

**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVOLUCIÓN DE ENMIENDAS DE ALTA
RELACIÓN C/N EN EL SUELO E IMPACTO
SOBRE ARANDANOS TIPO HIGHBUSH EN
EL SUR DEL PAÍS**

por

Gustavo OLIVERA GONZÁLEZ

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2008**

Tesis aprobada por:

Director -----
Ing. Agr. MsC. Florencia Alliaume

Ing. Agr. PhD. Mercedes Arias

Ing. Agr. PhD. Fernando Carrau

Fecha: 19 / 12 / 2008

Autor: -----
Bach. Gustavo Olivera González

AGRADECIMIENTOS

Desde mi primer día de Facultad busque las palabras que puedan tener la suficiente grandeza como para expresar y describir mi mas enorme agradecimiento a dos Personas Maravillosas que con mucha Generosidad, Maña, Dedicación y Mucho Cariño hicieron posible que hoy esté obteniendo un título universitario; saben una cosa?, aún no las pude encontrar. Sin embargo ese sentimiento está y estará grabado en mí para siempre y lo llevaré el resto de mi vida como un gran aprendizaje.

Por eso, sin olvidarme de familiares y amigos; de mi querida Facultad de Agronomía representada en tantos compañeros y amigos, funcionarios docentes y no docentes que también me dieron una mano y tanto me enseñaron en el día a día, esta tesis esta dedicada por completo a mi hermana GABRIELA, PABLO Y LOS TRES PICHONES, mi Familia Adoptiva. Muchas Gracias....

Mi agradecimiento al Equipo de Investigación en Arándanos de Facultad de Agronomía por el constante apoyo recibido representado por Docentes y Ayudantes del Departamento de Suelos y Aguas y del Departamento de Producción Vegetal. De ellos además de la formación académica me llevo un enorme crecimiento personal, valorado en un compañerismo que no puedo expresar con palabras.

Mi especial reconocimiento al personal del Establecimiento y Vivero “Tranco Largo” por la invaluable colaboración en actividades de campo y cuidado del ensayo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	4
2.1 REQUERIMIENTOS EDÁFICOS PARA EL CRECIMIENTO DEL CULTIVO DE ARÁNDANO.....	4
2.1.1 <u>Acidez del suelo, disponibilidad de nutrientes y calidad del agua de riego</u>	5
2.1.2 <u>Contenido de materia orgánica</u>	6
2.1.3 <u>Densidad aparente, porosidad y drenaje interno</u>	6
2.1.4 <u>Conductividad eléctrica</u>	7
2.1.5 <u>Temperatura del suelo</u>	7
2.2 RESPUESTA DE LA ESPECIE AL ENMENDADO DEL SUELO Y USO DE MULCH.....	8
2.2.1 <u>Posible efecto alelopático de las enmiendas orgánicas</u>	11
2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DEL SUR DEL URUGUAY.....	12
2.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS DE RIEGO DEL SUR DEL URUGUAY.....	13
2.5 USO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS DE ALTA RELACIÓN C/N.....	14
2.5.1 <u>Mejora en las propiedades físicas de los suelos</u>	14
2.5.2 <u>Mejora en las propiedades químicas de los suelos</u>	16
2.6 MINERALIZACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS DE ALTA RELACIÓN C/N.....	17
2.6.1 <u>Microbiología asociada a la degradación de restos orgánicos</u>	17
2.6.2 <u>Relación C/N y degradación de residuos orgánicos</u>	19
2.6.3 <u>Degradación de residuos y su relación con la mineralización e inmovilización de nitrógeno</u>	19
2.6.4 <u>Mineralización de turba y residuos de pino y eucaliptos</u>	21
2.7 COMPONENTES DE RENDIMIENTO.....	23
2.7.1 <u>Cambios en los componentes del rendimiento promovidos por el agregado de enmiendas orgánicas</u>	24
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	26

3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES Y DISEÑO EXPERIMENTAL	26
3.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	27
3.2.1 <u>Descripción del suelo</u>	27
3.3 ENMIENDAS UTILIZADAS	29
3.4 SECUENCIA DE LABOREO E INCORPORACIÓN DE ENMIENDAS	31
3.5 MATERIAL VEGETAL UTILIZADO	31
3.6 METODOLOGÍA EMPLEADA	31
3.6.1 <u>Muestreo y análisis de carbono orgánico de suelo</u>	32
3.6.2 <u>Muestreo y análisis de nitrógeno orgánico de suelo</u>	32
3.6.3 <u>Muestreo y análisis foliar</u>	33
3.6.4 <u>Cosecha y crecimiento de plantas</u>	33
3.7 ANALISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS	34
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	35
4.1 EVOLUCIÓN DEL CARBONO TOTAL DEL SUELO	35
4.1.1 <u>Ejercicio teórico cuantificando la evolución del carbono incorporado</u>	35
4.1.2 <u>Evolución del carbono como producto de la aplicación de enmiendas</u>	37
4.1.3 <u>Evolución del carbono producto del uso de mulch</u>	42
4.2 CONTENIDO MINERAL DE NITRÓGENO EN EL SUELO...	44
4.2.1 <u>Contenido de nitrógeno mineral inicial y potencialmente mineralizable</u>	46
4.3 CONTENIDO DE NITRÓGENO FOLIAR	49
4.4 RENDIMIENTO A TERCERA HOJA	52
4.4.1 <u>Distribución de la cosecha y calidad de fruta</u>	54
4.5 CRECIMIENTO DE PLANTAS A TERCERA HOJA	56
5. <u>CONCLUSIONES</u>	58
5.1 LINEAS DE TRABAJO A FUTURO.....	59
6. <u>RESUMEN</u>	60
7. <u>SUMMARY</u>	61
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	62
9. ANEXOS.....	71

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1 Caracterización química y textural del suelo utilizado en el ensayo	28
2 Bases y suma de bases totales del suelo utilizado en el ensayo.....	28
3 Caracterización química y física de las enmiendas utilizadas.....	30
4 Porcentaje (tamaño de partícula) de las enmiendas utilizadas (mm)..	30
5 Carbono y nitrógeno aportado por las enmiendas en abril de 2005 y carbono aportado por los mulch orgánico en mayo 2007 (Mg.ha ⁻¹).....	31
6 Evolución del carbono orgánico total (%) en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N, desde 4 a 36 meses desde la incorporación.....	40
7 Evolución del carbono orgánico total (%) en camellones con diferentes mulch orgánicos y de nylon, 7 y 13 meses luego de la aplicación.....	42
8 Evolución del carbono orgánico total (%) en diferentes estratos de camellón, bajo diferentes mulch orgánicos y de nylon, 7 y 13 meses luego de la aplicación.....	44
9 Nitrógeno potencialmente mineralizable, Amonio y Nitrato en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N, a 4 meses de la incorporación.....	49
10 Contenido de macro nutrientes en hoja (base seca) en la variedad de arándano O'Neal (tercera hoja), creciendo en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N.....	50

11 Rendimiento de la variedad de arándano O' Neal (tercera hoja), creciendo en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N.....	53
12 Proyección del rendimiento de la variedad de arándano O'Neal (cuarta hoja), creciendo en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N.....	54
13 Intervalos de confianza para los parámetros del modelo logístico estimado, para la distribución de la segunda cosecha de la variedad de arándano O'Neal, creciendo en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N.....	55
14 Incremento en largo de plantas a tercera hoja de la variedad de arándanos O'Neal (2007-2008), creciendo en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N.....	57

Figura No.

