000). Se desarrollan bajo un régimen de temperatura méxico o térmico y un régimen de humedad ústico, údico o perhúdico.

Estos suelos, también conocidos como Andisoles, ocupan los sectores correspondientes a la precordillera siendo estos los Trumaos de lomajes y cerros, aunque existen aquellos que han sido transportados aluvialmente, conocidos como Trumaos planos. Son generalmente profundos, de colores

superficiales oscuros, de elevadas cantidades de materia orgánica, alta capacidad de retención de agua, porosos, livianos, buena capacidad de soporte y una elevada capacidad de fijación de fósforo. Los minerales arcillosos dominantes son el alofán y la imogolita (HONORATO, 2000).

Presentan una reacción fuertemente ácida a ligeramente ácida, poseen una alta capacidad tampón de pH y las necesidades de cal son generalmente altas; los niveles de materia orgánica total y oxidable son muy altos y disminuyen bruscamente en profundidad. Los contenidos de Al intercambiable y extractable son altos en superficie y aumentan considerablemente en profundidad (VIDAL, 2003).

El suelo en general es muy poroso, con densidades aparentes bajas que varían desde 0.6 – 0.9 g/cm<sup>3</sup>. La actividad biológica es óptima. Presentan un CIC alto el cual se encuentra dentro del rango de 47.0 a 77.5 meq/100 g en el horizonte superficial, pero tiende a disminuir en profundidad, en forma similar a la materia orgánica. La saturación básica disminuye hacia el sur, debido a que estos suelos se encuentran bajo precipitaciones más intensas, favoreciendo la acumulación de materia orgánica y la acidez del suelo. Presenta un mayor contenido de arcillas con gran área específica, debido al alto contenido alofánico, lo que determina una escasa disponibilidad de P y una descomposición más lenta de materiales orgánicos incorporados (Shoji et al., 1993., citados por ZAGAL *et al.*, 2002).

## **2.8 Caracterización de las series utilizadas**

Si bien los suelos que serán utilizados corresponden al tipo Trumao, dentro de estos existen variaciones, las cuales determinan las características

propias de cada serie de suelo. A continuación se presentan las 2 series de suelo utilizadas en este estudio.

**2.8.1 Serie Osorno.** Es un suelo que se presenta una altura promedio que oscila entre los 90 y los 150 m.s.n.m., correspondiente a depósitos de cenizas volcánicas de diferentes espesores, con topografía compleja y variación de profundidades. El arraigamiento es bueno hasta los 55 cm., debido principalmente a que las características físicas son excelentes (densidad aparente promedio  $0.77 \text{ g/cm}^3$ , densidad real  $2.19 \text{ g/cm}^3$ , una porosidad total de 65 %, altos niveles de materia orgánica en todo el perfil de suelo), todo lo cual nos señala que esta serie de suelo es óptima para realizar labores agrícolas. Presenta formación de *Nothofagus obliqua* y *Laurelia sempervirens*, presencia de bosque mixto, abierto con árboles de gran tamaño (IREN-CORFO-UACH, 1978; TOSSO, 1985)

Familia : Osorno.  
Serie : Osorno.  
Ubicación : A 10 km al norte de la ciudad de Osorno por Carretera Panamericana. Fundo Remehue.  
Fisiografía : Depresión Intermedia. Planos fluvio-glaciales. Altura 90 – 150 m.s.n.m.  
Topografía : Ondulada con pendientes complejas de 2 a 5 %.  
Drenaje : Bueno.  
Pluviometría : 1200 – 1500 mm anual.  
Material parental : Cenizas volcánicas modernas.

**2.8.2 Serie Los Lagos.** Se ubica dentro de la depresión intermedia en posición de lomajes con pendientes complejas de 4% a 15%. Descansa sobre un substrato constituido por gravas y/o arenas fluvio-glaciales. Es un suelo

formado a partir de cenizas volcánicas modernas, profundo a muy profundo. La vegetación natural corresponde a la formación de *Nothofagus obliqua* y *Laurelia sempervirens*. Presenta una textura franca en todo el perfil.

Familia : Puerto Octay.

Serie : Los Lagos.

Ubicación : Comunas de Paillaco, Futrono, Panguipulli, La Unión, Los Lagos y Río Bueno.

Fisiografía : Depresión Intermedia. Altura 300 m.s.n.m.

Topografía : Moderadamente ondulada con pendientes de 4 a 15 %.

Drenaje : Bueno.

Pluviometría : 1500 – 2000 mm anual.

Material parental : Cenizas volcánicas modernas.

### 3 MATERIAL Y MÉTODO

Los materiales y métodos utilizados para la determinación de los diversos parámetros medidos se señalan y explican a continuación.

**3.1 Toma de muestras.** Las muestras fueron colectadas desde dos predios ubicados en suelos Andisoles (Trumaos) de la Región de los Lagos. Las muestras se tomaron a dos profundidades (0-10 cm y 10-20 cm). En cada predio se seleccionarán sitios sometidos a dos historiales de manejo distinto en relación con el ingreso de residuos (praderas y cultivos).

Los sitios de muestreo se seleccionaron en base a su historial de manejo y variaron desde 10 años de pradera hasta 6 años de cultivos continuos, para determinar la relación existente entre historial de manejo de residuos y la materia orgánica presente en el suelo. Las muestras se formaron de 10 sub-muestras desde sectores representativos de cada potrero. Así mismo, estas muestras colectadas tuvieron tres repeticiones por cada profundidad.

**3.2 Preparación de las muestras.** Las muestras fueron preparadas para su análisis, secándolas en la sala de secado del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Universidad Austral de Chile a una temperatura promedio cercana a los 30 °C por una semana. Posterior a este proceso se realizará un tamizado a un diámetro de 2 mm, luego se almacenaron en bolsas de plástico para el posterior análisis de cada uno de los factores a estudiar. Los potreros utilizados para la toma de muestras presentaron los siguientes historiales de manejo observados en los Cuadros 5, 6, 7 y 8.

**CUADRO 5. Historial de las praderas utilizadas del Fundo Osorno.**

<b>Fundo Osorno</b>		
<b>Potrerros sometidos a Pradera</b>		
<b>Identificación de muestra</b>	<b>Años bajo sistema</b>	<b>Historial de manejo <sup>1</sup></b>
<b>FO P1</b>	<b>1</b>	Pradera establecida hace 1 año, fertilizada con 100 kg de Supernitro y 320 kg de SPT en Marzo, además de una aplicación de 150 kg de Urea en Agosto.
<b>FO P2</b>	<b>2</b>	Pradera sembrada hace 2 años, con aplicaciones anuales de 100 kg de nitrógeno como Supernitro y 320 kg de SPT en Febrero, además de una aplicación posterior de nitrógeno como Urea (150 kg) en Agosto.
<b>FO P3</b>	<b>3</b>	Siembra realizada el 2002, posterior a un cultivo de cebada, recibe fertilizaciones anuales con Supernitro 27 (100 kg) y SPT (320 kg) en Marzo y 300 kg de yeso en Noviembre.
<b>FO P4</b>	<b>4</b>	Pradera con 4 años de antigüedad, la cual fue regenerada el 2003. La fertilización anual es con 100 kg de Supernitro y 320 kg de SPT en Marzo, además de una aplicación de 150 kg de Urea en Agosto.
<b>FO P5</b>	<b>5</b>	Pradera sembrada el 2000, después de un cultivo de avena-lupino, y regenerada el 2002, con fertilizaciones anuales consistentes en 100 kg de Supernitro y 320 kg de SPT en Marzo, además de 150 kg de Urea en Agosto.
<b>FO P6</b>	<b>6</b>	Pradera establecida hace 6 años, regenerada el 2001 y 2002. Fertilizaciones de SPT (320 kg), Supernitro (100 kg), y en el año 2001 mezcla SQM 3225 (700 kg).
<b>FO P7</b>	<b>7</b>	Pradera establecida hace 7 años, regenerada los años 2000 y 2002. Fertilizado con Urea (100 kg), Supernitro (100kg) y SPT (350 kg), en distintos años.
<b>FO P8</b>	<b>8</b>	Pradera establecida hace 8 años y regenerada los años 2000 y 2001. Fertilizada con mezcla SQM 3225 y Supernitro.
<b>FO P9</b>	<b>9</b>	Pradera establecida hace 9 años, sobre residuos de maíz, regenerado 1998, 2000, 2001. Fertilizaciones anuales con Supernitro, parcializado en 2 dosis de 100 y 150 kg.
<b>FO P10</b>	<b>10</b>	Pradera establecida hace 10 años, con regeneración los años 1998, 2000, 2001 y 2002. Fertilizaciones similares a los potrerros anteriores, además de hydrosulfan en los años de regeneración (300 kg).

<sup>1</sup> Muestras tomadas en Septiembre de 2005.

**CUADRO 6. Historial de los cultivos utilizados del Fundo Osorno.**

<b>Fundo Osorno</b>		
<b>Potreros sometidos a cultivos</b>		
<b>Identificación de muestra</b>	<b>Años bajo sistema</b>	<b>Historial de manejo <sup>2</sup></b>
<b>FO C1</b>	<b>1</b>	Primer año trigo después de pradera.
<b>FO C2</b>	<b>2</b>	Segundo año de trigo sobre trigo.
<b>FO C3</b>	<b>3</b>	Primer año de nabo después de 2 años de trigo consecutivo.
<b>FO C4</b>	<b>4</b>	Primer año de trigo después de 1 año de avena y 2 de trigo.
<b>FO C5</b>	<b>5</b>	Primer año de avena sobre nabo, con 3 años anteriores de trigo.
<b>FO C6</b>	<b>6</b>	Primer año de cebada, después de 5 años de trigo.

**CUADRO 7. Historial de las praderas utilizadas del Fundo Los Lagos.**

<b>Fundo Los Lagos</b>		
<b>Potreros sometidos a pradera</b>		
<b>Identificación de muestra</b>	<b>Años bajo sistema</b>	<b>Historial de manejo <sup>3</sup></b>
<b>FLL P1</b>	<b>1</b>	Pradera establecida por primera vez, fertilizada con 200 unidades de N-Urea (100 Otoño y 100 Primavera), 60 unidades de K-Muriato y 112 unidades de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .
<b>FLL P2</b>	<b>2</b>	Segundo año de pradera, fertilización similar.
<b>FLL P3</b>	<b>3</b>	Tercer año de pradera, fertilización similar.
<b>FLL P4</b>	<b>4</b>	Cuarto año de pradera, fertilización similar.
<b>FLL P5</b>	<b>5</b>	Quinto año de pradera, fertilización similar.
<b>FLL P6</b>	<b>6</b>	Sexto año de pradera, fertilización similar.
<b>FLL P7</b>	<b>7</b>	Séptimo año de pradera, fertilización similar.
<b>FLL P8</b>	<b>8</b>	Octavo año de pradera, fertilización similar.
<b>FLL P9</b>	<b>9</b>	Noveno año de pradera, fertilización similar.

<sup>2</sup> Muestras tomadas en Octubre de 2005.

<sup>3</sup> Muestras tomadas en Julio de 2005.

**CUADRO 8. Historial de los cultivos utilizados del Fundo Los Lagos.**

<b>Fundo Los Lagos</b>		
<b>Potreros sometidos a cultivos</b>		
<b>Identificación de muestra</b>	<b>Años bajo sistema</b>	<b>Historial de manejo <sup>4</sup></b>
<b>FLL C1</b>	<b>1</b>	Primer año con trigo, fertilizado con 240 unidades de P, 150 unidades de K – Muriato y nitrógeno parcializado en 200 unidades como Urea y 20 unidades como Nitromag.
<b>FLL C2</b>	<b>2</b>	Segundo año con trigo, fertilizado con 240 unidades de P, 150 unidades de K – Muriato y nitrógeno parcializado en 200 unidades como Urea y 20 unidades como Nitromag.
<b>FLL C3</b>	<b>3</b>	Tercer año de Trigo sobre trigo, fertilizado con 240 unidades de P, 150 unidades de K – Muriato y nitrógeno parcializado en 200 unidades como Urea y 20 unidades como Nitromag.
<b>FLL C4</b>	<b>4</b>	Cuarto año de Trigo fertilizado con 240 unidades de P, 150 unidades de K – Muriato y nitrógeno parcializado en 200 unidades como Urea y 20 unidades como Nitromag.
<b>FLL C5</b>	<b>5</b>	Primer año de Avena después de 4 años de trigo, fertilizado con 240 unidades de P, 150 unidades de K – Muriato y nitrógeno parcializado en 200 unidades como Urea y 20 unidades como Nitromag.

Para ambos casos de potreros sometidos a cultivos, los residuos de estos son quemados por fuego o sometidos a barbecho químico, para el posterior establecimiento de nuevos cultivos o praderas.

Los parámetros analizados en este estudio son los que se detallan a continuación.

**3.3 Determinación del carbono total del suelo por el método de titulación (metodología de Walkley y Black).** A través de este método se determina la cantidad de ácido crómico que se reduce producto de la digestión húmeda de Walkley – Black, por medio de la oxidación de dicromato de potasio

<sup>4</sup> Muestras tomadas en Julio de 2005.

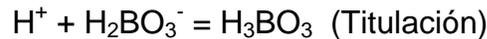
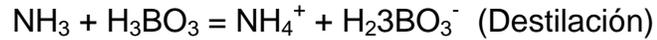
1 M ( $K_2Cr_2O_7$ ) en un medio ácido, provocando la formación de  $CO_2$ . Para esta titulación se utilizó sulfato ferroso 0,5 N ( $Fe_2SO_4$ ), buscando el viraje de color desde un verde tenue a un color rojo ladrillo, lo que indicó el punto donde se debe leer la cantidad de reactivo utilizada.

Se realizó a su vez un blanco para llevar a cabo los cálculos de carbono total con los valores de titulación que se obtuvieron de cada una de las muestras analizadas, teniendo en cuenta que por este método se oxida aproximadamente el 75 % del carbono orgánico del suelo. Así mismo se determinó la materia orgánica de éste, sabiendo que el 58 % es carbono (TOSSO, 1985).

**3.4 Determinación de carbono soluble del suelo.** Este procedimiento consta de una extracción, una digestión y posterior titulación. La extracción se realizó con sulfato de potasio 0.5 M ( $K_2SO_4$ ), para un posterior filtrado del cual se hicieron las determinaciones. La digestión se realizó con Dicromato de Potasio 0.0667 M ( $K_2Cr_2O_7$ ) y ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ). Para la posterior titulación se utilizó sulfato de amonio ferroso 0.033M ( $Fe(NH_2)_2(SO_4)_2$ ), teniendo en cuenta que este reactivo sufre una rápida oxidación por lo cual hay que estar constantemente verificando su molaridad.

**3.5 Determinación de nitrógeno disponible (nitratos más amonio), con extracción de KCl 2 M y determinación por arrastre de vapor de Bremmer.** Este método consiste en una titulación con ácido sulfúrico 0,005 N ( $H_2SO_4$ ), del destilado que se obtiene de la muestra de suelo. El gas que se obtiene de la titulación es utilizado para estimar el contenido de nitrógeno disponible del suelo.

El nitrógeno orgánico y nitratos son transformados en sulfato de amonio, el cual es destilado con ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) para una posterior titulación con ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).



Se realizó un blanco cuya función tiene relación directa con el cálculo que se efectuó para la determinación de nitrógeno de las muestras, ya que los valores que se obtuvieron de cada una de las muestras, deben considerar el blanco. Esto es:

$$\text{Valor real} = \text{lectura muestra} - \text{lectura blanco}$$

El valor que se obtuvo para cada una de las muestras luego de realizar dicho procedimiento es el que nos revelo la cantidad real de nitrógeno que posee nuestra muestra de suelo.