1 Evolución del contenido de carbono total (%) en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N.....	38
2 Tasas de oxidación del carbono en camellones a partir del cuarto mes de incorporar enmiendas de alta relación C/N al suelo.....	41
3 Proporción de número de frutos acumulados durante la cosecha a tercera hoja de la variedad O'Neal, creciendo en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N.....	55

Foto No.

1 Perfil del suelo utilizado, Brunosol Eutrúico Lúvico.....	29
---	----

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo de tesis se ha desarrollado en el marco curricular del Ciclo de Profundización y Síntesis de la Carrera de Ingeniería Agronómica, dictada en la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República. El mismo es presentado como uno de los requisitos necesarios para obtener el título de Ingeniero Agrónomo.

Esta tesis se desarrolló dentro de un proyecto de investigación financiado por la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) en su modalidad CSIC - Sector Productivo, a través del cual fue financiado dicho proyecto. Este fue llevado adelante por un equipo multidisciplinario perteneciente a los Departamentos de Suelos y Aguas y Producción Vegetal de la Facultad de Agronomía. Tiene como objetivo general generar información que apunte a dar respuesta a algunas de las limitantes edafológicas en el establecimiento de la producción de arándanos en el país.

En los últimos años el cultivo de arándano, especie del género *Vaccinium* spp. ha tenido un importante desarrollo en el país, de 4 hectáreas que ocupaba en el año 2000, pasó a ocupar más de 600 hectáreas en la actualidad. La mayor parte de los emprendimientos tiene menos de 3 años de edad (URUGUAY. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY, s. f.). Según este informe las plantaciones de la zona sur del país (Canelones, Montevideo, Maldonado, San José) comprenden el 33% del área total y el 70% de los productores, siendo esta la zona donde se ha desarrollado este trabajo de tesis. Un relevamiento privado más reciente informa que a septiembre del 2008 el cultivo ocupa 858 hectáreas (Belloso y Bolla, 2008).

A nivel mundial el mayor productor de arándanos es América del Norte (EEUU y Canadá) donde se cosecha aproximadamente el 85 % del total producido, seguido por la Unión Europea donde se cosecha el 12 %. La producción mundial total de esta fruta ha tenido un incremento en el orden de un 13 % desde el año 1999 hasta el año 2003, alcanzando en ese año un total de 240000 toneladas (URUGUAY. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA, s.f.).

El cultivo es una alternativa de producción con alta rentabilidad por hectárea porque es producido en contra estación en un momento de demanda insatisfecha y de altos precios por kilo de fruta en el hemisferio norte. Esto explica el rápido crecimiento del cultivo en Uruguay. América del Norte a pesar de ser el mayor productor mundial de arándanos es, al mismo tiempo, el mayor importador de fruta fresca tanto en su zafra como en contra estación, representando el 75 % de las importaciones. Otros mercados demandantes del producto son el Reino Unido, Canadá y Japón además de otros países europeos (URUGUAY. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA, s.f.).

Se estima que Uruguay tendrá una oferta exportable de casi 3000 toneladas de arándanos en el año 2009 y en el entorno de 4500 toneladas en el año 2010 (URUGUAY.

PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY, s. f.). Bajo el marco de plantación más utilizado (3m x 1m), se espera un rendimiento de 2,5 Kg por planta en plena producción, donde se alcanzaría según la misma fuente, una producción por encima de 8Mg.ha⁻¹.

Desde el punto de vista tecnológico el cultivo trae consigo un paquete de manejo aplicado en países con larga experiencia en el rubro pero con condiciones agro climáticas diferentes. Estas tecnologías foráneas sirven de guía para los principales manejos y opciones tecnológicas a adoptar, deben ser ajustadas a las condiciones productivas del Uruguay con el apoyo de investigación nacional (Belloso y Bolla, 2008).

En este sentido el crecimiento del rubro en el país es acompañado de un fuerte desarrollo en líneas de investigación llevada adelante por organismos públicos como Facultad de Agronomía, MGAP e INIA apuntando a ajustar el manejo y resolver las principales limitantes tecnológicas para la realidad productiva del medio, limitantes para el mercado externo, siendo esta investigación apoyada por el sector productivo en algunos casos (Belloso y Bolla, 2008).

La Facultad de Agronomía se ha enfocado hasta el momento en evaluar y caracterizar el comportamiento fenológico y productivo de siete variedades tipo Highbush, evaluación de diferentes residuos orgánicos disponibles en el país incorporados al suelo como enmiendas, manejo fisiológico de la endodormición de la especie, influencia y manejo de la polinización, descripción de las principales enfermedades y plagas encontradas sobre el cultivo en Uruguay y algunas evaluaciones del manejo y aptitud en post cosecha. El desarrollo de estas líneas de trabajo ha sido tan dinámico, que en algunas temáticas ya existen egresados de Facultad de Agronomía, cuyo trabajo final ha sido en el manejo de esta especie.

Particularmente, las condiciones edáficas en el sur del país, presentan limitantes para el óptimo desarrollo de la especie, debido a su drenaje moderado, pH mas elevado que el deseable para la especie y grado de degradación, asociado a baja materia orgánica y compactación de horizontes superficiales¹. A estas características se suma la presencia de un alto contenido de arcilla en horizontes superficiales (Durán, 1991), todas estas condiciones son limitantes para un óptimo desarrollo de la especie (Krewer y Ruter, 2005).

Comercialmente en el Uruguay se agregan entre 200m³ y 300m³.ha⁻¹ de residuos orgánicos disponibles en el país (chip de pino, aserrín de pino, cáscara de arroz y a partir de los resultados de éste proyecto aserrín de diferentes especies de eucaliptos),

¹ Alliaume, F.; Olivera, G.; Franco, J.; Arias, M. 2007. Organic matter amendments to a silt loam and a loam soil on O'Neal blueberry orchards in south Uruguay (en prensa).

apuntando fundamentalmente a mejorar las condiciones físicas de los suelos (descenso de la densidad aparente y aumento de la macro porosidad) lo que mejoraría la instalación y desarrollo del cultivo¹.

La aplicación de materiales orgánicos con el objetivo antes mencionado encarece el costo de instalación del cultivo, a mayores volúmenes aplicados, mayores son los costos de instalación por unidad de superficie. Un análisis económico hecho por Monteiro (2005) establece que la enmienda y el mulch (ambos materiales orgánicos) aplicados al suelo son aproximadamente el 7% del costo total de instalación. Sumándole a esto al resto de las labores de preparación de suelo incluyendo la aplicación de ese material, sin tomar en cuenta las fertilizaciones de fondo realizadas, los costos ascienden a un 10,1% aproximadamente del costo total del cultivo en nuestro país al momento de la instalación. Sin embargo técnicos del sector afirman que los costos de enmendado de suelo ascienden al 20% del costo de instalación del cultivo², estos materiales dejaron de ser desechos de aserraderos y arroceras para pasar a ser subproductos. Puntualmente en el caso de cáscara de arroz y de residuos forestales además de su uso en el cultivo de arándanos y los costos de flete para el traslado, el sector compite con su uso como fuente de energía para la industria y la matriz energética uruguaya, a partir de cambios en leyes energéticas, que a priori pueden impulsar al alza su costo (Riet, 2008).

Por lo expuesto anteriormente, este trabajo tiene como objetivo específico evaluar el efecto del agregado de diferentes enmiendas orgánicas de alta relación C/N en el comportamiento del sustrato generado y la instalación de la variedad O'Neal. El estudio se llevó a cabo en el sur del país, sobre suelos de texturas finas, aplicándose enmiendas orgánicas en alto volumen durante el proceso de armado de camellones y previo a la implantación.

Se estudia puntualmente el impacto de estas aplicaciones sobre el contenido de carbono orgánico de suelo (%MO), su evolución en el tiempo y los factores que afectan su mineralización como la disponibilidad de nitrógeno para esta actividad. Fueron también analizados los contenidos de nitrógeno foliar y nitrógeno total de suelo para la comprensión de los resultados.

El efecto del manejo de suelo es observado a nivel de plantas registrándose a tal efecto el crecimiento y rendimiento a tercera hoja (segunda cosecha) de la variedad O'Neal (*Vaccinium corymbosum* L. Hybrids), cultivar que al momento de inicio (año 2005) del proyecto antes mencionado, representaba más del 60% del área cultivada del país (URUGUAY. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY, s. f.).

² Carrau, F. 2008 Com. personal.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 REQUERIMIENTOS EDÁFICOS PARA EL CRECIMIENTO DEL CULTIVO DE ARÁNDANO

En ese sentido se destaca que algunos arándanos son originarios de sotobosques templados, poseen un sistema radicular superficial presentando raíces fibrosas finas, carente de pelos radicales (Cain y Eck 1966, Gough 1980, Eck 1988, Malik y Cawthon 1998), por lo que la especie requiere suelos porosos. Cain y Eck (1966) describen que en su hábitat natural el arándano tipo Highbush crece en suelos con humus o turba de pantanos y en los bordes de estos, encontrándose en ellos buena estructura, baja acidez y disponibilidad de agua.

Diversos autores reportan que el mejor tipo de suelo para el cultivo de arándano (*Vaccinium spp.*) es aquel que drene completamente los excesos hídricos a través de los macroporos y presente suficiente humedad durante meses de verano como para promover el buen crecimiento de las plantas. Estas propiedades están asociadas a buena estructura y agregación, condiciones que presentan una correlación positiva con el contenido de carbono (%MO) en el suelo y negativa con la densidad aparente. Los arándanos tienen sistema radical superficial presentando buen desarrollo en suelos bien aireados y drenados (Eck y Childers, 1966).

En este sentido hay autores que sugieren que los mejores suelos para el óptimo crecimiento de la especie son los de texturas limo arenosas a arenosas, ya que en general tienen buena capacidad de infiltración de agua, moderada capacidad de retención de agua, y un buen drenaje interno (Chrisopher y Shutak 1947, Spiers 1986, Krewer y Ruter 2005). Otros autores son más específicos en la clase textural mas optima, considerando como buenos suelos los franco arenosos, de textura gruesa, pH de 4.2 y 5.5, y humedad moderada y permanente (Korcak 1988, Galleta y Himelrick 1990).

La basta bibliografía que estudia los requerimientos de suelos que presenta la especie, hace referencia a requerimientos edáficos específicos, como rangos de pH, conductividad eléctrica (CE), contenido de MO. Algunos autores hacen mención a las temperaturas ideales de suelo durante la temporada de crecimiento para su óptimo desarrollo. Todas estas variables están interrelacionadas, y de su combinación, deriva en un mejor o peor medio de crecimiento para la especie. La bibliografía también aborda los efectos biológicos del desarrollo de la especie estudiando las asociaciones que el cultivo presenta con micorrizas nativas del suelo.

2.1.1 Acidez del suelo, disponibilidad de nutrientes y calidad del agua de riego

En cuanto a nivel de actividad de hidrógeno en el suelo (pH) la bibliografía internacional es concluyente y extensa, indicando que los arándanos requieren suelos ácidos para su óptimo desarrollo.

Para los arándanos tipo Highbush, se describe que estos crecen satisfactoriamente en rangos de pH entre 4 y 5,2 (Harmer, 1944), pero entre diferentes autores se observan variaciones en el rango óptimo de crecimiento. Merrill (1944) acota al mismo entre 4,5 y 4,8, pudiendo crecer hasta 3,8 y se observan efectos adversos por debajo de 3,4. En el mismo sentido Austin y Bondari (1992) sostienen que el rango de acidez óptimo para el crecimiento de la especie entre 4,5 y 5,3, coincidiendo prácticamente con lo reportado por Rieger (1999) para arándanos tipo Rabbiteye (*Vaccinium ashei* Reade), también miembros de la familia Ericaceae, donde subraya que estos son una especie frutal que requiere suelos ácidos en rangos de 4,5 a 5,2.

Coincidiendo con los autores anteriores Haynes y Swift (1986) reportan que el arándano tiene un pH óptimo de crecimiento de entre 4,5 y 5,5, señalando que el uso de enmiendas como corteza de pino la cual presenta naturalmente rangos de pH entre 4 y 5, puede ser un material ideal para el crecimiento de arándanos (Krewer y Ruter, 2005).

En cuanto a la disponibilidad de nutrientes Brown y Draper (1980) afirman que a pH alto disminuye la eficiencia de la especie en el uso de Fe, por lo que la acidez del suelo es el principal factor limitante para su óptimo crecimiento. El pH alto induce deficiencias de otros micronutrientes como Mn, Zn o Cu y limita el crecimiento (Haynes y Swift, 1986). Sin embargo, se reporta que los arándanos, miembros de la familia Ericaceae, necesitan de una mínima fertilización para su óptimo crecimiento (Spiers y Braswell, 1986).

Contrariamente Ferreira et al. (2001) reportan que los tratamientos de riego con aguas de pH entre 2 y 7,8 no afectaron significativamente los niveles foliares de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Na y Cl. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Spiers (1983) que trabajó con arándanos cultivados en soluciones nutritivas de pH entre 3,5 y 7,5 y con los de Austin et al. (1986), en arándanos cultivados en suelos con rangos de pH entre 5,1 y 6,9.

Por otro lado altos rendimientos y tamaño de fruto grande tiene correlación positiva con altos contenidos foliares de calcio, mientras que la reducción del tamaño de fruto tiene correlación negativa con altos contenidos foliares de nitrógeno (Towsend, 1973). Es por esto que los arándanos se desarrollan mejor en suelos lixiviados, de baja saturación en bases, de texturas pobres en arcilla, poco fértiles, característicos de los suelos de los bosques donde se desarrollan con formación de ácidos húmicos (Ciesielska y Malusá, 2000).

Sin embargo el número de renuevos por planta, el diámetro de la cubierta vegetal, la altura de la planta y el diámetro máximo de los tallos y de los renuevos, en parcelas regadas con agua de pH 2 en el trabajo de Ferreira et al. (2001), fueron significativamente superiores al resto de los tratamientos con pH de agua de riego mayores a 2 y hasta 7,8. Estos resultados revelan que el continuo rejuvenecimiento de la planta a través de los brotes de corona, depende entre otros factores de cuan ácido este el suelo.

2.1.2 Contenido de materia orgánica

Arándanos Southern Highbush requieren mas de 2% de materia orgánica (MO) respecto contenido de carbono del suelo (Lyrene, 1990), hasta tenores de 20- 50% materia orgánica para su óptimo desarrollo (Bell y Johnston 1962, Rieger 1999), aunque a menudo se cultiva con éxito en suelos con bajos contenidos de MO (Cumings et al., 1981).

Para la mayoría de los sistemas radicales de arándanos tipo Lowbush, miembros de la familia Ericaceae se observa por Trevett (1956) un buen crecimiento en suelos con una capa orgánica superficial y con poca o escasa exploración en profundidad.