**3.6 Determinación de aluminio intercambiable en KCl 1 M.** Mediante este método, realizando una extracción con cloruro de potasio 1M (KCl) se determino el contenido de aluminio por medio de una agitación y posterior filtrado, el cual fue llevado a espectrofotometría de absorción atómica, relacionando una curva de calibración de valores conocidos de aluminio y los valores de las muestras que se obtuvieron en este estudio, considerando los factores de dilución que se aplicarán para cada una de ellas. Para esto se tomaron 10 g de suelo seco y se les adicionó 50 ml de KCl, para ser agitados por espacio de 30 minutos y un posterior filtrado del cual se obtuvo la lectura que nos entrego el valor real de la muestra.

**3.7 Determinación de aluminio extractable.** A través de una extracción con acetato de amonio a pH 4,8 se determinó la cantidad de aluminio extractable presente en todas las muestras analizadas, de manera similar a la determinación de aluminio intercambiable. Para este caso específico se utilizaron 5 g de suelo y 50 ml de acetato de amonio, los que fueron agitados por un periodo de 15 minutos y posteriormente filtrados, obteniendo las soluciones de las cuales se leyeron los valores de aluminio, también por espectrofotometría de absorción atómica.

### **3.8 Análisis estadísticos**

Las muestras fueron analizadas como muestras al azar, donde el tratamiento es años de cultivo y pradera con tres repeticiones en cada profundidad y se efectuaron un test de medias (Tukey) y análisis de regresión para analizar las tendencias de acumulación o desacumulación a través de los años de cultivo o pradera. Para esto se utilizaron los software estadísticos Statgraphics 2.0 y GraphPad Prism 4.0.

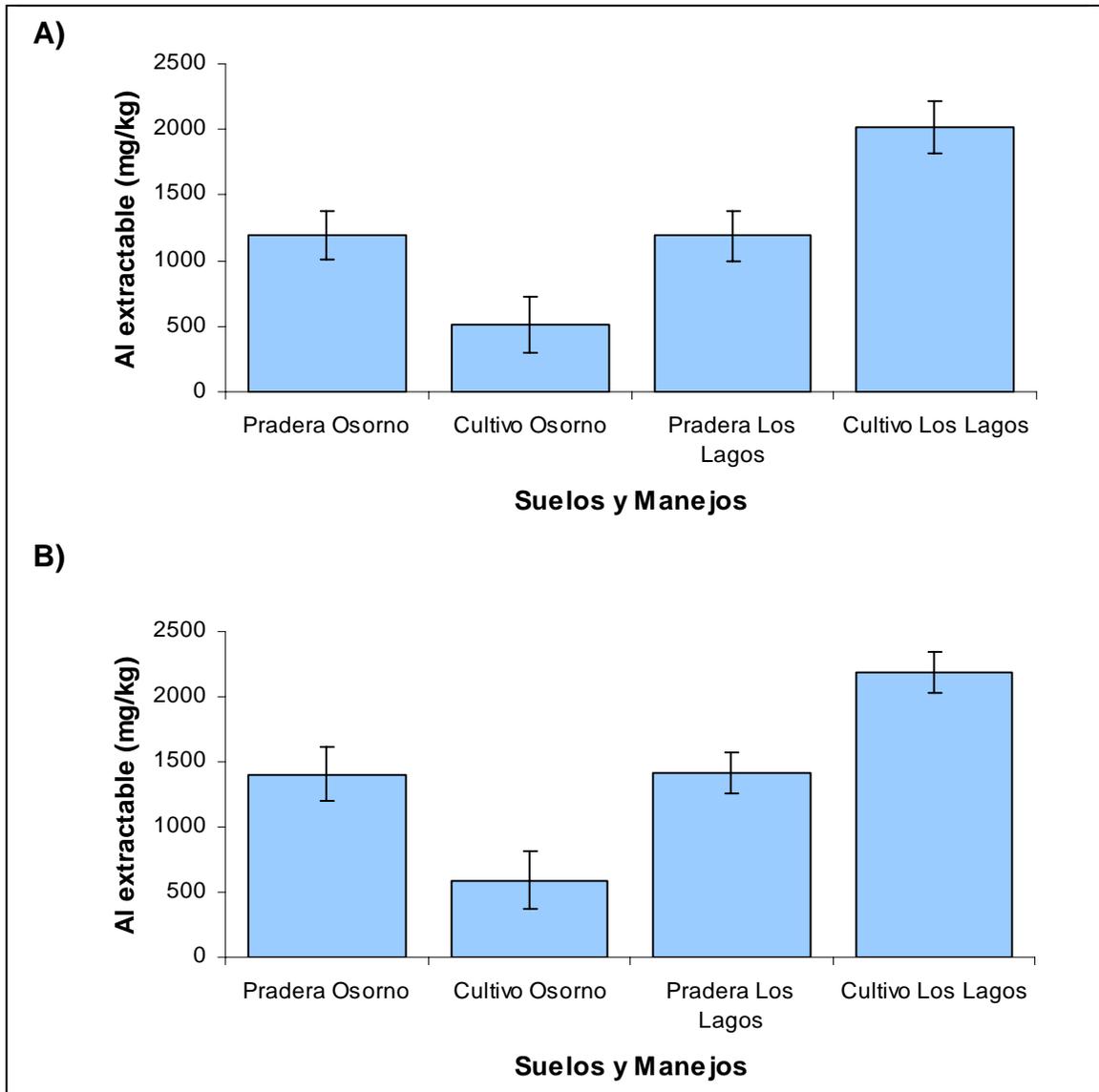
## **4 PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS**

En los dos suelos trumaos de la Región de los Lagos utilizados, se analizaron parámetros de fertilidad relevantes para evaluar su variación en el tiempo, al ser sometidos a un sistema de manejo constante. En los Anexos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 se muestran los análisis químicos de los suelos a las diferentes profundidades de muestreo para estos parámetros.

### **4.1 Relaciones entre los parámetros analizados**

De acuerdo a la hipótesis de este trabajo, dos serían los factores que influyen en la variación del contenido de materia orgánica del suelo. Estos factores son: (a) el sistema de manejo de residuos al cual se encuentran sometidos los suelos analizados, que para este estudio correspondieron a pradera y cultivo y (b) la duración de tiempo sobre al cual han sido sometidos a ese manejo. De esta forma se espera que estos mismos factores influyan sobre los parámetros de la dinámica de la materia orgánica del suelo. Sin embargo, más recientemente se ha planteado que el contenido de materia orgánica de un suelo obedece al tipo de suelo, además de los dos factores anteriormente mencionados (HASSINK, 1997). Entonces, el primer análisis que se realizará será evaluar si los sectores elegidos para este estudio obedecen al mismo tipo de material parental, es decir al mismo tipo de suelos. Para ello se evaluará el contenido de Al extractable como un indicador del tipo de suelo (RODRIGUEZ, 1993).

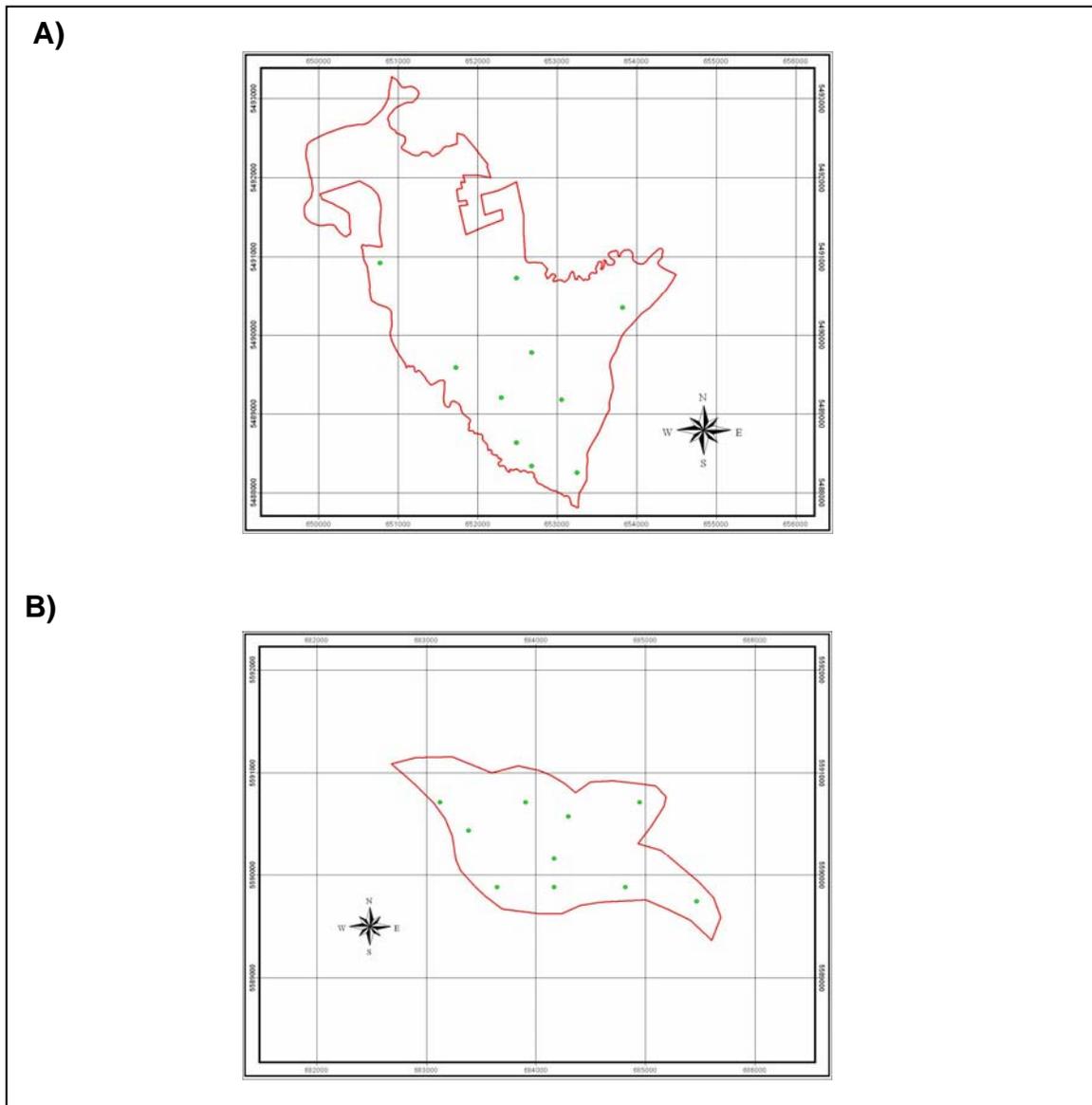
**4.1.1 Evaluación del tipo de suelo a través del aluminio extractable.** El aluminio extractable es un parámetro que permite evaluar al tipo de suelo, dada la relación existente entre su contenido y el tipo de arcilla en suelos volcánicos (DIAZ, 2006).



**Figura 2.** Valores de aluminio extractable según el manejo para ambos suelos. A. profundidad de 0 – 10 cm; B. profundidad de 10 – 20 cm.

Los valores de Al extractable de la Figura 2 muestran que los suelos analizados, aunque correspondían a los mismos predios, los sectores asociados a manejos no correspondieron a los mismos suelos. Esto se debería a que los límites geográficos de las series presentan errores, por lo cual podrían ocurrir inclusiones de series vecinas, alterando el valor de las muestras (Mac

DONALD<sup>5</sup>). Se puede observar además que los valores de aluminio extractable son mayores en las muestras correspondientes a una profundidad de muestreo de 10 – 20 cm., lo cual fue observado con anterioridad en el estudio realizado por IREN – CORFO – UACH (1978).



**Figura 3.** Ubicación geográfica de los predios y sectores de muestreo en estos.  
A: Predio Osorno; B: Predio Los Lagos.

<sup>5</sup> Comunicación personal realizada en Noviembre de 2006.

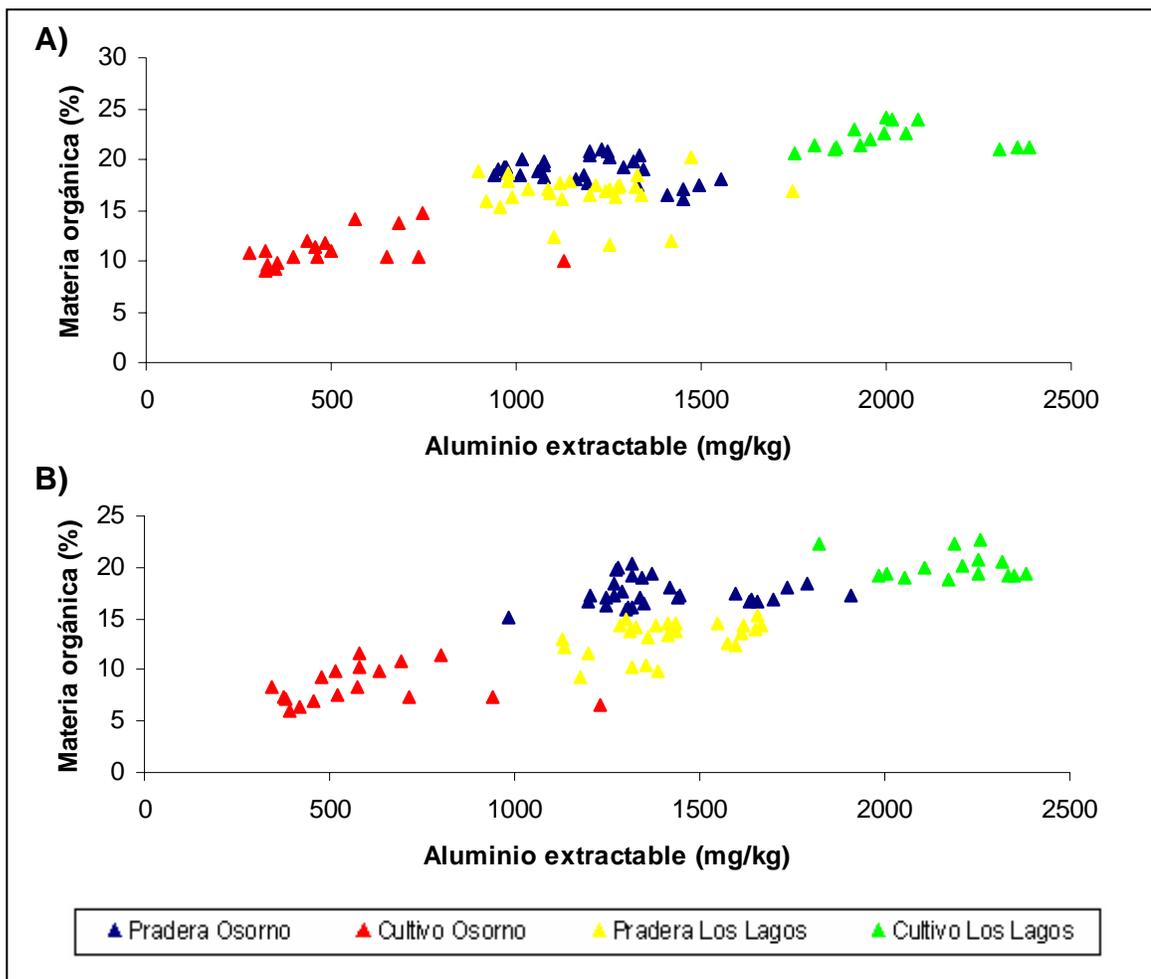
Esto se muestra en el promedio de los valores de Al extractable. El suelo Osorno en manejo de praderas presentó valores de aproximadamente el doble que los valores del manejo de cultivos. Por su parte, para el predio Los Lagos, la situación fue a la inversa, siendo los valores de Al extractable, bajo el manejo de cultivos, el doble que los valores de los sectores correspondientes a praderas. Para efecto de los análisis estadísticos solo se consideraron los primeros 5 años de cada suelo y manejo.