Otros trabajos describen que la mayor parte del desarrollo de raíces se da dentro de los 12cm de profundidad que ocupa el mulch, siendo prácticamente nulo el desarrollo en el suelo por debajo de este material (Kender y Eggert 1966, Wu 2004).

2.1.3 Densidad aparente, porosidad y drenaje interno

En plantaciones comerciales el crecimiento puede estar restringido por la porosidad del suelo, asociado a una alta densidad aparente y bajo contenido de macroporos, . Esto es debido a que la especie requiere para su correcto desarrollo, suelos con buen drenaje y fácil exploración (Eck 1988, Eck et al. 1990). El valor de densidad aparente de un suelo va a ser mas bajo cuanto mayor sea el contenido de carbono en el suelo (Eck 1990, Brady y Weil 2002, Rivenshield y Bassuk 2007, Durán y García 2007).

Las características del sistema radical ya descrito explican porqué es un cultivo tan sensible a la mala aireación del suelo. Por lo mismo, los arándanos no sobreviven a sequías prolongadas, del mismo modo que no toleran excesos hídricos en el suelo donde se desarrollan, siendo el periodo de sobre vivencia muy corto (Cain y Eck, 1966). Krewer y Ruter (2005) reportan que los arándanos tipo Highbush pueden tolerar hasta un máximo de 4 días con suelo saturado durante el invierno, y 1 día durante primavera u otoño, donde el nivel metabólico en toda la planta es mayor.

En condiciones de mal drenaje, el exceso de agua libre puede conducir a la reducción y acumulación de compuestos como el sulfuro y óxidos ferrosos que pueden ser

perjudiciales para el crecimiento de las plantas de arándanos (Krewer y Ruter, 2005). A su vez estas condiciones favorecen el desarrollo de enfermedades como *Phytophthora spp.*, que ocasionan la podredumbre de las raíces y posterior muerte de la planta.

2.1.4 Conductividad eléctrica

Esta variable refleja de manera fiel el contenido de sales que un suelo puede tener, las cuales influyen en la absorción de agua y nutrientes, pudiendo llegar a niveles de toxicidad a nivel de tejido (Ferreira et al., 2001). Puntualmente para arándanos tipo Rabbitteye, los autores señalan que la especie no cuenta con mecanismos para regular la absorción de sodio, por los altos contenidos foliares encontrados de este elemento al ser irrigados con agua rica en esta sal.

En este sentido Berkheimer y Hanson (2006) trabajando con arándanos tipo Highbush subrayan que los altos niveles de sales acumulados en el suelo provocan muerte de plantas y disminuciones del crecimiento; reportando que los daños disminuyen a medida que los niveles de acumulación de sal disminuyen.

Por lo expuesto anteriormente la acumulación de sales en el suelo y en los diferentes tejidos y órganos de la planta deja a la especie mas sensible al frío invernal, observándose mayor muerte de yemas florales (Rosen y Eliason, 2005). Estos autores afirman que los arándanos no toleran conductividades eléctricas de suelo por encima de $2\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ y que las sales inducen clorosis férrica y posterior muerte de plantas, efecto que se evidencia en parcelas bajo riego con aguas con altos contenidos de sodio y carbonatos sin mulch orgánico (Patten et al., 1988). Este hecho ocurre porque al no existir mulch, hay mayor evaporación superficial de agua de riego y por lo tanto hay aumento de la concentración de sales en torno a las raíces, las cuales son superficiales. En nuestro país, se ha observado en otros cultivos que el mismo fenómeno de concentración de sales ocurre al utilizar mulch de nylon, al no permitir el lavado de las mismas, lo que se debe tener en cuenta si se tiene agua de riego con moderada concentración de sales³.

2.1.5 Temperatura del suelo

En la bibliografía referida al cultivo de arándanos tipo Highbush, esta variable no es plenamente considerada. Sin embargo Spiers (1995), trabajando con plantas de este grupo y tipo Rabbitteye reporta que el crecimiento de raíces y los mayores flujos de crecimiento se dan a temperaturas de sustratos en el entorno de 16°C , las cuales son favorecidas por el uso de mulch. Según el autor esta práctica cultural promueve menores temperaturas del suelo durante el verano lo que favorece el crecimiento de raíces. Se

³ Zamalvide, P. 2005 Com. personal.

podría asumir esta información como la temperatura ideal de suelo para un óptimo desarrollo de la especie.

2.2 RESPUESTA DE LA ESPECIE AL ENMENDADO DEL SUELO Y USO DE MULCH

Cuando se hace referencia al término “enmienda” se esta hablando de aquellos materiales de origen orgánico e inorgánico que son aplicados al suelo en altas dosis y o volúmenes con objetivo de mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas para un mejor crecimiento de los cultivos (Perdomo y Barbazán, 1999). Puntualmente las enmiendas orgánicas se refieren a aquellos productos o residuos de origen animal o vegetal que se agregan al suelo para mejorar las propiedades físicas o para aportar nutrientes (Perdomo y Barbazán, 1999).

Con respecto al enmendado de suelo con materiales orgánicos para la implantación del cultivo se destaca que existen principalmente dos enfoques académicos en la literatura que trata el tema respecto a su rol en la respuesta del crecimiento de las plantas. Algunos autores centran sus esfuerzos en el estudio de los efectos sobre la respuesta del cultivo la cual es explicada por la mejora en las condiciones físicas y otros investigadores se focalizan en el estudio de la mejora de las condiciones químicas del suelo. Varios trabajos apuntan a evaluar estas prácticas de manejo de suelo con el objetivo de promover un efecto en las propiedades o características del suelo antes mencionadas, pero otra línea de investigación focaliza en los efectos biológicos del enmendado, fundamentalmente en la asociación simbiótica con micorrizas que presenta la especie.

El uso de materiales orgánicos mezclados en el hoyo de plantación o aplicados como enmienda en todo el camellón previo a la implantación es una practica frecuente en varias partes del mundo y también en nuestras condiciones de producción. Sin embargo Spiers (1986) destaca que el mulch promueve una mejor distribución de raíces mientras que la aplicación puntual en el hoyo de plantación genera un mayor desarrollo de raíces en el entorno de la corona. Estos incrementan el contenido de materia orgánica del suelo, mejoran la aireación y la disponibilidad de agua en el entorno de las raíces (Spiers y Braswell, 1986). Se ha reportado que con el agregado de enmiendas orgánicas en suelos minerales, se mejora la implantación del cultivo (Spiers 1982, Pliszka et al. 1993).

Cultivos de arándanos Highbush de 7 a 13 años de edad creciendo en un medio de excelentes condiciones, desarrolló raíces hasta 0.8m de profundidad y a 1.83m desde la corona, concentrándose en el entorno de los 60cm de profundidad entre el 85% y el 100% del sistema radicular y entre el 94% y 100% del mismo a los 61cm de distancia de la corona (Goug, 1980). Este hecho resalta la importancia de la preparación del medio de crecimiento para un óptimo desarrollo de la especie por el potencial mostrado por el cultivo.

Numerosos trabajos han demostrado los efectos beneficiosos del uso de enmiendas y o mulch orgánicos para el crecimiento y producción de la especie. En tal sentido se ha comprobado que el enmendado con materia orgánica preplantación tiene un efecto positivo en el crecimiento de plantas de arándano variedad Eliot (Yang et al., 2002). El uso de materiales orgánicos como turba y aserrín utilizados como mulch o enmienda es recomendado para la producción de arándanos en suelos minerales (Yang, 2004). Varios cultivares evaluados por Lareau (1989) presentan buen desempeño cuando crecen en camellones enmendados con aserrín y mulch de aserrín, riego por goteo y aplicaciones anuales de azufre elemental, observación compartida con Weber (1978), Spiers (1986).