**CUADRO 9. Valores promedios de materia orgánica y aluminio extractable en los dos suelos para ambos manejos.**

<i>Suelo y Manejo</i>	<i>Materia Orgánica (g/100g)</i>	<i>Aluminio Extractable (mg/kg)</i>
Trumao Osorno – Pradera	18,2 ± 1,5	1406 ± 208
Trumao Osorno – Cultivo	9,8 ± 2,1	592 ± 225
Trumao Los Lagos – Pradera	14,9 ± 2,5	1413 ± 160
Trumao Los Lagos - Cultivo	21,1 ± 1,6	2179 ± 158

Estos resultados (Cuadro 9) muestran que la mayor variación de la materia orgánica del suelo está asociada con la variación del contenido de Al extractable del suelo. A partir del trabajo de HASSINK (1997) se ha postulado que el contenido de arcilla y, posteriormente, el tipo de arcilla (PERCIVAL *et al.*, 2000), son determinantes en el contenido de materia orgánica en los suelos. El trabajo de PERCIVAL *et al.* (2000), ha mostrado una relación entre el contenido de Al extractable con pirofosfato y en oxalato con el contenido de materia orgánica, lo que sugiere que en los suelos volcánicos es el Al extractable, un parámetro indicador del tipo de arcilla presente. Para poder determinar si existen relaciones entre los parámetros de este estudio se realizaron diversos análisis estadísticos los cuales se presentan a continuación.

**4.1.2 Relación entre el aluminio extractable y la materia orgánica.** Para este trabajo se evaluó la existencia de una posible relación entre el contenido de Al extractable en acetato de amonio pH 4,8 y el contenido de materia orgánica de los suelos. En la Figura 4, se muestra las relaciones determinadas entre el contenido de Al extractable y materia orgánica de los suelos, en la cual se incluyeron los contenidos de materia orgánica en forma independiente del manejo realizado sobre el suelo.

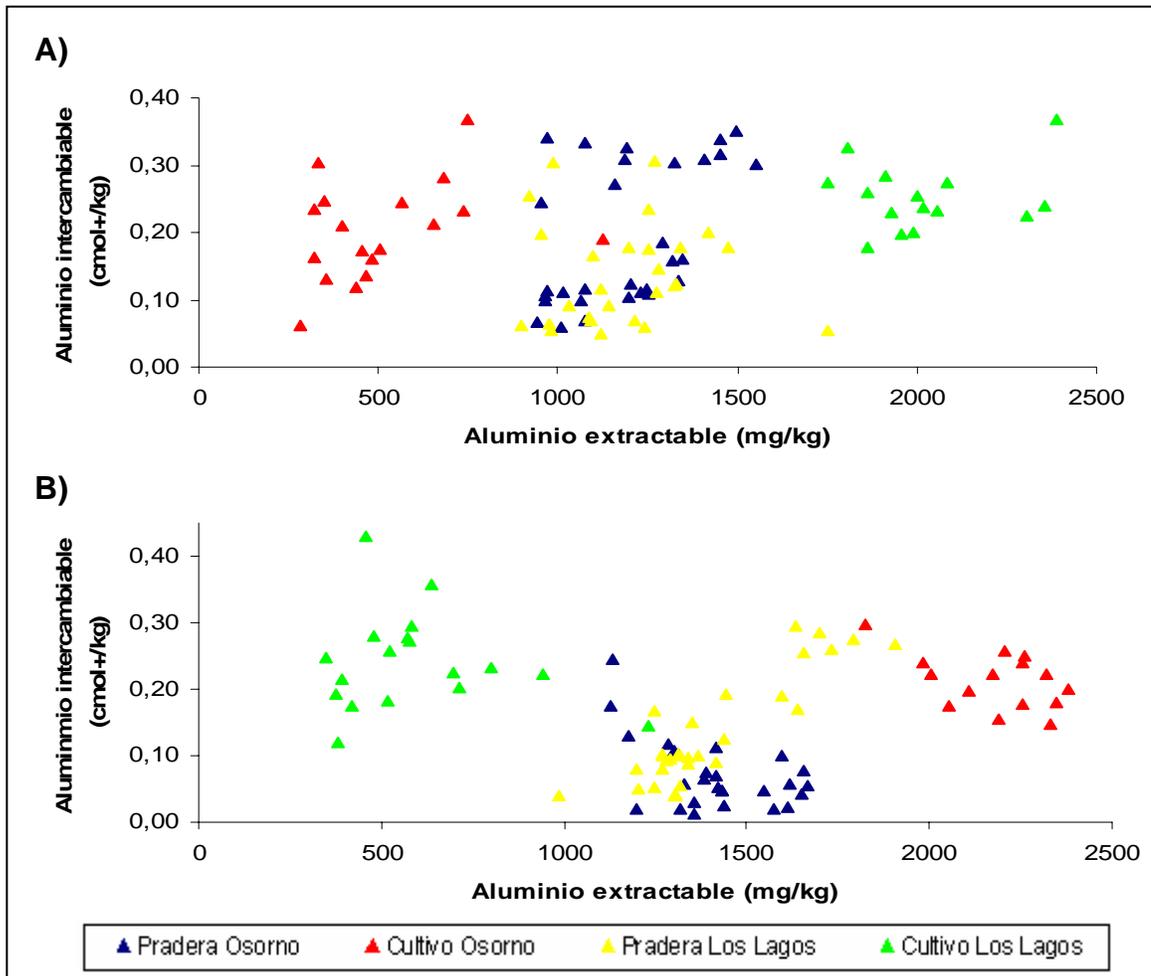


**Figura 4.** Relación entre el aluminio extractable y la materia orgánica presente en ambos suelos. A: 0 – 10 cm; B: 10 – 20 cm.

Las relaciones descritas en la Figura 4, se ajustaron a una regresión exponencial del tipo  $Y = Y_{MAX} - \exp(-K \cdot X)$ . Los valores obtenidos de análisis estadístico se muestran en los Anexos 9 y 10. Las ecuaciones ajustadas fueron significativas y presentaron un  $R^2$  de 0,653 y 0,637 y un error estándar ( $S_{y.x}$ ) de 2,29 %MO y 2,60 % MO, para la profundidad de 0-10 cm y 10-20 cm. respectivamente.

Los resultados obtenidos muestran que, en términos generales, los suelos obedecen en primer lugar al tipo y reactividad de las arcillas presentes en su contenido de materia orgánica, más que al manejo realizado en ellos. De esta forma, la tendencia general, es que a mayor contenido de Al extractable, mayor es el contenido de materia orgánica del suelo. Sin embargo, el factor de determinación de las ecuaciones es de alrededor del 64%, lo que indica que, este no es el único parámetro que determina el contenido de materia orgánica en los suelos. De esta forma, el manejo estaría determinando sólo parcialmente el contenido de materia orgánica de los suelos.

**4.1.3 Relación del aluminio extractable con el aluminio intercambiable de los suelos.** Es común la confusión del Al extractable con el Al intercambiable de los suelos. Sin embargo, ambos parámetros se refieren a aspectos diferentes en el suelo. El Al intercambiable se refiere a un parámetro asociado con la acidez del suelo, lo cual es una condición del suelo. Por su parte, el Al extractable es un parámetro que está relacionado con el tipo de arcilla presente en suelos volcánicos. Dado que ambos parámetros se refieren a propiedades independientes y no relacionadas en los suelos, se evaluó su relación a través de los distintos suelos y manejos estudiados en el presente trabajo.

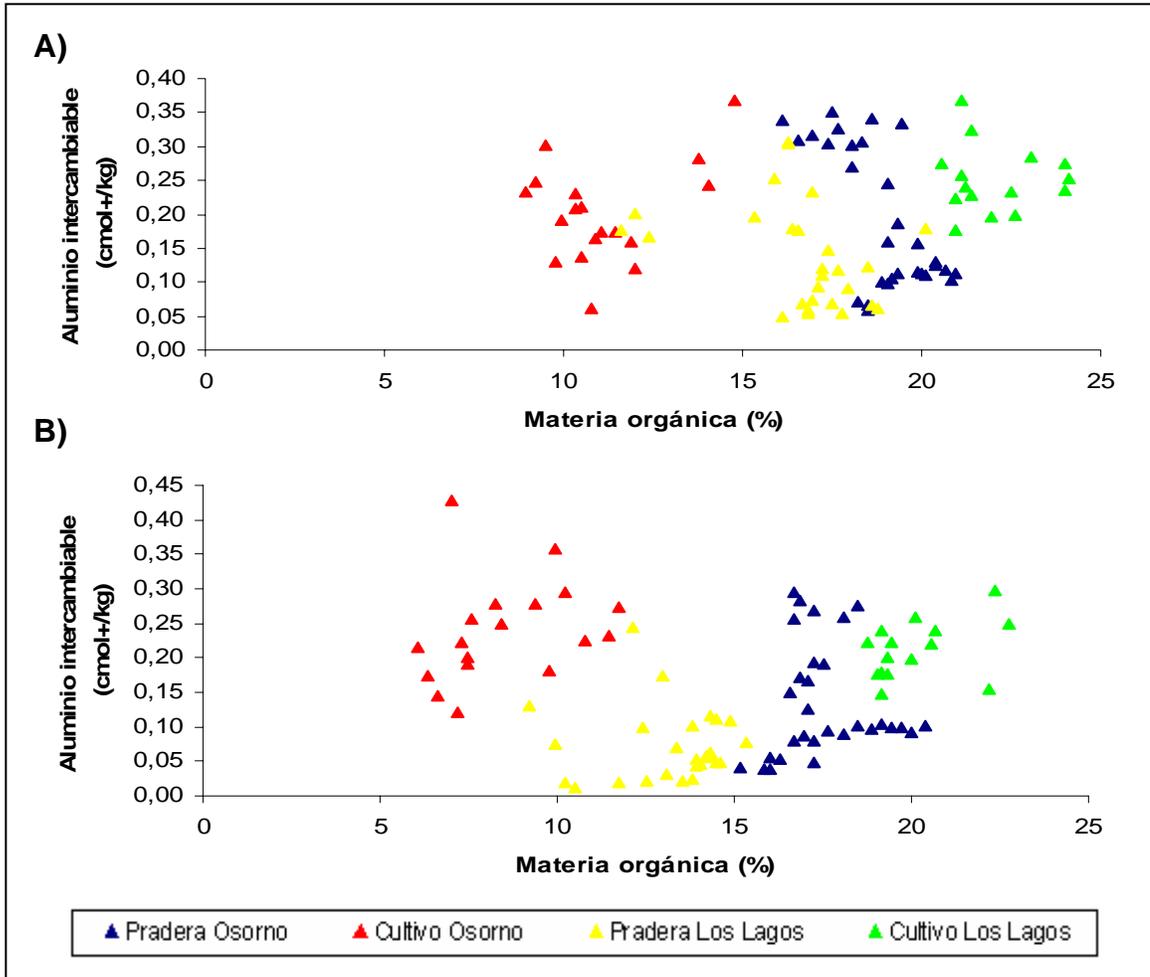


**Figura 5.** Relación entre el aluminio extractable y el aluminio intercambiable en ambos suelos. A. profundidad de 0-10 cm; B. profundidad de 10-20 cm.

La Figura 5, muestra que no fue posible describir una relación entre los valores de aluminio extractable y los de aluminio intercambiable tanto para las muestras de la profundidad de 0 – 10 cm y las muestras de 10 – 20 cm de profundidad. Esto nos indica que la acidez del suelo es independiente de los niveles de Al extractable. Sin embargo, la acidez influye en el nivel de Al intercambiable. La información del análisis estadístico se muestra en los Anexos 11 y 12.

#### 4.1.4 Relación entre el aluminio intercambiable y la materia orgánica.

Dado que no existe una relación entre el Al intercambiable y el Al extractable que es un indicador del tipo de arcilla en los suelos volcánicos, no se espera una relación entre el Al intercambiable y la materia orgánica de los suelos.



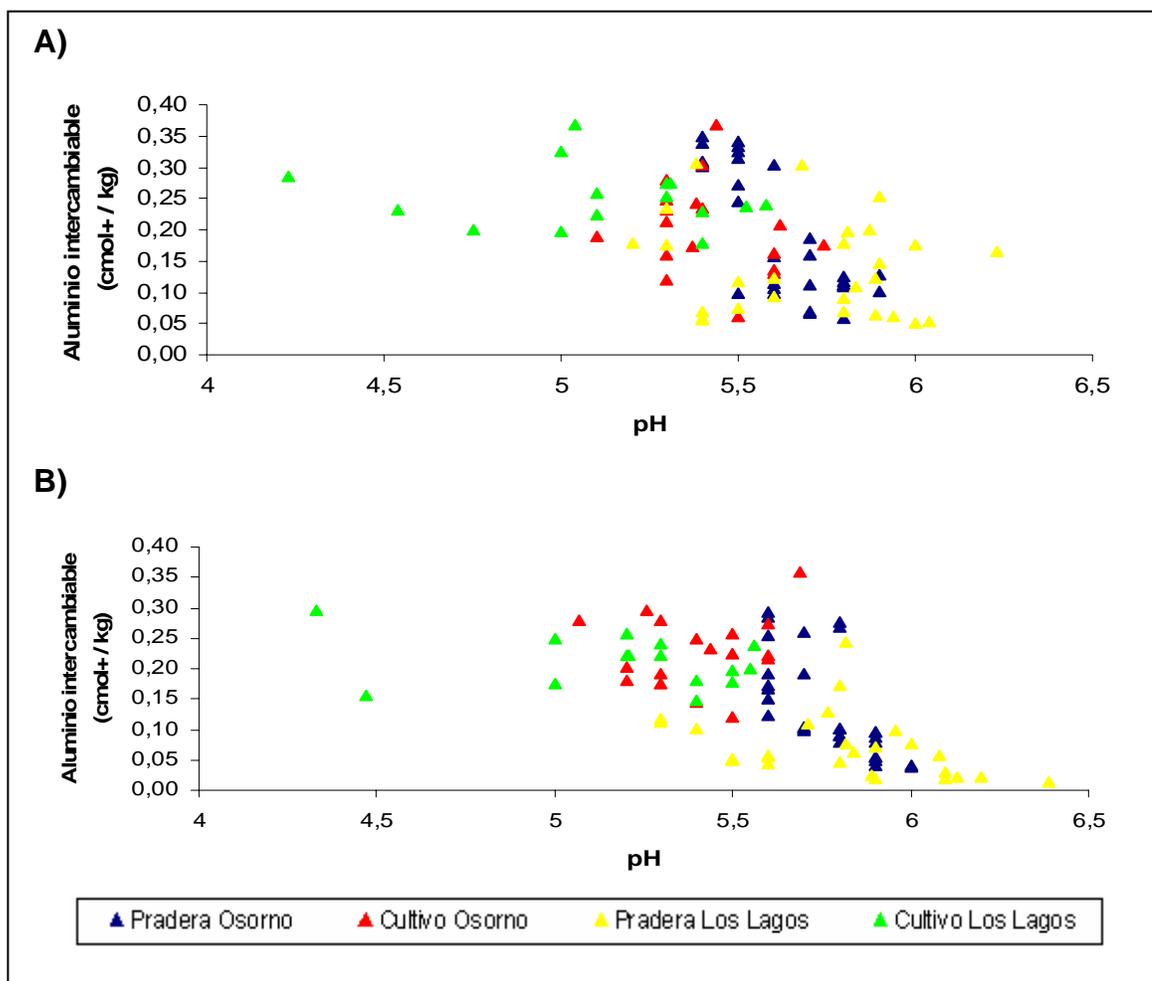
**Figura 6.** Relación entre el Al intercambiable y la materia orgánica en ambos suelos. A. profundidad de 0 – 10 cm; B. profundidad 10 – 20 cm.