Plantas creciendo en suelos enmendados con restos forestales compuestos mayormente de asículas de pino presentan alta producción de materia seca con respecto a aquellas donde el suelo fue enmendado con aserrín u otros materiales o en comparación con suelo no enmendado (Yang et al., 2002). Estos autores destacan que las diferencias en la relación C/N de cada material utilizado puede ser el factor responsable de las diferencias en el crecimiento obtenido, meter relaciones.

Una promoción del crecimiento por la mejora de las propiedades físicas, al usar como enmiendas turba y corteza de pino fue observada por Haynes y Swift (1986). El tratamiento con corteza de pino mezclado con azufre elemental presenta mayor crecimiento y rendimiento que para la corteza sola. Los autores concluyen que el agregado de materiales orgánicos mezclados con un agente acidificante en el hoyo de plantación, mejoran el crecimiento y rendimiento de arándanos en suelos minerales. Se destaca además que la adición de materiales orgánicos y azufre elemental en el hoyo de plantación puede adelantar el crecimiento y en consecuencia adelantar la producción de arándanos en suelos minerales.

Adicionalmente, el uso de riego por goteo aumenta el peso seco de plantas tipo RabiMgeye y aumenta la sobrevivencia de 50% a 83% en los dos primeros años de crecimiento (Spiers, 1980), demostrando la necesidad del cultivo de contar con suministro continuo de agua. Esta práctica es complementada por otras prácticas culturales como el mulch de corteza de pino o de enmiendas como turba (Spiers, 1983).

El crecimiento y rendimiento de la variedad Bluecrop del grupo Highbush fue incrementado con la adición de enmiendas de relación C/N > 20 mezcladas en el hoyo de plantación en un suelo mineral, en el siguiente orden de enmiendas: corteza de pino + S elemental > corteza de pino > turba > S elemental > testigo (Haynes y Swift, 1986). En este sentido la turba es recomendada para el establecimiento de arándanos como enmienda orgánica superando las deficiencias de la materia orgánica del suelo (Kramer et al. 1941, Griggs y Rollins 1947, Anderson y Blake 1951, Yang 2004). Evaluando la misma variedad en plantas creciendo con diferentes enmiendas donde se midió altura y expansión horizontal, peso seco de 100 hojas y peso seco de raíces, Wu et al. (2004), concluye ordenando las enmiendas de mayor a menor potencial como medio de

crecimiento a la turba, corteza de pino, aserrín de pino y testigo. Cumrings et al. (1981) reporta que a igual condición de pH de suelo los tratamientos con aserrín de pino presentan un rendimiento de hasta dos veces más respecto a los tratamientos con azufre elemental.

En consonancia con todos estos resultados Williamson y Miller (2005) encuentran respuesta a la fertilización nitrogenada en camas de corteza de pino durante la estación de crecimiento para los cultivares Mysty y Star, ambos pertenecientes al grupo Highbush. Describen que la mayor parte del desarrollo de raíces se da dentro de los 12cm de profundidad que ocupa el mulch, siendo prácticamente nulo el desarrollo en el suelo por debajo de este material, observación que confirman técnicos y productores de nuestro medio y otros autores (Kender y Eggert 1966, Wu 2004).

Sin embargo Odneal y Kaps (1990), al comparar rendimientos y tamaño de fruto en plantas bajo tratamientos con corteza de pino y turba aplicadas en el hoyo de plantación no observaron diferencias estadísticamente significativas, pero hubo tendencias a mayores alturas, largo total y mayor rendimiento en el tratamiento con corteza de pino. A nivel nacional se ha reportado que no existen diferencias significativas en el rendimiento a segunda hoja de la variedad O'Neal (*Vaccinium corymbosum* L. Hybrids), utilizando dosis de 240 y 360m³ ha⁻¹ de enmienda, pero sí una tendencia a mayores rendimientos en parcelas enmendadas vs. no enmendadas, destacando que se debe esperar la evolución de estos resultados en sucesivas temporadas de crecimiento¹.

Kender y Eggert (1966), trabajando con plantas de arándano tipo Lowbush sugieren que es mejor para el desarrollo del cultivo el aserrín aplicado en forma de mulch que aplicado en forma homogénea con el suelo. Sin embargo no encontraron esa diferencia cuando utilizaron turba. Encuentran una mayor respuesta a la materia orgánica aplicada como mulch a medida que pasa el tiempo desde la primera aplicación, hecho que puede estar relacionado con la disponibilidad de nitrógeno o con la mejora de las condiciones químicas para el cultivo.

Los mismos autores señalan que un mayor número de raíces y largo de raíces en suelos con mulch que sin mulch independientemente si es turba o aserrín. Describen que las raíces se desarrollan y concentran totalmente por encima del suelo cuando las plantas son implantadas con mulch y que aquellas que crecen en suelos sin mulch desarrollan raíces más profundamente. Concluyen que el menor número de tallos que presentan las plantas sin mulch puede ser resultado de la formación de coronas que sean incapaces de desarrollar nuevos brotes, hecho que puede llevar a un rápido envejecimiento del cultivo por no tener renuevos.

2.2.1 Posible efecto alelopático de las enmiendas orgánicas

Un efecto no menos importante y poco estudiado, son los efectos alelopáticos que pueden presentar sobre el crecimiento del cultivo de arándano, enmiendas o mulch cuyo material provenga de *Eucalyptus spp.* En este sentido se destaca que en otros países con mayor disponibilidad de otros residuos o turba, el tema no es relevante, sin embargo, en nuestras condiciones, donde hay una gran disponibilidad de aserrín de *Eucalyptus spp.*, próximo a las plantaciones del sur del país, motivaron la inclusión de este material en dos de los tratamientos, previéndose mayor disponibilidad del material en el futuro. Este hecho remite particular importancia porque mucha de las plantaciones de nuestro país estarán sustituyendo en los próximos años el mulch de nylon por el orgánico, siendo este material una de las posibles opciones.

Sitaramaiah y Singh (1978) explican que los contenidos de fenoles en suelos enmendados con restos orgánicos dependen de la relación C/N de los mismos, su composición química, su velocidad de descomposición y a la actividad de la población microbiana asociada con la descomposición. Reportan que materiales de baja relación C/N producen mayores tasas de liberación de compuestos fenólicos que los materiales de alta relación C/N, los cuales liberan estos compuestos de forma más lenta pero por un periodo más largo.

Con el fin de determinar el potencial alelopático de algunas especies forestales con respecto al desarrollo y crecimiento de *Cicer arietinum*, *Zea mays*, *Pisum sativum* y *Eragrostis tef*, Lisanework y Michelsen (1993) sugieren el siguiente orden en el incremento de potencial alelopático de cuatro especies *C. lusitanica*, *E. globulus*, *E. saligna* y *E. Camandulensis*. La segunda especie de eucaliptos presenta la mayor frecuencia en montes forestales en el área sureste de Uruguay y en todos los montes forestales de *Eucalyptus spp.* del país (Peluso y Vierci, 2007).