Los resultados de este estudio arrojaron que no existe una relación entre los niveles de Al intercambiable y la materia orgánica presente en las muestras de suelo evaluadas. Es así, que al comparar tanto los manejos bajo los cuales se encuentra sometidas las muestras, así como las profundidades de muestreo

no se observaron resultados que puedan indicar que existe algún efecto directo entre ellos. La Figura 6 permite apreciar la gran dispersión de los valores, los cuales no muestran tendencia alguna. Los resultados de los análisis estadísticos se presentan en los Anexos 13 y 14.

#### 4.1.5 Relación entre el aluminio intercambiable y el pH de los suelos.

Según bibliografía estudiada, el pH tiene una relación directa con los niveles de Al intercambiable y este a su vez con los manejos bajo los cuales están los suelos. La Figura 7 muestra ésta relación.



**Figura 7.** Relación entre el Al intercambiable y el pH en ambos suelos.

A. profundidad de 0 – 10 cm; B. profundidad 10 – 20 cm.

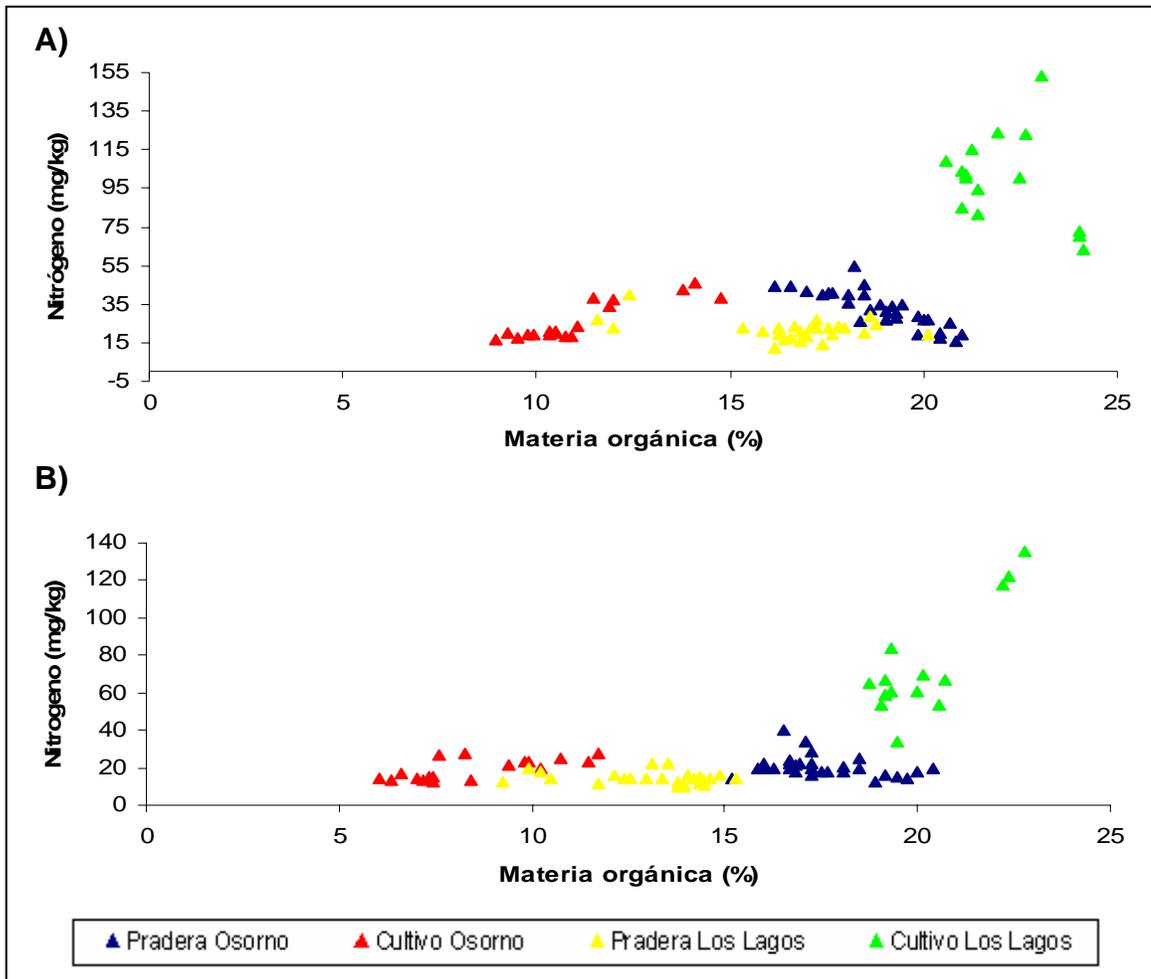
Según ésta figura existe una pequeña tendencia hacia la disminución de los valores de pH (acidez), a medida que aumentan los valores del Al intercambiable. Además se puede observar que los valores de cultivo presentan un pH más ácido que los de pradera para ambos suelos, lo cual es de esperar y atribuible al manejo bajo el cual se encuentran sometidas las muestras.

Los resultados de los análisis estadísticos se presentan en los Anexos 15 y 16.

#### **4.1.6 Relación entre la materia orgánica y el nitrógeno mineral del suelo.**

Diversos autores han descrito la importancia e influencia la vida microbial y como ésta interviene en los procesos degradativos que dan origen a las transformaciones de nitrógeno en el suelo (HAYNES, 1986; MATUS, 1988; SIERRA, 1985; ZAGAL, 2002).

La Figura 8 nos muestra la relación existente entre los valores de materia orgánica y los valores de nitrógeno presentes en ambos suelos a las distintas profundidades de muestreo.



**Figura 8.** Relación entre el nitrógeno y la materia orgánica en ambos suelos.

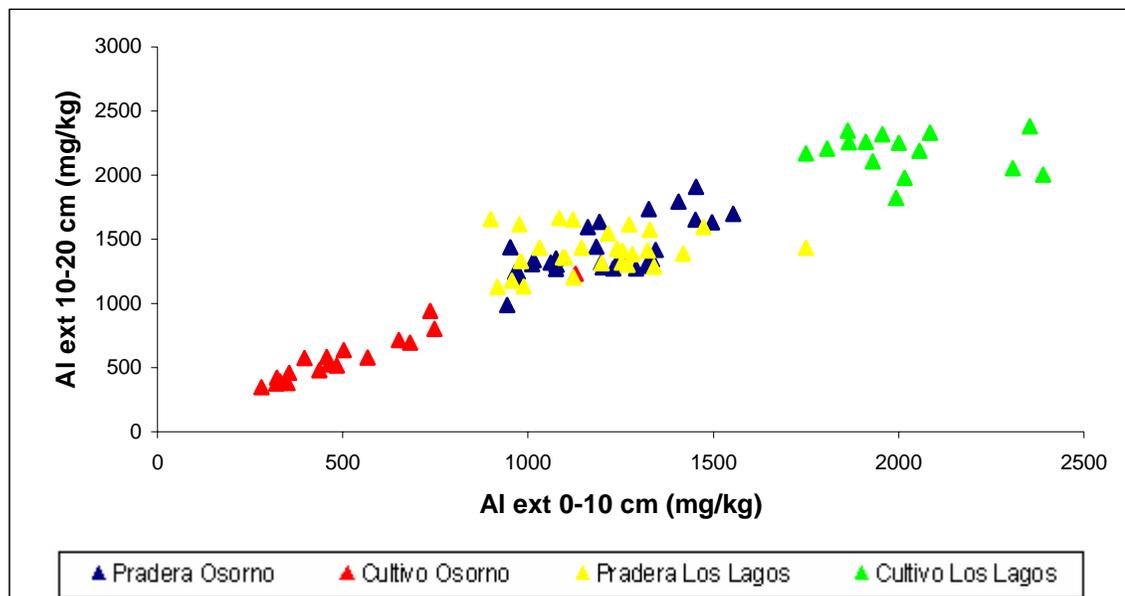
A. profundidad de 0 – 10 cm; B. profundidad 10 – 20 cm.

Según la figura se observa que para ambos suelos no existe una buena relación entre las variables, lo cual es corroborado por los análisis estadísticos (Anexos 17 y 18), que nos indican que presentan un  $R^2$  de 0,23 y de 0,26 para profundidades de 0 – 10 cm y 10 – 20 cm respectivamente.

## 4.2 Relación entre las variables medidas a distintas profundidades de muestreo

Se midió la relación en las variables en ambas profundidades de muestreo para evaluar la consistencia de las mediciones realizadas. Una relación entre la profundidad de 0-10 cm con la profundidad de 10 a 20 cm indica que es una variable que no se afecta en su comportamiento general con el cambio de profundidad y sugiere que no es afectable principalmente con el manejo del suelo.

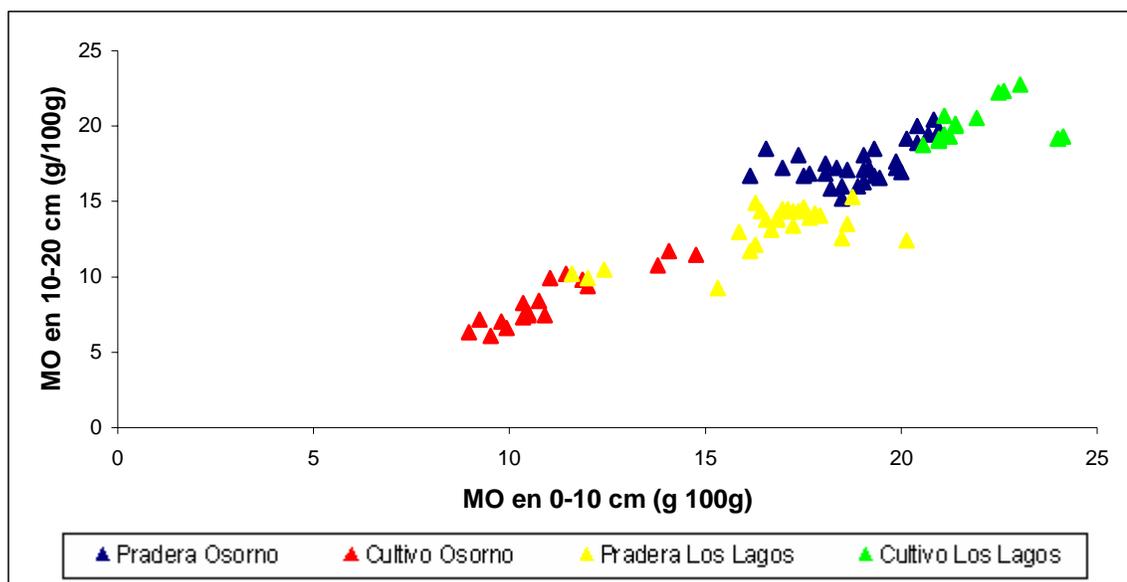
**4.2.1 Relación del aluminio extractable a ambas profundidades de muestreo.** La Figura 9 nos muestra la relación existente para el aluminio extractable comparando los valores de las dos profundidades de muestreo de este estudio.



**Figura 9.** Relación del aluminio extractable a ambas profundidades de muestreo.

Según lo anterior podemos observar que existe una relación directa entre los valores observados para cada repetición. Esto nos indica que este parámetro no varía mayormente con la profundidad, manteniendo cierta continuidad en el perfil de suelo (DIAZ, 2006). Lo anterior nos permite señalar que el aluminio extractable es un parámetro de confianza para establecer como base en estudios de series de suelos, ya que estos valores son propios de cada una de estas.

**4.2.2 Relación de la materia orgánica a ambas profundidades de muestreo.** Para el caso específico de la materia orgánica se puede observar una tendencia similar al obtenido para el aluminio extractable. La Figura 10 nos ilustra dicha tendencia.

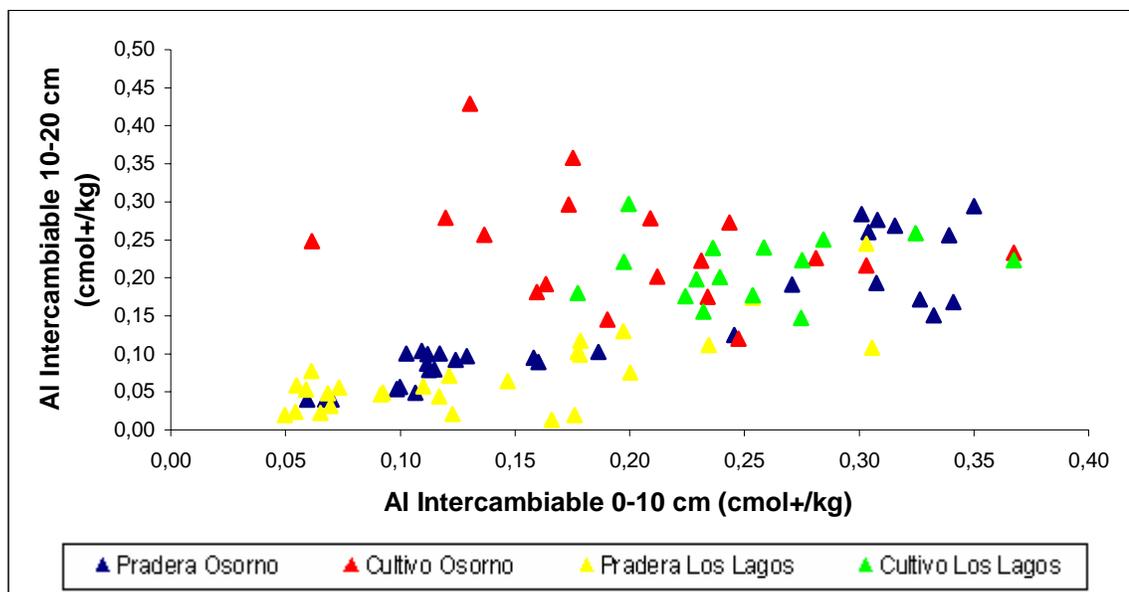


**Figura 10.** Relación de la materia orgánica a ambas profundidades de muestreo.

Aquí los valores son coincidentes para ambas profundidades de muestreo para cada repetición realizada, denotando eso sí, que los valores

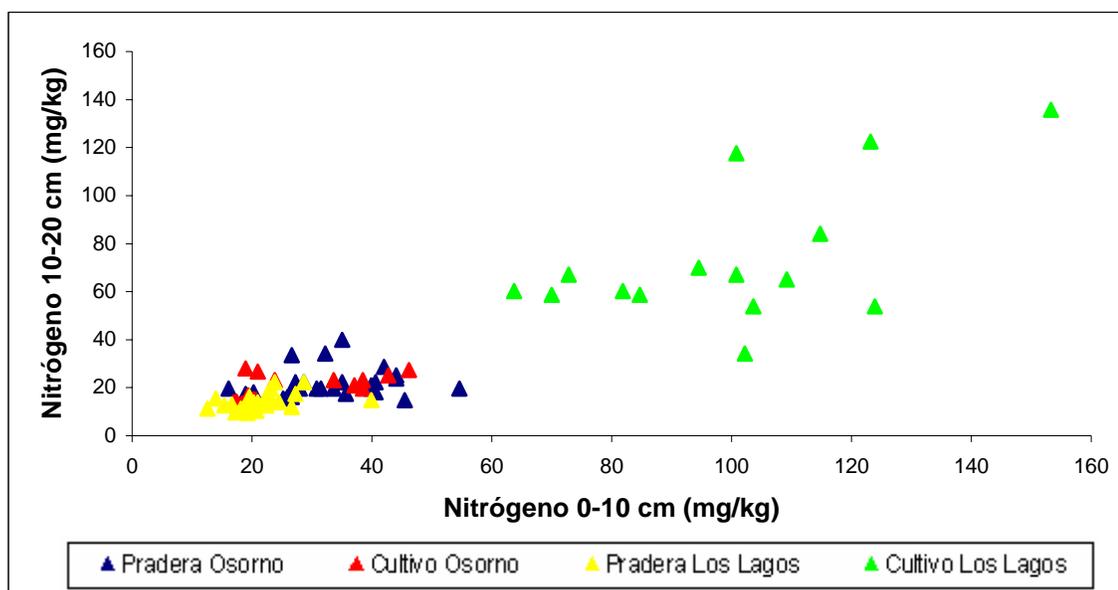
correspondientes a la profundidad de 10 a 20 cm son menores que los valores correspondientes a las muestras más superficiales (0 a 10 cm), esto es coincidente con estudios realizados por APEZTEGUIA y SERENO, (2002); BORIE *et al.*, (1995); ESPINOSA, (1982); HAYNES, (2000).