Los efectos alelopáticos de la especie no ocurren si los aleloquímicos no se acumulan en el suelo debido a sus características edáficas o al régimen de lluvias (Espinosa, 1996). El mismo autor haciendo una revisión sobre esta temática señala que diversos órganos como hojas y corteza de eucaliptos contienen numerosos ácidos fenólicos, flavonoides, taninos y monoterpénoides que son fitotóxicos in vitro y que los extractos o lixiviados de hojas, corteza, hojarasca y semillas de varias especies de eucalipto contienen aleloquímicos capaces de afectar negativamente a varias especies de plantas. El autor reporta que estas sustancias han sido detectadas en fuentes de agua y en suelos donde se han disuelto y acumulado naturalmente en concentraciones suficientes como para producir efectos alelopáticos.

Esta revisión hecha por Espinosa (1996) destaca que los aleloquímicos se pueden liberar naturalmente de todo tipo de tejidos, vivos o muertos, aunque la fitotoxicidad varía de acuerdo con la especie de eucalipto. Indica además que las distintas partes de

los eucaliptos tienen diferente capacidad para liberar compuestos alelopáticos. En general, cualquier parte molida o pulverizada liberará más metabolitos secundarios que en forma entera.

Materiales frescos sin compostar utilizados como mulch muestran efectos alelopáticos sobre la germinación de semillas de lechuga según citan, Duryea et al. (1999), quienes explican que este efecto puede ser causado por compuestos aromáticos hidroxilados de eucalipto y de corteza de pino.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DEL SUR DEL URUGUAY

La mayoría de los suelos del Uruguay presentan genéticamente elevados niveles de materia orgánica, variable que puede relacionarse al color pardo oscuro que presentan los mismos (Duran, 1991). Estos niveles superan los requerimientos de 2% reportados por Lyrene (1990) para un óptimo desarrollo de los arándanos. Como contrapartida y en contraste con los requerimientos que la especie presenta, Duran (1991) subraya que la mayoría de los mismos tiene elevados contenidos de arcilla en el horizonte superficial, característica que dificulta el desarrollo y exploración de las raíces debido a las características del sistema radical ya descriptas.

En suelos de texturas finas el horizonte superficial de los órdenes Melánicos, Poco Desarrollados y Halomórficos de la clasificación uruguaya de suelos, considerados por Durán (1991), el autor señala que los primeros centímetros del perfil presentan originalmente niveles de materia orgánica medios a altos, tenores que varían entre 2,6% y 6,4%. Como contrapartida el autor destaca en esta publicación que en suelos de textura más liviana de los orden Desaturados Lixiviados como en Luvisoles y Acrisoles formados sobre areniscas, el contenido es bajo, estableciéndose en el entorno de 2%. En suelos del orden Saturados Lixiviados la limitante para el cultivo de frutales en general puede ser elevado contenido de limo (30 - 40%) según cita Duran (1991), característica que dificulta la infiltración del agua de lluvia y de riego, la cual escurre superficialmente en caso de altas intensidades de precipitación.

En cuanto al nivel de actividad de hidrógeno del suelo (pH), la mayoría de los suelos considerados presentan pH levemente ácido, siendo cercano a neutro en suelos alcalinos (Duran, 1991). Los suelos más ácidos que el autor describe (no representados en la región donde se desarrolla el trabajo) presentan un pH ubicado en el límite superior del rango señalado por la mayoría de los autores mencionados en el punto 2.1.1.1 para un óptimo desarrollo del cultivo de arándanos.

En síntesis los suelos del país y en particular los del sur, donde se encuentra el 30% del área cultivada con arándanos (URUGUAY. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY, s. f.), no reúnen todas las propiedades y condiciones que la especie demanda, requerimientos que fueron desarrollaron anteriormente. En el sur

del país predominan los suelos de elevado contenido de materia orgánica pero de texturas finas, drenaje moderado e incluso imperfecto. Al norte hay suelos de texturas gruesas y adecuada acidez pero con bajo contenido de carbono.

A las particularidades expuestas en el párrafo anterior los suelos del Uruguay y en especial los de la zona sur presentan mal drenaje interno, esto es debido al alto contenido de arcilla, donde además se ve dificultada la exploración radicular. Se destaca que el crecimiento y la producción de arándanos en suelos minerales del sur del país es limitado por el alto contenido de arcilla en superficie o horizonte A y especialmente en el subsuelo, proporcionando como característica que el drenaje interno sea moderado¹.

2.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS DE RIEGO DEL SUR DEL URUGUAY

Son poco los estudios realizados a nivel de país en relación a la calidad de aguas y su relación a las fuentes a utilizar para el riego de frutales y hortalizas, sin embargo a nivel nacional se cuenta con un informe realizado por Zamalvide (2001).

Es relevante conocer el contenido salino de las aguas de riego por los perjuicios provocados al suelo irrigado y a los rendimientos de los cultivos en sí, hecho que toma especial relevancia en arándanos por las exigencias que presenta la especie respecto a esta variable.

Zamalvide (2001) destaca en su trabajo que en general las aguas superficiales como arroyos, ríos y embalses no presentan salinidad en las condiciones uruguayas. Sin embargo encuentra en aguas subterráneas gran variabilidad, reportando conductividades de entre $0.1\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Artigas, acuífero Tacuarembó) y $4.5\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ (cercañas de Juanicó, Canelones). Estas últimas están en el área de influencia de este trabajo de tesis.

Concluyendo, la investigación define que aquellas aguas con conductividades eléctricas mayores a $2\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, son aguas con salinidad alta y que conductividades entre 1 y $2\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, pueden deprimir rendimientos en condiciones de mal drenaje, riego alto y cultivos bajo invernáculo, hecho que puede asemejarse a las condiciones de producción de arándano con mulch de nylon. Sin embargo resalta que el lavado de sales por riego en exceso o por lluvias se vería dificultado por la existencia del horizonte Bt, el cual disminuye el drenaje interno del perfil y que el lavado de sales ocurriría en momentos con largos periodos de exceso de agua en el suelo, condición contrapuesta a los requerimientos de buen drenaje que presentan los arándanos. En caso de la existencia de pendientes puede existir lavado de sales por flujo de agua lateral sobre el horizonte Bt Sin embargo es una incógnita si el lavado de sales en suelos totalmente modificados por la aplicación de enmiendas es posible con periodos de exceso de humedad cortos o si el acumulado de sales se da en esta condiciones (Zamalvide, 2001).

Otra diferencia entre aguas subterráneas del norte y del sur del país es el mayor índice de relación de actividad de sodio (RAS), que presentan las aguas de la región en donde se inserta este trabajo de tesis. Este parámetro indica el riesgo de ocupar posiciones de intercambio catiónico del suelo con sodio por el uso en el largo plazo de agua de rica en este elemento. Esto toma especial relevancia en aspectos de conservación de suelo y también en los requerimientos de buena estructura de suelo descriptos para los arándanos. Un alto porcentaje de sodio intercambiable está asociado a una mayor dispersión de los coloides y en consecuencia peores propiedades físicas del suelo (Zamalvide, 2001).

2.5 USO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS DE ALTA RELACIÓN C/N

Varios autores sostienen que la respuesta del cultivo al agregado de materiales orgánicos al suelo, se explica por las mejoras de las condiciones físicas de estos, en tanto otros autores centran sus conclusiones en que el crecimiento se ve promovido por la mejora en las propiedades químicas de los suelos bajo incorporación de materiales orgánicos.

2.5.1 Mejora en las propiedades físicas de los suelos

Se espera que aplicaciones de residuos orgánicos en grandes volúmenes pueda promover cambios favorables en algunas propiedades físicas del suelo. En este sentido se ha observado que solo la aplicación de materia orgánica en grandes volúmenes es capaz de provocar cambios significativos en algunas variables respecto a un suelo no enmendado, diferencias que se mantienen en el plazo de por lo menos dos años (Seguel et al., 2003).

Uno de los efectos esperados es la disminución de la densidad aparente. A nivel nacional se reporta una disminución en el corto plazo de la densidad aparente, lo que se puede explicar principalmente por el aumento de la porosidad total, especialmente los macro poros¹, observación compartida por Aggelides y Londra (2000). De acuerdo a estas observaciones, Scott (1978) encuentra que la adición de materiales orgánicos como aserrín, corteza de pino o turba al hoyo de plantación elevan el contenido de materia orgánica, la capacidad de retención de agua y la porosidad en el entorno del sistema radicular de arándanos.

El aumento de la macroporosidad logrado mediante el uso de materiales orgánicos, supone un mejor drenaje interno en la zona radical (Odneal y Kaps, 1990). En consonancia con esta observación Aggelides y Londra (2000) reportan que las propiedades físicas fueron promovidas en todos los suelos tratados con enmiendas mejorando la conductividad hidráulica en suelos saturados y no saturados, disminuyendo la densidad aparente, disminuyendo la resistencia a la penetración y aumentando la capacidad de retención de agua. En el mismo sentido, Seguel et al. (2003) señala que la

infiltración del agua aumenta con el agregado de estos materiales, mientras que la densidad real y el agua disponible no muestran diferencias significativas entre tratamientos.

Adicionalmente, el uso de riego por goteo aumenta el peso seco de plantas tipo RabiMgeye y aumenta la sobrevivencia de 50% a 83% en los dos primeros años de crecimiento (Spiers, 1980), demostrando la necesidad del cultivo de contar con suministro continuo de agua. Esta práctica es complementada por otras prácticas culturales como el mulch de corteza de pino o de enmiendas como turba (Spiers, 1983).

En ese sentido White (2006) reporta que parcelas enmendadas con aserrín de pino requieren mayores frecuencias de riego con respecto a un suelo no enmendado para el óptimo crecimiento de la variedad Elliott perteneciente al grupo Highbush, durante toda la estación de crecimiento. Sin embargo la autora señala que la necesidad de aumento en la frecuencia de riego es consecuencia del incremento del drenaje interno del suelo, producto del aumento de la porosidad y no de la hipótesis que plantean los autores Krewer y Ruter (2005) respecto a que hongos desarrollados sobre residuo de pino repelan el agua, la misma es desarrollada al final de este punto.

La estabilidad de los agregados del suelo es un indicador ampliamente utilizado para describir el estado de las propiedades físicas de los mismos. Monier, citado por Seguel et al. (2003), señala que los últimos productos de la descomposición de la materia orgánica del suelo (sustancias húmicas), tienen un efecto pequeño pero a largo plazo en la estabilidad de los agregados, mientras que los restos frescos cuya descomposición genera polisacáridos como productos secundarios tiene mayor efecto pero a corto plazo sobre esta variable. En este sentido Aggelides y Londra (2000), Lopez et al. (2007) reportan que el incremento de la estabilidad estructural de los agregados esta altamente correlacionado y en forma positiva con los contenidos más estables en el suelo de carbono orgánico soluble en agua, ácidos húmicos y fúlvicos. De acuerdo a estos hallazgos Seguel et al. (2003), observan un incremento en el corto plazo de la estabilidad de los agregados, pero con aplicaciones sucesivas ese efecto desaparece.

En referencia a la temperatura de suelo, bajo tratamientos con enmiendas orgánicas es esperable que el aumento de la porosidad facilite el intercambio gaseoso del mismo con la atmósfera circundante. Sin embargo White (2006) estudiando el efecto de la incorporación de aserrín previo a la plantación sobre esta variable reporta que los tratamientos no mitigan los extremos de las temperaturas invernales y estivales, siendo mayor el rango de variación con respecto al control. A nivel nacional no se registraron diferencias en las temperaturas estivales e invernales en suelos bajo tratamientos con diferentes enmiendas orgánicas aplicados a cultivos de arándanos¹. El comportamiento de esta variable no explico la tendencia a mayores crecimientos y rendimientos en plantas de segunda hoja a campo de la variedad O'Neal donde no se registraron diferencias a dosis de 240m³ y 360m³ ha⁻¹.

Finalmente se quieren destacar algunas condiciones indispensables a tener en cuenta para el uso de materiales orgánicos. Particularmente la corteza de pino es universalmente usada como enmienda en el cultivo de arándano, a esta se le asigna la mejora en el rendimiento del arándano tipo Highbush porque mejora las propiedades físicas del suelo (Bollen y Glennie, 1961). Algunos autores advierten que el mencionado material cuando se encuentra amontonado en pilas secas puede desarrollar altas poblaciones de hongos, los cuales se encuentran en forma de espora. Una vez que el material se aplica al suelo y se humedece, se desarrollan colonias del organismo, que a través de su micelio cubren rápidamente la corteza, repeliendo el agua y disminuyendo la capacidad de retención de agua del suelo (Krewer y Ruter, 2005). Plantas recientemente establecidas pueden secarse y morir, por lo que por ese motivo es conveniente compostar la corteza de pino previo a su aplicación en el suelo (Krewer y Ruter, 2005).

2.5.2 Mejora en las propiedades químicas de los suelos

Los arándanos altos o Highbush crecen en suelos orgánicos ácidos o en suelos arenosos con alto contenido de MO natural, siendo esta el factor que explica la mayor parte del complejo de intercambio catiónico (Christopher y Shutak, 1947). No obstante se cultiva en suelos minerales los cuales se acidifican por el uso de mulch orgánico y enmiendas orgánicas incorporadas preplantación, según lo reporta Goulart et al. (1996b).

El uso de aserrín de pino como factor acidificante sin embargo, no esta claro en la bibliografía que habla al respecto. Se ha reportado en general, que el uso de aserrín tiene poco efecto sobre el pH del suelo (Krewer y Ruter, 2005). En la misma línea a nivel nacional no se encontraron diferencias en el pH de suelo bajo tratamientos con diferentes enmiendas orgánicas a una dosis de $360\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de aserrines de pino, eucaliptos y cáscara de arroz turba respecto a un suelo no enmendado para las condiciones edafológicas del sur de Uruguay¹. Los autores observaron un efecto inicial con el uso de turba, pero el mismo desapareció a los 6 meses luego de hecha la incorporación del material. Coincidiendo con estos resultados Duryea et al. (1999) demuestran que suelos donde el eucalipto es utilizado como mulch, el material baja el pH de 5 a 4,8, siendo no significativa esta diferencia respecto a un suelo control.

Se asume de forma general que la materia orgánica del suelo es reservorio de nutrientes y aporta nutriente en forma directa, otorga poder búfer al suelo para contrarrestar las fluctuaciones de pH y promueve el desarrollo de microorganismos benéficos para el suelo (Mexal y Fisher, 1987), por lo que el enmendado con materiales de alta relación C/N puede promover cambios en este sentido. Al respecto los autores señalan que la turba y corteza de pino aumentan la CIC, aumenta los tenores de humus del suelo y la retención de agua. Lopez et al. (2007) trabajando con la incorporación de restos orgánicos en suelos agrícolas y a grandes volúmenes reporta incrementos significativos respecto al suelo control en el carbono orgánico total del suelo (COT), carbono orgánico soluble en agua, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.

En cuanto a la disponibilidad de nutrientes Yang et al. (1998) concluye que la habilidad de las células de la raíz en la adquisición de nitrógeno esta regulada por el tipo de materia orgánica utilizada como enmienda. Por otro lado la forma de N presente en el suelo parece tener importancia, en este sentido Tisdale et al. (1985), destacan que los arándanos no son tolerantes a nitratos.