**4.2.3 Relación del aluminio intercambiable a ambas profundidades de muestreo.** Para la situación particular del aluminio intercambiable no se apreciaron tendencias claras en la relación de las profundidades, lo cual nos indica la gran variabilidad que este parámetro presenta en el perfil de suelo, impidiendo basar cualquier estudio en dicho parámetro. Lo anterior se observa en la Figura 11.



**Figura 11.** Relación del aluminio intercambiable a ambas profundidades de muestreo.

**4.2.4 Relación del nitrógeno a ambas profundidades de muestreo.** Al considerar los valores obtenidos para el nitrógeno, la tendencia que presenta dicho elemento se puede observar en la Figura 12.



**Figura 12.** Relación del nitrógeno a ambas profundidades de muestreo.

La tendencia de evolución del nitrógeno presenta en general una relación directa en las muestras según sus repeticiones y profundidades de muestreo, que es similar a la tendencia de la materia orgánica.

### 4.3 Evaluación de parámetros de medición directa

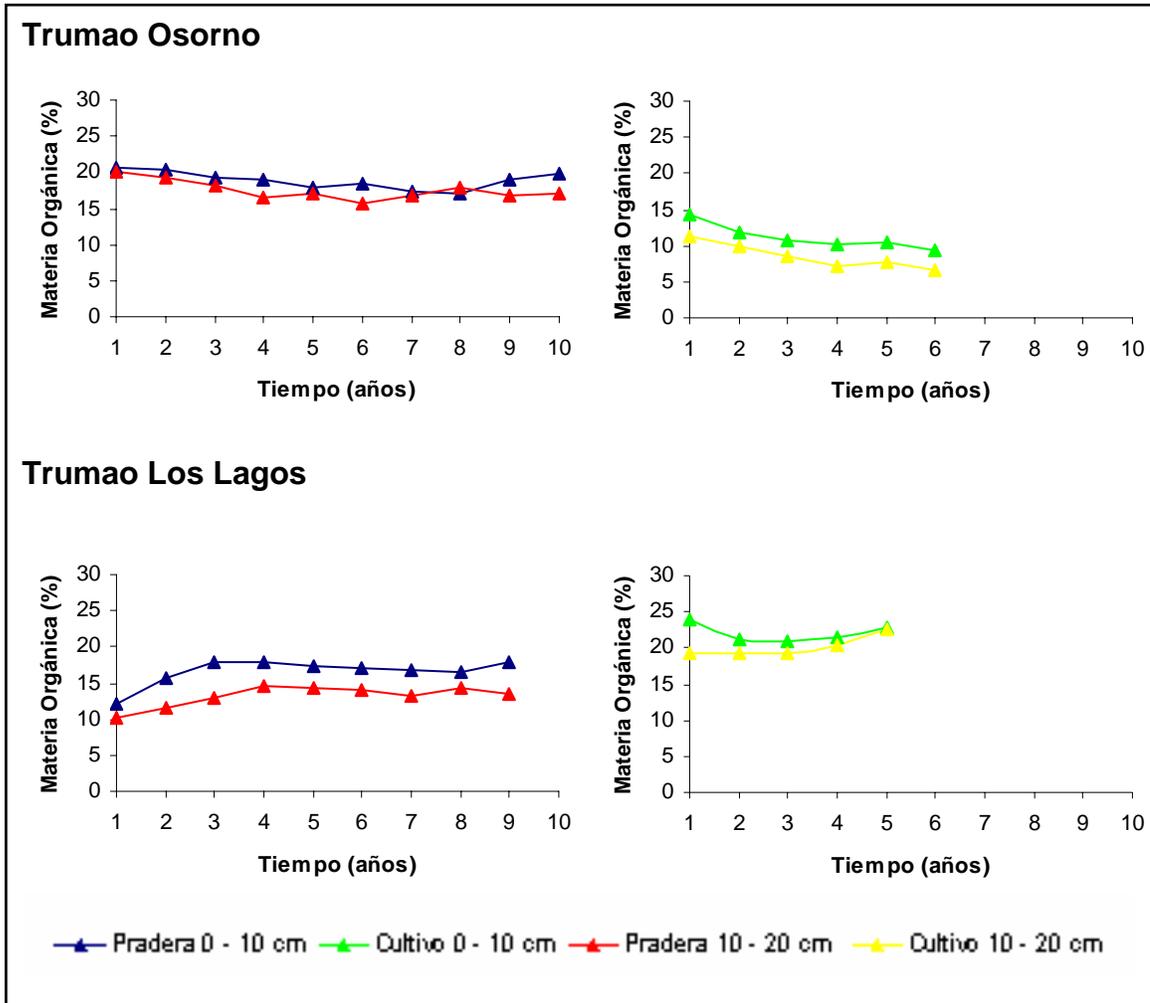
Como se planteó en las hipótesis de este trabajo de investigación existen dos factores de manejo que influyen en el contenido de materia orgánica de los suelos: (a) el sistema de manejo de ingreso de residuos (cantidad de residuos en la pradera o cultivo) en los suelos analizados y (b) el tiempo en que se ha aplicado el manejo de residuos al suelo (historial del manejo).

**4.3.1 Efecto del manejo sobre la materia orgánica a través del tiempo.** El objeto de estudio de éste trabajo es la materia orgánica presente en el suelo y su variación según el manejo al cual se encuentra sometido a través del tiempo. En este estudio se dejó fuera de consideración los factores de clima y el factor

de acidificación del suelo, que influyen en el contenido de materia orgánica de este (ZAGAL, 2002; APEZTEGUIA y SERENO, 2002). Se consideró que ambos factores fueron homogéneos en este estudio, ya que ambos predios están ubicados en regiones de clima similares (es decir, sobre regímenes údicos y méxicos) por lo que no se esperan variaciones en el contenido de materia orgánica debido a este factor. Por otro lado, los suelos de esta zona son mayoritariamente ácidos y aunque variaron en su grado de acidez, todos se encuentran en el rango ácido.

Para este estudio existieron dos tendencias de la evolución de la materia orgánica dependiendo del manejo. Es así como para el manejo en el suelo Osorno, la pradera no presentó una acumulación de materia orgánica a través del tiempo, y más bien se mantuvo constante o con una ligera tendencia hacia la desacumulación. Bajo un historial de cultivo en este mismo suelo se observa, como era de esperar, una disminución del contenido de materia orgánica en la medida que transcurren los años de cultivo, indicando que el menor ingreso de residuos (debido a la quema de residuos) y a su menor calidad de los residuos (paja de cereales) ha disminuido la fertilidad orgánica que se alcanzó con el ingreso de residuos superiores como es el caso de praderas en el sector de cultivos (Cuadros 5,6,7 y 8 de Material y Método).

Ahora la Figura 13 permite observar lo ocurrido para ambos suelos a las dos profundidades de muestreo, para poder identificar claramente las tendencias de acumulación y desacumulación de la materia orgánica en estos, por efecto de los distintos manejos.



**Figura 13.** Evolución en la materia orgánica para ambos suelos a través del tiempo según tipo de manejo en base a promedios anuales, a profundidades de muestreo de 0 – 10 cm y 10 – 20 cm.

La pérdida de materia orgánica por parte del cultivo en el suelo trumao Osorno es mucho mayor o más pronunciada en los primeros años bajo este sistema, la cual se hace más estable y menos agresiva con el paso del tiempo. Esto se puede confirmar con publicaciones como las de Cambardella y Elliot, 1992; Janzen *et al.*, 1992, citados por ZAGAL *et al.* (2002), quienes señalan que las pérdidas de materia orgánica del suelo durante los primeros años de cultivo son mayores que en los años siguientes, donde estas pérdidas de materia

orgánica tienden a estabilizarse. Así mismo la labranza acelera la descomposición de la materia orgánica y destruye los agregados estables, todo lo anterior se confirma con los estudios realizados por APEZTEGUÍA y SERENO (2002), MIKHA y RICE (2004), VILCHES *et al.* (2002), ZAGAL *et al.* (2002), ZOTARELLI *et al.* (2005), quienes al comparar la evolución de diversos factores en el suelo a través del tiempo bajo sistemas de pradera y cultivo, pudieron observar que los contenidos de carbono orgánico total disminuyeron notoriamente en el suelo con el paso de pradera a cultivo, especialmente en el primer y segundo año.

Para el caso del suelo Los Lagos existe una situación diametralmente opuesta, presentando acumulación bajo ambos manejos. Estas variaciones tienen relación directa con los valores obtenidos de aluminio extractable anteriormente señalados. Los valores de materia orgánica y su tendencia como era de esperar presentaron las mayores cantidades a menor profundidad de muestreo, relación obtenida y descrita con anterioridad por APEZTEGUÍA y SERENO (2002). Esta diferencia se hace más estrecha bajo el manejo de cultivo, lo que se puede explicar por la inversión constante del suelo, llevando los residuos vegetales a mayores profundidades (PINOCHET *et al.*, 2000. Además existe una acumulación de ésta materia orgánica por parte de la pradera, diferenciándose del caso anterior en que al ocurrir la transición hacia el manejo de cultivo no se afectó dicha acumulación perdiendo sus niveles, sino que por el contrario, la tendencia se mantuvo, observando incluso un gran salto en los valores en el primer año, y posterior a esto se mantuvo la acumulación a una tasa relativamente constante. Esta situación se explica en parte por los valores de Al extractable que presentan las muestras de suelo, las cuales presentan la misma tendencia y en menor grado porque la pradera presentaría mayores contenidos de biomasa microbial, afectando directamente los contenidos de materia orgánica, obteniendo valores más bajos en las concentraciones de C orgánico de estas praderas y valores mayores en las

rotaciones de cultivos, lo que sería similar a los resultados obtenidos por ZAGAL (2002).

El Cuadro 10 permite observar por medio del análisis de varianza (Anexos 19, 20, 21 y 22) que existen diferencias estadísticas altamente significativas para ambos suelos (P-valor < 0.01), por efecto del manejo en ambas profundidades de muestreo, para la materia orgánica presente en el perfil del suelo.

**CUADRO 10. Análisis de suelos Osorno y Los Lagos para materia orgánica entre tratamientos para ambas profundidades de muestreo a través del tiempo.**

<i>Tratamiento</i>	<i>Suelo Osorno</i>		<i>Suelo Los Lagos</i>	
	0-10cm	10-20cm	0-10cm	10-20cm
Materia Orgánica (%)				
Pradera	19,52 ± 0,26 a	18,19 ± 0,36 a	16,24 ± 0,62 b	12,74 ± 0,50 b
Cultivo	11,47 ± 0,41 b	8,88 ± 0,43 b	22,06 ± 0,32 a	20,14 ± 0,34 a

Letras distintas denotan diferencias altamente significativas (P< 0.01) prueba de Tukey (5%).

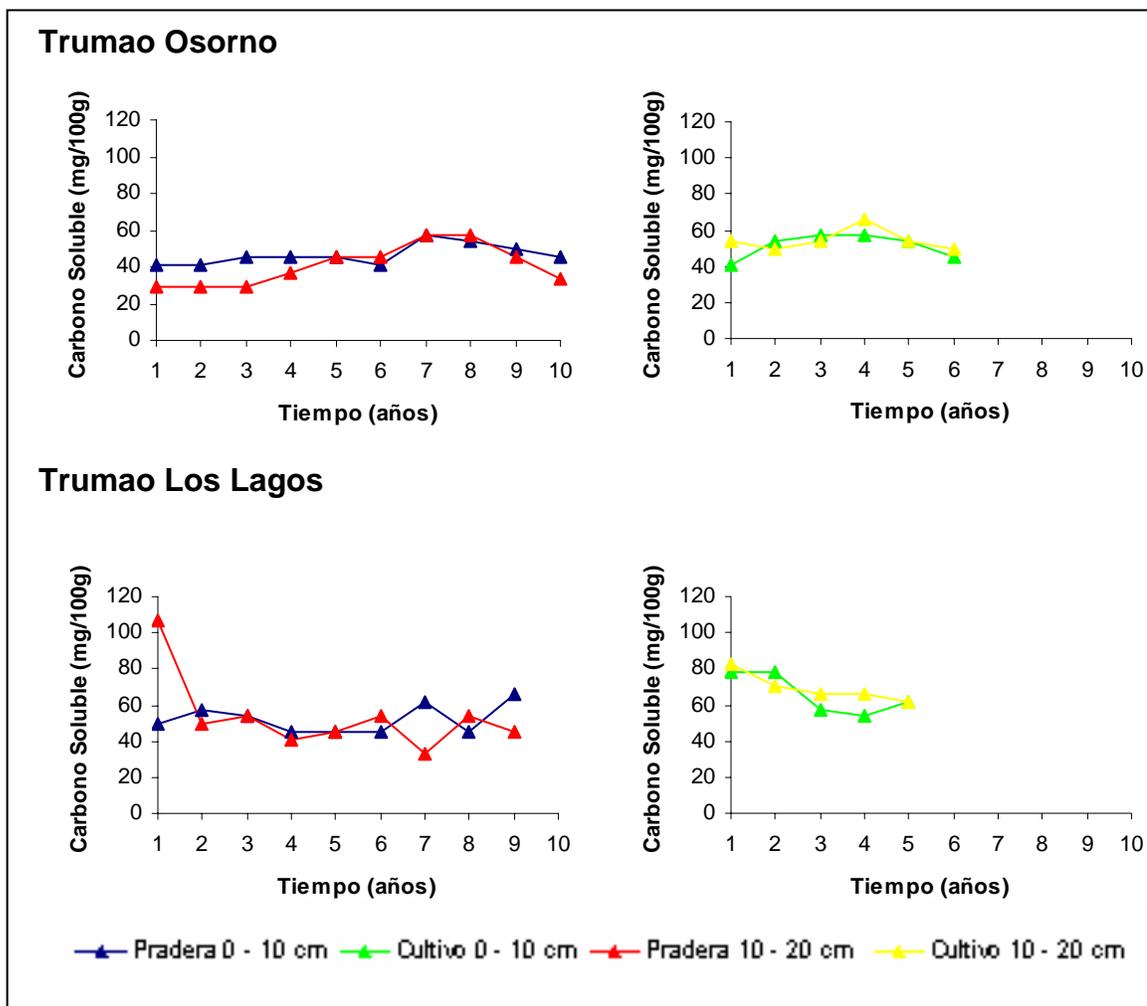
Para el caso del suelo Osorno, el porcentaje de materia orgánica encontrado en pradera es mayor que en cultivo a ambas profundidades, siendo mayores los valores de 0 – 10 cm, que de 10 – 20 cm, lo cual coincide con lo expuesto por MIKHA y RICE (2004). Estas diferencias en las cantidades de materia orgánica a distintas profundidades fueron observadas también por BORIE *et al.* (1995), APEZTEGUÍA y SERENO (2002), MOORE y TURUNEN (2004), Six *et al.* (2000), citados por ZOTARELLI *et al.* (2005), quienes obtuvieron resultados similares, concluyendo que la cantidad de materia orgánica disminuye en profundidad dentro del perfil del suelo.

Por el contrario para el suelo Los Lagos, los valores obtenidos del análisis estadístico, si bien presentan diferencias estadísticas altamente significativas, es inversa al caso del suelo Osorno, pero no es lo común, ya que por lo general en las praderas existe una mantención o aumento de la materia orgánica del suelo por la proliferación y muerte de raíces. Cuando comparamos manejo de praderas versus cultivos encontramos que en la primera, por haber un menor movimiento del suelo, existe una mayor acumulación de materia orgánica, debido a un reciclaje más efectivo. Así mismo estudios realizados por HAYNES (2000), indican que la inclusión de pastos o praderas dentro de las rotaciones y un aumento del número de años bajo estas condiciones significaron un aumento del carbono orgánico del suelo.

#### **4.3.2 Efecto del manejo a través del tiempo sobre el carbono soluble.**

Según HAYNES (2000), se espera que suelos que presenten un mayor valor de materia orgánica presentarán valores de carbono soluble también mayores. Lo anterior no se observó en los resultados de este estudio ya que no existió tendencia alguna a través del tiempo para los contenidos de éste parámetro.

La Figura 14 permite observar en mayor detalle lo que ocurre con el carbono soluble tanto para el suelo trumao Osorno como para el suelo Los Lagos a través del tiempo a ambas profundidades de muestreo, bajo los dos sistemas de manejo.



**Figura 14.** Evolución en el carbono soluble para ambos suelos a través del tiempo según tipo de manejo en base a promedios anuales, a profundidades de muestreo de 0 – 10 cm y 10 – 20 cm.

Según lo esperado, la relación que debería existir con los valores de materia orgánica obtenidos para los suelos, no corresponde con los valores obtenidos para carbono soluble, ya que no existe una tendencia a la acumulación o desacumulación de carbono soluble en el tiempo, independiente del tipo de manejo al que se encuentran sometidos.

Para el caso del carbono soluble en el suelo Los Lagos, podemos observar que no hay tendencia alguna en pradera ni en cultivo, siendo que se podría esperar que se presentara una tendencia similar a la observada por la materia orgánica, obteniendo una acumulación constante en el tiempo, independiente del manejo bajo el cual se encuentran sometidos. Estos se puede apreciar en el Cuadro 11, donde mediante un análisis de varianza (Anexos 23, 24, 25 y 26), se obtuvieron los siguientes resultados.

**CUADRO 11. Análisis de suelos Osorno y Los Lagos para carbono soluble entre tratamientos para ambas profundidades de muestreo a través del tiempo.**

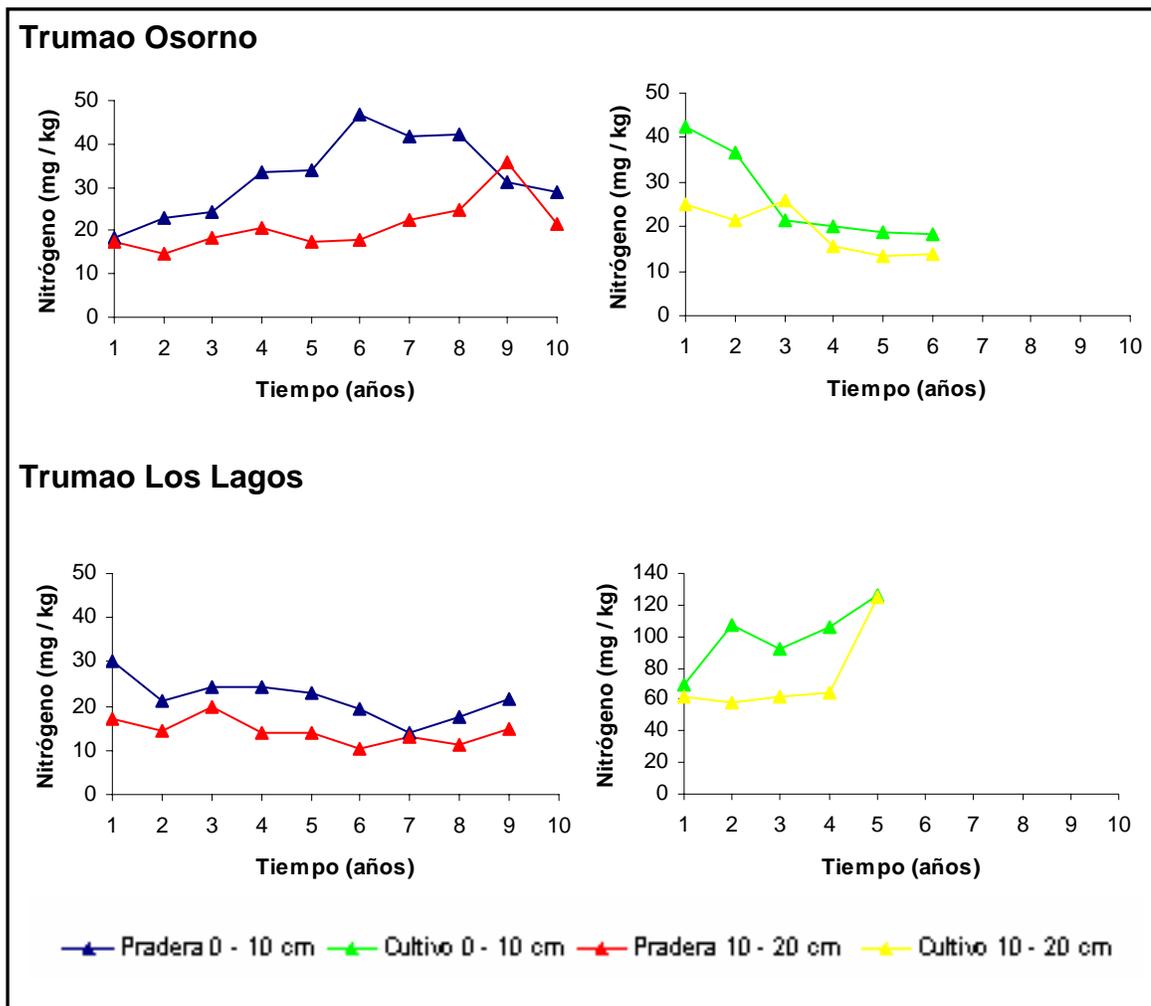
<i>Tratamiento</i>	<i>Suelo Osorno</i>		<i>Suelo Los Lagos</i>	
	0-10cm	10-20cm	0-10cm	10-20cm
Carbono Soluble (mg / 100g)				
Pradera	43,7 ± 1,7 b	33,8 ± 2,8 b	50,3 ± 2,3 b	59,4 ± 1,4 a
Cultivo	52,8 ± 2,3 a	55,3 ± 2,4 a	66,0 ± 3,3 a	69,3 ± 3,2 a

Letras distintas denotan diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) prueba de Tukey (5%).

Aquí se observa que existen diferencias estadísticas altamente significativas ( $P$ -valor  $< 0.01$ ) para el suelo Osorno a ambas profundidades y para el suelo Los Lagos a una profundidad de muestreo de 0 a 10 cm. Ahora para el suelo Los Lagos a una profundidad de de 10 – 20 cm no existen diferencias estadísticamente significativas ( $P$ -valor  $> 0.05$ ).

**4.3.3 Efecto del manejo a través del tiempo sobre el nitrógeno mineral.** La actividad microbiana en los suelos volcánicos afecta de sobremanera las transformaciones del nitrógeno, esto a través de la materia orgánica y su

intervención en la regulación de los procesos de biodisponibilidad de este nutriente además de considerar que los suelos trumaos requieren de porcentajes mayores de nitrógeno total para producir la misma cantidad de nitrógeno disponible en comparación con otros suelos volcánicos (HAYNES, 1986; MATUS, 1988; SIERRA, 1985; TOSSO, 1985). Lo anterior se puede observar en la Figura 15, la cual nos muestra las tendencias del nitrógeno para los dos suelos a ambas profundidades de muestreo.



**Figura 15.** Evolución en el nitrógeno mineral para ambos suelos a través del tiempo según tipo de manejo en base a promedios anuales, a profundidades de muestreo de 0 – 10 cm y 10 – 20 cm.

Según el gráfico anterior se puede observar que existen dos tendencias en relación con la evolución del nitrógeno mineral en el tiempo para ambos suelos. Así, para el caso del suelo Osorno, los valores se mueven dentro de un rango acotado, observando que la tendencia de acumulación y desacumulación de nitrógeno en el perfil es más marcada en la profundidad de muestreo de 0 – 10 cm, que de 10 – 20 cm, lo que se puede relacionar con los valores de materia orgánica en profundidad. Esta figura además nos permite apreciar que los valores iniciales y finales de nitrógeno en el tiempo son similares, indicándonos que la acumulación obtenida por la pradera al cabo de 10 años es totalmente consumida por el cultivo. Esto nos estaría indicando que la pradera es el sistema acumulador de nutrientes por excelencia y que por el contrario, el cultivo consume las reservas que la pradera pudo adquirir para el suelo. Bibliografía consultada nos indica que existe una tendencia a la disminución del nitrógeno a medida que aumenta el uso del suelo, bajo el sistema de cultivo (BRADY y WEIL, 2000., ZAGAL *et al.*, 2002). Así mismo SIERRA (1985) nos señala que los residuos de pradera aportan el doble de nitrógeno que los residuos de cultivos, específicamente trigo, señalando que la mayor proporción de este aporte proviene de las raíces, con lo cual se explica que los mayores valores encontrados de este elemento sean en las muestras correspondientes a pradera.

Ahora bien, para el caso del suelo Los Lagos, se observa que el nitrógeno mineral sufre un fuerte incremento al pasar de pradera a cultivo. Lo anterior se debe a que el nitrógeno es un nutriente que se encuentra relacionado a la materia orgánica del suelo, por lo cual, al parecer, sigue la tendencia que ésta presenta, tanto a través del tiempo como en las distintas profundidades del perfil del suelo, obteniendo los valores más altos en superficie y los menores en profundidad. Además, la rotura de la pradera para el establecimiento de los cultivos deja disponible los residuos de materia

orgánica que se encontraban protegidos, aportando nitrógeno, especialmente en los primeros años (MIKHA y RICE, 2004).

El Cuadro 12 nos presenta los resultados de los análisis estadísticos, basados en análisis de varianzas (Anexos 27, 28, 29 y 30) para ambos suelos.

**CUADRO 12. Análisis de suelos Osorno y Los Lagos para nitrógeno entre tratamientos para ambas profundidades de muestreo a través del tiempo.**

<i>Tratamiento</i>	<i>Suelo Osorno</i>		<i>Suelo Los Lagos</i>	
	0-10cm	10-20cm	0-10cm	10-20cm
Nitrógeno mineral (mg / kg)				
Pradera	26,69 ± 1,92 a	17,59 ± 0,64 a	24,55 ± 1,27 b	15,84 ± 0,85 b
Cultivo	27,75 ± 2,66 a	20,31 ± 1,38 a	99,96 ± 6,10 a	73,97 ± 7,43 a

Letras distintas denotan diferencias altamente significativas (P< 0.01) prueba de Tukey (5%).

El cuadro anterior nos muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas (P-valor > 0.05) entre pradera y cultivo para el suelo Osorno. Esto se explicaría debido a que la variación anual de los manejos es inversa, donde presenta una tendencia acumulativa en el tiempo bajo el sistema de pradera y posterior a esto, al estar sometido al sistema de cultivo, dichos niveles de fertilidad alcanzados son utilizados, disminuyendo o desacumulándolos.

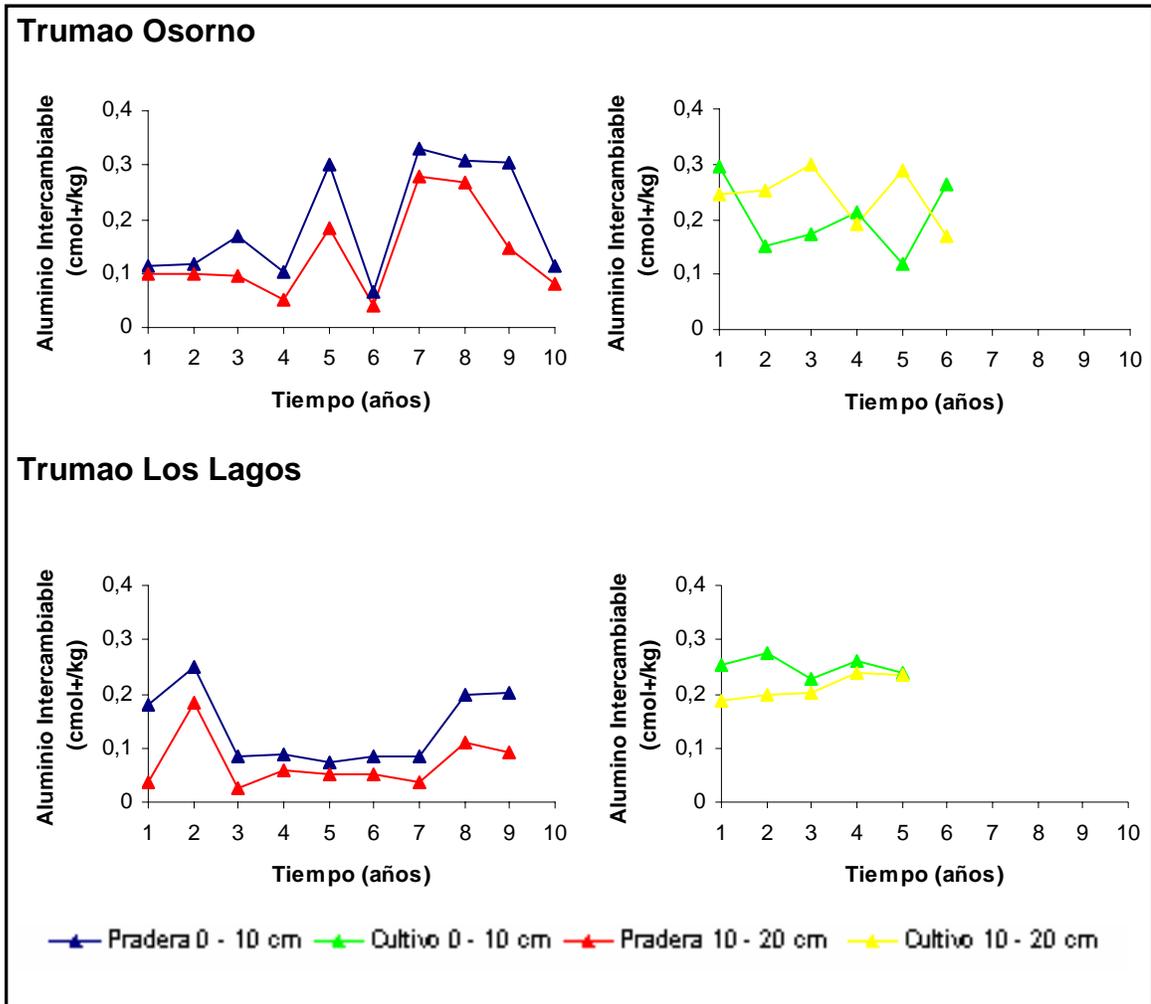
Ahora bien, para el caso del suelo Los Lagos, las diferencias estadísticas que se presentan son altamente significativas (P-valor < 0.01). En ambos casos la cantidad de nitrógeno presente para las dos profundidades de

muestreo (0 – 10 cm y 10 – 20 cm), arrojó que en pradera los valores son inferiores a los obtenidos en cultivo.

Para ambos casos se puede apreciar que los valores de nitrógeno mineral siguen una relación directa con los valores de materia orgánica obtenidos en las mismas muestras de suelo, siendo mayores en las muestras de cultivo y a una profundidad menor.

**4.3.4 Efecto del manejo a través del tiempo sobre el aluminio intercambiable.** El aluminio intercambiable tiene una incidencia directa sobre la fitotoxicidad en suelos ácidos, debido al efecto del  $Al^{+3}$  en pH bajos (ácidos). Este efecto se ve claramente influenciado por el manejo del suelo, debido a que la materia orgánica, con su poder tampón, favorece el aumento de pH por la liberación de las bases presentes en los residuos vegetales, principalmente Ca y Mg (CASTILLO *et al.*, 2001).

Para el caso específico del suelo Osorno, a una profundidad de muestreo de 0 – 10 cm, según se observa en la Figura 16, y apoyada en los resultados del Cuadro 13, basado en un análisis de varianza (Anexo 31), las muestras no presentan diferencias estadísticamente significativas ( $P$ -valor  $> 0.05$ ), siendo los valores de pradera y cultivo similares.



**Figura 16.** Evolución en el aluminio intercambiable para ambos suelos a través del tiempo según tipo de manejo en base a promedios anuales, a profundidades de muestreo de 0 – 10 cm y 10 – 20 cm.

**CUADRO 13. Análisis de suelos Osorno y Los Lagos para aluminio intercambiable entre tratamientos para ambas profundidades de muestreo a través del tiempo.**

<i>Tratamiento</i>	<i>Suelo Osorno</i>		<i>Suelo Los Lagos</i>	
	0-10cm	10-20cm	0-10cm	10-20cm
Aluminio intercambiable (cmol <sub>+</sub> / kg)				
Pradera	0,16 ± 0,02 a	0,11 ± 0,01 b *	0,14 ± 0,02 b **	0,07 ± 0,02 b **
Cultivo	0,19 ± 0,02 a	0,26 ± 0,02 a *	0,25 ± 0,01 a **	0,21 ± 0,01 a **

\* Letras distintas denotan diferencias significativas (P<0,05), prueba de Tukey (5%).

\*\* Letras distintas denotan diferencias altamente significativas (P< 0.01) prueba de Tukey (5%).

Por el contrario, para este mismo suelo pero para una profundidad de muestreo de 10 – 20 cm, los resultados expuestos en el mismo cuadro, fundamentados con un análisis de varianza (Anexo 32), nos indican que existe una diferencia estadística altamente significativa (P-valor < 0.01), en la cual el cultivo presenta un valor mayor que la pradera. La oscilación de estos valores es tan grande que hace que no exista tendencia alguna en ellos.

Para el suelo Los Lagos, a ambas profundidades de muestreo (0 – 10 cm y 10 – 20 cm), el Cuadro 13 nos muestran como los valores de aluminio intercambiable, según un análisis de varianza (Anexos 33 y 34), son mayores para cultivo en comparación con la pradera, siendo estas diferencias estadísticas altamente significativas para ambos casos (P-valor < 0.01). Esto último se ve reflejado en la Figura 16, donde los valores del cultivo son mayores y medianamente similares en el tiempo, a diferencia de la pradera, donde los valores son menores y con una mayor oscilación a través del tiempo. Esta menor cantidad de Al intercambiable no tendría relación con la materia orgánica

presente en este suelo, ya que ésta presenta los mayores valores en cultivo, por lo cual según CASTILLO *et al.* (2001), los valores de Al intercambiable deberían ser menores. Lo anterior nos permitiría observar que para este caso, en puntual los niveles de aluminio intercambiable tienen directa relación con los niveles de pH, ya que a mayores valores de Al intercambiable los valores de pH son más ácidos. Las praderas, por lo tanto, estarían favoreciendo la disminución del aluminio intercambiable y aumentando el pH, favoreciendo la disminución de la acidez y fitotoxicidad del aluminio.

## 5 CONCLUSIONES

La variable de suelo que estuvo más relacionada con el contenido de materia orgánica de los suelos es su contenido de aluminio extractable, sugiriendo que ésta se correlaciona más con el tipo y contenido de arcilla de los suelos volcánicos que otras variables evaluadas. De esta forma muestras de suelo con mayores niveles de aluminio extractable coincidieron con los valores más altos de materia orgánica. Como primera aproximación se señala que el contenido de Al extractable en suelos volcánicos explica hasta en un 64% su contenido de materia orgánica.

No se determinó una relación de los niveles de Al extractable y Al intercambiable para los suelos evaluados bajo los dos sistemas de manejo de residuos. Situación similar se obtuvo en la relación entre el Al intercambiable con los valores de materia orgánica. Existió además una relación entre Al intercambiable y los valores de pH de las muestras de suelo, lo que sugiere que la condición de acidez no explica la diferente acumulación de materia orgánica de los suelos.

Tampoco se determinó una relación estrecha entre el contenido de materia orgánica de las muestras de suelo y los valores de nitrógeno mineral, lo que sugiere que la mineralización del N mineral no está determinado directamente por el contenido de materia orgánica en los suelos volcánicos estudiados.

Al evaluar la variación del Al extractable y de la materia orgánica en las dos profundidades de muestreo evaluadas (0-10 cm y 10 a 20 cm) se determinó

una estrecha relación entre muestras de ambas profundidades lo que sugiere que ambas propiedades son mayoritariamente manejadas por las características del tipo de suelo, más que a otros factores analizados en este estudio. Esto fue corroborado por la falta de relación en parámetros más transitorios del suelo como el Al intercambiable y nitrógeno mineral, en que se encontraron valores erráticos a través del tiempo.

Al evaluar el efecto del historial de manejo de residuos (cantidad y calidad) el contenido de materia orgánica del suelo, se determinó que a mayor cantidad de años de pradera, la materia orgánica del suelo se incrementa y tiende a mantenerse en el tiempo, y que ésta tiende a decrecer con el incremento de años de cultivos sin ingreso de residuos.

La medición de carbono soluble realizada en este estudio no mostró una tendencia consistente con el historial de manejo tanto para pradera como para cultivo, por lo cual este no resultó ser un parámetro fiable para establecer las variaciones de materia orgánica descomponible en los suelos.

## 6 RESUMEN

Este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el rol que tienen las praderas en la restauración de la materia orgánica del suelo y como el manejo de cultivos, sin considerar una adecuada incorporación de residuos, disminuye el contenido de materia orgánica del suelo, determinando finalmente una menor fertilidad de éste. Para ello se colectaron muestras de 2 predios ubicados en 2 series de suelo trumao de la Región de Los Lagos: serie Osorno y serie Los Lagos. Los predios presentaron manejos desde 1 año de praderas hasta > 10 años de praderas permanentes y de 1 a 6 años de cultivos, mayoritariamente sin ingreso de residuos de cosecha.

Los resultados mostraron que la variable de suelo que estuvo más relacionada con el contenido de materia orgánica de los suelos es su contenido de Aluminio extractable, sugiriendo que la materia orgánica depende hasta en un 60% del tipo de arcilla presente en el suelo y solo en un 40% del historial de manejo de residuos.

No existió correlación entre el Al extractable y el Al intercambiable de los suelos bajo los dos sistemas de manejo ni tampoco entre el Al intercambiable y los contenidos de materia orgánica, lo que sugiere que la condición de acidez no explica en gran medida la acumulación de materia orgánica de los suelos.

Al evaluar el efecto del historial de manejo de residuos (calidad y cantidad) sobre el contenido de materia orgánica de los suelos, se determinó que a mayor cantidad de años de praderas la materia orgánica tiende a mantenerse en el tiempo y que tiende a decrecer con el aumento de años de cultivo sin ingreso de residuos.

## 7 SUMMARY

This thesis was made in order to evaluate how grassland affect soil organic matter restoration. Besides, another aspect to evaluate is how the management of crops decreases the quantity of soil organic matter when there is not a suitable incorporation of remains, which provokes that soil be less fertile. Thus, samples from two countries located in two series of trumao soil of Los Lagos area. (Osorno and Los Lagos series) were collected. Countries had permanent grassland management from one to ten years, and crops from one to six years; in most cases, without harvest remains.

Results showed that the quantity of extractable aluminium was the variable of the soil narrowly related to the content of soil organic matter. This means that organic matter depends on 60% the type of clay present in the soil, and 40% the historical of the remain management.

There was not correlation between extractable aluminium and interchangeable aluminium of soils exposed to both management systems, neither between interchangeable aluminium and organic matter contents, which it means that acidity condition can not explain by itself soil organic matter accumulation.

After evaluating the effect on the content of soil organic matter of the historical of remain management (quality and quantity), it was determined that organic matter tends to stay through time when grasslands have been remained for a long time. Besides, it was concluded that organic matter tends to decrease when the time of crops has been increased without adding residues.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- APEZTEGUIA, H. y SERENO, R. 2002. Influencia de los sistemas de labranza sobre la cantidad y calidad del carbono orgánico del suelo. Agricultura Técnica 62(3) 418 – 426.
- BARREIRA, E. 1978. Fundamentos de Edafología para la agricultura. Editorial hemisferio sur. Buenos Aires, Argentina. 154 p.
- BORIE, G., AGUILERA, S., PEIRANO, P. y CAIOZZI, M. 1995. Pool lábil de carbono en suelos volcánicos Chilenos. Agricultura Técnica 55 (3 – 4) 262 – 266.
- BORNEMISZA, E. 1982. Introducción a la química de suelos. Facultad de Agronomía. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 74 p.
- BRACK, A. y MENDIOLA, C. a. 2003. Ecología del Perú. El ciclo del Carbono. [http://www.peruecologico.com.pe/lib\\_c2\\_t10.htm](http://www.peruecologico.com.pe/lib_c2_t10.htm) 10 de Abril de 2004.
- BRADY, N. y WEIL, R. 2000. Elements of the nature and properties of soils. Prentice-Hall. Upper Saddle River, New Jersey, United States of America. 559 p.
- BUCKMAN, H. y BRADY, N. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. Editorial Hispano Americana. Barcelona, España. 590 p.

CASTILLO, A., De MICHAELLI, C. LEIVA, G y SUBOSKY, M. 2001. Influencia de enmiendas orgánicas sobre el aluminio de cambio y fósforo disponible en un Ultisol. Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE. Argentina.

CIENCIAS DE LA TIERRA Y MEDIO AMBIENTE. 2001. Ciclo del Carbono. <http://www.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/04Ecosis/131CicC.htm>  
10 de Abril de 2004.

DE WITT, C. y GOUDRIAAN, J. 1974. Simulation of ecological processes. Agricultural Systems.

DIAZ, A. 2006. Estudio de homogeneidad del suelo Osorno mediante la variabilidad del Aluminio extractable utilizando geoestadística. Tesis de Lic. en Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 76 p.

ESPINOSA, M. 1982. Efecto de temperatura y humedad del suelo sobre la degradación de la materia orgánica en un sector del secano interior de la región metropolitana. Tesis de Lic. en Agr. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. 104 p.

FASSBENDER, H. 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica. 398 p.

FASSBENDER, H. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Editorial IICA. San José. Costa Rica. 420p.

GANDULLO, J. 2000. Climatología y ciencia del suelo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid, España. 408 p.

- GARRIDO, E. 2005. Estudio de la capacidad de saturación de carbono en distintos grupos de suelos chilenos. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias.
- GRACE, P., OADES, J., KEITH, H. y HANCOCK, T. 1995. Trends in wheat yields and soils organic carbon in the permanent rotation trial at the Waite Agricultural Research Institute. South Australia Exp. Agric. 35: 857-564.
- HASSINK, J. 1997. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. Plant Soil 191: 77-87.
- HAYNES, R.J. 1986. Mineral nitrogen in the plant – soil system. Agricultural research division. Ministry of Agriculture and Fisheries. New Zealand.
- HAYNES, R.J. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pasturable soils in New Zealand. Soil Biology and Biochemistry 32: 211 – 219.
- HONORATO, R. 2000. Manual de Edafología. 4ª Edición. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 241 p.
- IBAÑEZ, S. y VIAL, L. 1971. Dinámica estacional actual y potencial del nitrógeno en dos suelos del valle central de Chile. Tesis de Lic. en Agr. Santiago. Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía. 74 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS NATURALES (IREN) – CORFO – UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE. 1978. Estudio de suelos de la provincia de Valdivia. Santiago, Chile. 178 p.

- KÖRSCHENS, M., WEIGEL, A. y SCHULZ, E. 1998. Turnover of Soil Organic Matter (SOM) and Long – Term Balances – tools for evaluating Productivity and Sustainability. Z. Pflanzen-ernähr. Bodenk. 161: 409 – 424.
- LENNTECH. 2002. Ciclo del Carbono. <http://www.lenntech.com/espanol/ciclo-carbono.htm> 17 de Abril de 2004.
- MATUS, F. 1988. Dinamica del nitrógeno en el suelo. Tesis de Magister en Ciencias Agropecuarias, mención Fertilidad de Suelos. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía. 57 p.
- MATUS, F. 1994. Crop residue decomposition, residual soil organic matter and nitrogen mineralization in arable soils with contrasting textures. 140p.
- MAYER, L. y XING, B. 2001. Organic matter – surface area relationships in acid soils. Soil Science Society of America Journal 65: 250 – 258 p.
- MENDOZA, J. 1999. Estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en un suelo sometido a distintos historiales de manejo. Una reevaluación metodológica. Tesis de Lic. en Agr. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 61 p.
- MIKHA, M. y RICE, C. 2004. Tillage and manure effects on soils and aggregate – associated carbon and nitrogen. Soil Science Society of America Journal 68: 809 – 816.
- MOORE, T. y TURUNEN, J. 2004. Carbon Accumulation and Storage in Mineral Subsoil beneath Peat. Soil Science Society of America Journal 68: 690 – 696.

- MORÓN, A. 1994. La materia orgánica del suelo en los sistemas productivos. Manejo y Fertilidad de suelos. INIA La Estanzuela. Uruguay. 98 p.
- PERCIVAL, H.J., PARFITT, R.L. y SCOTT, N.A. 2000. Factors controlling soil carbon levels in New Zealand grasslands: Is clay content important? Soil Science Society of America Journal 64: 1623 – 1630.
- PINOCHET, D., MENDOZA, J. y GALVIS, A. 2000. Potencial de mineralización de nitrógeno de un hapludand con distintos manejos agrícolas. Ciencia e Investigación Agraria. 27(2): 97 – 106.
- ROBINSON, G. 1960. Los suelos. Su origen, constitución y clasificación. Introducción a la edafología. Ediciones Omega. Barcelona, España. 515 p.
- RODRIGUEZ, J. 1993. La fertilización de los cultivos: un método racional. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. 291 p.
- ROJAS, C. 2005. Seminario “El carbón orgánico y su efecto en las características físicas, químicas y biológicas del suelo”. 10 de Noviembre de 2005. Santiago, Chile.
- SIERRA, C. 1985. Efecto del manejo de los suelos en la mineralización de nitrógeno. Tesis de Magister en Ciencias Agropecuarias, mención Fertilidad de Suelos. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía. 47 p.
- SIX, J., CONANT, R., PAUL, E. y PAUSTIAN, K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. Plant and Soil 241: 155-176.

- TOSSO, J. 1985. Suelos volcánicos de Chile. Ministerio de Agricultura. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago. 723 p.
- UNIVERSIDAD DE CHILE. 1991. Manejo de suelos en huertos frutales. Publicaciones misceláneas agrícolas n° 35. Santiago, Chile. 350 p.
- VALDÉS, M. 2003. Modelo de la simulación de la dinámica de la materia orgánica y de los macronutrientes en el suelo, frente a diferentes estrategias de rotación de cultivos. Tesis de Magíster en Ciencias Animales. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Santiago, Chile.
- VIDAL, J. 2003. Determinación de un índice de retención de S-sulfato agregado en grandes grupos de suelos agrícolas de Chile. Tesis de Lic. en Agr. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia, Chile. 61 p.
- VILCHE, M. S., ALZUGARAY, C. y MONTICO, S. 2002. Efecto de la labranza y duración de las praderas sobre la condición física de un suelo Argiudol Vertico de Argentina. Ciencia e Investigación Agraria 29 (3): 159 – 169.
- ZAGAL, E., RODRIGUEZ, N., VIDAL, I. y FLORES, B. 2002. La fracción liviana de la materia orgánica de un suelo volcánico bajo distintos manejos agronómicos como índice de cambios de la materia orgánica lábil. Agricultura Técnica 62(2): 284 – 296.
- ZOTARELLI, L., ALVES, B., URQUIAGA, S., TORRES, E., DOS SANTOS, H., PAUSTIAN, K. BODDEY, R. y SIX, J. 2005. Impact of tillage and crop rotation on aggregate – associated carbon in two oxisols. Soil Science Society of American Journal 69: 482 – 491.

## **ANEXOS**

**Anexo 1. Análisis químico de suelo trumao Osorno bajo sistema de pradera, a profundidad de muestreo de 0 – 10 cm.**

<i>Tiempo</i>	<i>Materia Orgánica (%)</i>	<i>Carbono Soluble (ppm)</i>	<i>Nitrógeno (mg / kg)</i>	<i>Aluminio Intercambiable (cmol<sup>+</sup> / kg)</i>	<i>Alumino Extractable (mg / kg)</i>	<i>pH Agua (1:2,5)</i>
Año 1	20,74	41	18,43	0,113	1209,2	5,83
Año 2	20,41	41	23,10	0,119	1277,6	5,83
Año 3	19,40	45	24,50	0,168	1318,7	5,67
Año 4	19,03	45	33,37	0,102	997,9	5,57
Año 5	18,02	45	34,07	0,302	1179,4	5,47

**Anexo 2. Análisis químico de suelo trumao Osorno bajo sistema de pradera, a profundidad de muestreo de 10 – 20 cm.**

<i>Tiempo</i>	<i>Materia Orgánica (%)</i>	<i>Carbono Soluble (ppm)</i>	<i>Nitrógeno (mg / kg)</i>	<i>Aluminio Intercambiable (cmol<sup>+</sup> / kg)</i>	<i>Alumino Extractable (mg / kg)</i>	<i>pH Agua (1:2,5)</i>
Año 1	20,05	29	17,27	0,097	1289,8	5,77
Año 2	19,17	29	14,70	0,100	1342,0	5,77
Año 3	18,07	29	18,20	0,095	1326,7	5,83
Año 4	16,51	37	20,53	0,053	1255,7	5,90
Año 5	17,20	45	17,27	0,185	1559,5	5,63

**Anexo 3. Análisis químico de suelo trumao Osorno bajo sistema de cultivo, a profundidad de muestreo de 0 – 10 cm.**

<i>Tiempo</i>	<i>Materia Orgánica (%)</i>	<i>Carbono Soluble (ppm)</i>	<i>Nitrógeno (mg / kg)</i>	<i>Aluminio Intercambiable (cmol<sup>+</sup> / kg)</i>	<i>Alumino Extractable (mg / kg)</i>	<i>pH Agua (1:2,5)</i>
Año 1	14,21	41	42,47	0,297	567,1	5,37
Año 2	11,77	54	36,40	0,151	456,7	5,32
Año 3	10,62	58	21,23	0,174	502,0	5,65
Año 4	10,25	58	20,10	0,211	1128,0	5,23
Año 5	10,48	54	18,53	0,119	280,59	5,57

**Anexo 4. Análisis químico de suelo trumao Osorno bajo sistema de cultivo, a profundidad de muestreo de 10 – 20 cm.**

<i>Tiempo</i>	<i>Materia Orgánica (%)</i>	<i>Carbono Soluble (ppm)</i>	<i>Nitrógeno (mg / kg)</i>	<i>Aluminio Intercambiable (cmol<sup>+</sup> / kg)</i>	<i>Alumino Extractable (mg / kg)</i>	<i>pH Agua (1:2,5)</i>
Año 1	11,31	54	25,20	0,244	691,4	5,51
Año 2	9,79	50	21,23	0,252	527,4	5,25
Año 3	8,60	54	25,90	0,298	577,9	5,42
Año 4	7,13	66	15,67	0,190	962,4	5,40
Año 5	7,63	54	13,53	0,290	393,2	5,37

**Anexo 5. Análisis químico de suelo trumao Los Lagos bajo sistema de pradera, a profundidad de muestreo de 0 – 10 cm.**

<i>Tiempo</i>	<i>Materia Orgánica (%)</i>	<i>Carbono Soluble (ppm)</i>	<i>Nitrógeno (mg/Kg)</i>	<i>Aluminio Intercambiable (cmol<sup>+</sup> / Kg)</i>	<i>Alumino Extractable (mg/Kg)</i>	<i>pH Agua (1:2,5)</i>
Año 1	12,00	50	30,10	0,181	1256,9	6,03
Año 2	15,82	58	21,00	0,251	953,8	5,80
Año 3	17,93	54	24,27	0,086	1132,9	5,86
Año 4	17,98	45	24,50	0,088	1105,5	5,86
Año 5	17,47	45	22,87	0,072	1075,5	5,47

**Anexo 6. Análisis químico de suelo trumao Los Lagos bajo sistema de pradera, a profundidad de muestreo de 10 – 20 cm.**

<i>Tiempo</i>	<i>Materia Orgánica (%)</i>	<i>Carbono Soluble (ppm)</i>	<i>Nitrógeno (mg / kg)</i>	<i>Aluminio Intercambiable (cmol<sup>+</sup> / kg)</i>	<i>Alumino Extractable (mg / kg)</i>	<i>pH Agua (1:2,5)</i>
Año 1	10,21	107	17,27	0,036	1354,6	6,16
Año 2	11,45	50	14,23	0,183	1146,1	5,80
Año 3	13,06	54	19,60	0,025	1515,5	6,14
Año 4	14,57	41	14,00	0,060	1568,6	5,90
Año 5	14,44	45	14,10	0,052	1436,7	5,53

**Anexo 7. Análisis químico de suelo trumao Los Lagos bajo sistema de cultivo, a profundidad de muestreo de 0 – 10 cm.**

<i>Tiempo</i>	<i>Materia Orgánica (%)</i>	<i>Carbono Soluble (ppm)</i>	<i>Nitrógeno (mg / kg)</i>	<i>Aluminio Intercambiable (cmol<sup>+</sup> / kg)</i>	<i>Alumino Extractable (mg / kg)</i>	<i>pH Agua (1:2,5)</i>
Año 1	24,05	78	68,83	0,255	2033,3	5,38
Año 2	21,10	78	106,87	0,277	2350,2	5,24
Año 3	20,97	58	91,93	0,227	1847,6	5,37
Año 4	21,47	54	106,40	0,260	1876,2	5,03
Año 5	22,71	62	125,77	0,239	1986,8	4,51

**Anexo 8. Análisis químico de suelo trumao Los Lagos bajo sistema de cultivo, a profundidad de muestreo de 10 – 20 cm.**

<i>Tiempo</i>	<i>Materia Orgánica (%)</i>	<i>Carbono Soluble (ppm)</i>	<i>Nitrógeno (mg / kg)</i>	<i>Aluminio Intercambiable (cmol<sup>+</sup> / kg)</i>	<i>Alumino Extractable (mg / kg)</i>	<i>pH Agua (1:2,5)</i>
Año 1	19,22	83	62,07	0,188	2188,8	5,49
Año 2	19,26	70	57,40	0,200	2146,3	5,25
Año 3	19,31	66	61,37	0,200	2209,2	5,40
Año 4	20,46	66	63,70	0,240	2260,8	5,23
Año 5	22,44	62	125,30	0,234	2091,4	4,60

**ANEXO 9. Análisis de varianza para relación entre el aluminio extractable y la materia orgánica presente en ambos suelos a una profundidad de 0 – 10 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	49	1,694e7	345773	2,52	0,058 NS
Dentro grupo	10	1,371e6	137111		
Total	59	1,831e7			

NS: No significativo.

**ANEXO 10. Análisis de varianza para relación entre el aluminio extractable y la materia orgánica presente en ambos suelos a una profundidad de 10 – 20 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	49	1,784e7	364078	1,92	0,132 NS
Dentro grupo	10	1,893e6	189256		
Total	59	1,973e7			

NS: No significativo.

**ANEXO 11. Análisis de varianza para relación entre el aluminio extractable y aluminio intercambiable presente en ambos suelos a una profundidad de 0 – 10 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	58	1,772e7	305655	0,52	0,829 NS
Dentro grupo	1	586011	586011		
Total	59	1,831e7			

NS: No significativo.

**ANEXO 12. Análisis de varianza para relación entre el aluminio extractable y aluminio intercambiable presente en ambos suelos a una profundidad de 10 – 20 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	54	1,881e7	348301	1,89	0,248 NS
Dentro grupo	5	923585	184717		
Total	59	1,973e7			

NS: No significativo

**ANEXO 13. Análisis de varianza para relación entre el aluminio intercambiable y la materia orgánica presente en ambos suelos a una profundidad de 0 – 10 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	49	0,364	0,007	2,87	0,038 *
Dentro grupo	10	0,026	0,003		
Total	59	0,390			

\* Significativo

**ANEXO 14. Análisis de varianza para relación entre el aluminio intercambiable y la materia orgánica presente en ambos suelos a una profundidad de 10 – 20 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	49	0,407	0,008	0,74	0,766 NS
Dentro grupo	10	0,118	0,011		
Total	59	0,525			

NS: No significativo.

**ANEXO 15. Análisis de varianza para relación entre el aluminio intercambiable y el pH presente en ambos suelos a una profundidad de 0 – 10 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	13	0,142	0,011	2,02	0,04 *
Dentro grupo	46	0,248	0,005		
Total	59	0,390			

\* Significativo

**ANEXO 16. Análisis de varianza para relación entre el aluminio intercambiable y el pH presente en ambos suelos a una profundidad de 10 – 20 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	15	0,300	0,020	4,01	0,0002 **
Dentro grupo	44	0,219	0,005		
Total	59	0,519			

\*\* Altamente significativo.

**ANEXO 17. Análisis de varianza para relación entre la materia orgánica y el nitrógeno mineral presente en ambos suelos a una profundidad de 0 – 10 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	47	896,612	19,077	1,17	0,407 NS
Dentro grupo	12	196,39	16,366		
Total	59	1093			

NS: No significativo.

**ANEXO 18. Análisis de varianza para relación entre la materia orgánica y el nitrógeno mineral presente en ambos suelos a una profundidad de 10 – 20 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	34	1039	30,581	2,63	0,007 **
Dentro grupo	25	291	11,647		
Total	59	1330			

\*\* Altamente significativo.

**ANEXO 19. Análisis de varianza para materia orgánica a través del tiempo en suelo trumao Osorno entre tratamientos, a una profundidad de 0 – 10 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	1	486,421	486,421	272,85	0,0000 **
Dentro grupo	28	49,917	1,782		
Total	29	536,339			

\*\* Altamente significativo.

**ANEXO 20. Análisis de varianza para materia orgánica a través del tiempo en suelo trumao Osorno entre tratamientos, a una profundidad de 10 – 20 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	1	650,536	650,536	275,10	0,0000 **
Dentro grupo	28	66,213	2,364		
Total	29	716,75			

\*\* Altamente significativo.

**ANEXO 21. Análisis de varianza para materia orgánica a través del tiempo en suelo trumao Los Lagos entre tratamientos, a una profundidad de 0 – 10 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	1	254,043	254,043	69,70	0,0000 **
Dentro grupo	28	102,052	3,644		
Total	29	356,095			

\*\* Altamente significativo.

**ANEXO 22. Análisis de varianza para materia orgánica a través del tiempo en suelo trumao Los Lagos entre tratamientos, a una profundidad de 10 – 20 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	1	410,7	410,7	149,28	0,0000 **
Dentro grupo	28	77,032	2,751		
Total	29	487,732			

\*\* Altamente significativo.

**ANEXO 23. Análisis de varianza para carbono soluble a través del tiempo en suelo trumao Osorno entre tratamientos, a una profundidad de 0 – 10 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	1	617,67	617,67	10,59	0,0030 **
Dentro grupo	28	1633,5	58,34		
Total	29	2251,17			

\*\* Altamente significativo.

**ANEXO 24. Análisis de varianza para carbono soluble a través del tiempo en suelo trumao Osorno entre tratamientos, a una profundidad de 10 – 20 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	1	3450,77	3450,77	33,80	0,0000 **
Dentro grupo	28	2858,62	102,09		
Total	29	6309,39			

\*\* Altamente significativo.

**ANEXO 25. Análisis de varianza para carbono soluble a través del tiempo en suelo trumao Los Lagos entre tratamientos, a una profundidad de 0 – 10 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	1	1842,79	1842,79	15,13	0,0006 **
Dentro grupo	28	3409,93	121,78		
Total	29	5252,72			

\*\* Altamente significativo.

**ANEXO 26. Análisis de varianza para carbono soluble a través del tiempo en suelo trumao Los Lagos entre tratamientos, a una profundidad de 10 – 20 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	1	735,07	735,07	0,50	0,486 NS
Dentro grupo	28	41348	1476,71		
Total	29	42083			

NS: No significativo.

**ANEXO 27. Análisis de varianza para nitrógeno a través del tiempo en suelo trumao Osorno entre tratamientos, a una profundidad de 0 – 10 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	1	8,321	8,321	0.10	0.7508 NS
Dentro grupo	28	2265,87	80,923		
Total	29	2274,19			

NS: No significativo.

**ANEXO 28. Análisis de varianza para nitrógeno a través del tiempo en suelo trumao Osorno entre tratamientos, a una profundidad de 10 – 20 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	1	55,216	55,21	3,17	0,0860 NS
Dentro grupo	28	488,199	17,435		
Total	29	543,415			

NS: No significativo.

**ANEXO 29. Análisis de varianza para nitrógeno a través del tiempo en suelo trumao Los Lagos entre tratamientos, a una profundidad de 0 – 10 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	1	42653,8	42653,8	146,30	0,0000**
Dentro grupo	28	8163,19	291,543		
Total	29	50817			

\*\* Altamente significativo.

**ANEXO 30. Análisis de varianza para nitrógeno a través del tiempo en suelo trumao Los Lagos entre tratamientos, a una profundidad de 10 – 20 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	1	25340,3	25340,3	60,45	0,0000**
Dentro grupo	28	11737	419,178		
Total	29	37077			

\*\* Altamente significativo.

**ANEXO 31. Análisis de varianza para aluminio intercambiable a través del tiempo en suelo trumao Osorno entre tratamientos, a una profundidad de 0 – 10 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	1	0,0066	0,0066	1,16	0,2905 NS
Dentro grupo	28	0,1599	0,0057		
Total	29	0,1666			

NS: No significativo.

**ANEXO 32. Análisis de varianza para aluminio intercambiable a través del tiempo en suelo trumao Osorno entre tratamientos, a una profundidad de 10 – 20 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	1	0,1653	0,1653	46,80	0,000 **
Dentro grupo	28	0,0989	0,0035		
Total	29	0,2642			

\*\* Altamente significativo.

**ANEXO 33. Análisis de varianza para aluminio intercambiable a través del tiempo en suelo trumao Los Lagos entre tratamientos, a una profundidad de 0 – 10 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	1	0,1011	0,1011	24,16	0,0000 **
Dentro grupo	28	0,1171	0,0041		
Total	29	0,2182			

\*\* Altamente significativo.

**ANEXO 34. Análisis de varianza para aluminio intercambiable a través del tiempo en suelo trumao Los Lagos entre tratamientos, a una profundidad de 10 – 20 cm.**

<i>Factor</i>	<i>g.l.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	1	0,1495	0,1495	50,73	0,0000 **
Dentro grupo	28	0,0825	0,0029		
Total	29	0,232			

\*\* Altamente significativo.