La aplicación de azufre elemental y de materia orgánica como enmiendas incorporadas al suelo producen un incremento en el crecimiento y la producción de arándanos e incrementan la fertilidad natural del suelo (Haynes y Swift, 1986). Estos autores describen también que esta incorporación promueve la mejora de las propiedades físicas del suelo y que el azufre incorporado baja el pH, disminuyendo las deficiencias de Mn y Fe.

La corteza de pino molido es usada también con el fin de modificar las propiedades químicas, ya que presenta partículas pequeñas con mayor superficie específica que ofrecen mejor abastecimiento de agua y capacidad de retención de nutrientes, mediante la creación de una gran superficie, área que también proporciona capacidad de intercambio catiónico. El suelo o la corteza de pino proporcionan sitios con carga negativa. Muchos de los nutrientes requeridos por las plantas son de carga positiva y, por tanto, se sienten atraídos por estos sitios cargados negativamente. Se destaca que la corteza de pino tiene una capacidad de intercambio catiónico en el rango de 10-13 miliequivalentes /100cc³ (Krewer y Ruter, 2005). Estos materiales orgánicos aplicados incrementan la capacidad de retención de metales como aluminio, sobre todo cuando el pH desciende por debajo de 5 (Yang, 2004).

En cuanto a la acumulación de sales en el suelo y en consecuencia el aumento de la conductividad eléctrica, a nivel nacional se indica que el uso de enmiendas orgánicas aplicadas al suelo en volúmenes entre 240m³y 360m³ha⁻¹ no implicó un aumento estadísticamente significativo de esta variable con respecto al suelo testigo¹.

2.6 MINERALIZACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS DE ALTA RELACIÓN C/N

2.6.1 Microbiología asociada a la degradación de restos orgánicos

Al aplicarse residuos orgánicos al suelo estos sufren una descomposición llevada adelante por un complejo de microorganismos vinculados al material y al suelo, y los elementos que lo componen son mineralizados. Tisdale et al. (1985) sugieren que del total del carbono incorporado al suelo a través de restos el 35% es usado para el crecimiento de la masa microbiana y el 65% es respirado como CO₂.

Los microorganismos presentan gran versatilidad en el empleo de sustancias carbonadas (Frioni, 2006), clasificándose en autótrofos cuando utilizan fuentes

inorgánicas de este elemento como CO y CO₂ y en heterótrofos a aquellos vinculados al consumo de fuentes orgánicas muy variadas como azúcares, alcoholes, ácidos grasos, hidrocarburos y polímeros (celulosa, hemicelulosa y lignina). Paralelamente al complejo de microorganismos asociados a la descomposición de materiales orgánicos en el suelo, existe un conjunto de reacciones químicas de origen abiótico que intervienen en ese proceso (Cheshire et al., 1999).

Cuando hay presencia de restos frescos Duryea et al. (1999), Frioni (1999) señalan que lo primero en descomponerse o en ser tomado como fuente de carbono son carbohidratos provenientes de polisacáridos como hemicelulosa, celulosa, consumiéndose por último la lignina. En tal sentido Frioni (1999) destaca que las tasas de descomposición de hemicelulosa son altas cuando se incorpora un residuo vegetal y que luego esta velocidad de descomposición disminuye degradándose totalmente.

Respecto a la celulosa Frioni (1999) señala que esta es degradada por un complejo enzimático presente en los microorganismos denominado celulasa, el cual se encuentra presente en una variedad de bacterias, actinomicetes, hongos y protozoos, pero que dentro de estos grupos no hay en sí gran cantidad de especies celulolíticas. A su vez la autora describe que la celulosa representa el 50% de los materiales leñosos (1/3 del CO₂ fijado por las plantas), resaltando que los coeficientes de mineralización de este polímero son mayores en aerobiosis, disponibilidad de nitrógeno, pH neutro y donde el proceso puede ocurrir en un rango de temperaturas de 0° a 65° C, siendo óptimas aquellas temperaturas entre 20° C y 30° C.

Debido a la estrecha asociación que ocurre entre la celulosa y la lignina en la paredes celulares, la celulólisis es dificultada por la barrera que establece la lignina al complejo enzimático celulasa presente en los microorganismos (Frioni, 1999).

Para la descomposición de lignina, polímero considerado muy recalcitrante por muchos autores, compuesto que representa un 60% del peso de la celulosa existen poco microorganismos específicos o denominados ligninolíticos, por ser moléculas en donde el carbono se encuentra más protegido o que presenta dificultades al ataque enzimático (Frioni, 1999). Sin embargo la misma autora señala que no existe ninguna molécula orgánica de origen natural que no pueda ser empleada por un microorganismo para su crecimiento y desarrollo.

En términos de actividad de la biomasa microbiana, los suelos tratados con materiales orgánicos presentan mayores tasas de respiración y mayor cantidad de carbono en biomasa respecto a suelos sin enmendar, hecho explicado por el carbono que aportan las

enmiendas⁴. En ese sentido Tisdale et al. (1985) afirma que ni bien comienzan a descomponerse los restos frescos hay gran producción de CO₂.

Reafirmando lo expuesto anteriormente se ha reportado a nivel nacional que la tasa de respiración de estiércol de vaca de relación C/N inicial 17,5, utilizada como enmienda en el suelo, disminuyó durante la incubación en todos los tratamientos, con un rango de variación entre 26,1 y 2,3 mg kg⁻¹ d⁻¹ de C-CO₂ entre el muestreo inicial y el día 73 del experimento, indicando que este proceso puede darse de igual manera en otros materiales⁴.

2.6.2 Relación C/N y degradación de residuos orgánicos

Algunos autores estudiaron la descomposición de diferentes enmiendas orgánicas, sugiriendo que la relación C/N no es suficiente para predecir el resultado de la mineralización de estos elementos, habiendo otros factores a considerar como el contenido de carbono y nitrógeno solubles para predecir su comportamiento (Helgason et al., 2005).

Cuando agregamos un material rico en nitrógeno (C/N ≤ 20/1) el contenido de nitrógeno del suelo no decae, siendo 20/1 la relación de equilibrio entre mineralización e inmovilización de nitrógeno, mientras que relaciones mayores a 30/1 resultan en un proceso de inmovilización de nitrógeno (Tisdale et al. 1985, Yang et al. 2002).

Se ha observado que los materiales orgánicos incorporados al suelo sufren una importante mineralización entre los 40 y 180 días, bajando a partir de aquí la tasa de descomposición, hecho que puede explicarse en que los microorganismos toman el carbono de compuestos menos recalcitrantes (Bohn et al., 1993).

En tal sentido a nivel nacional se obtienen aumentos absolutos pero estadísticamente no significativos en el carbono orgánico del suelo al aplicar enmiendas orgánicas de alta relación C/N con respecto al suelo testigo, siendo entre 47 y 70TT por hectárea la cantidad de materia seca aplicada¹. Los autores destacan una tendencia a que el contenido de este elemento disminuya a medida que transcurre el tiempo desde la aplicación. Esa disminución es observada por los autores en todos los tratamientos pero con una tendencia a que el nivel de carbono orgánico de suelo sea en todas las fechas de muestreo superior en parcelas enmendadas respecto al suelo no tratado. Esta tendencia se mantiene luego de 25 meses de realizada la incorporación.

⁴ del Pino, A.; Mori, C.; Rpetto, C. 2008. Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo (en prensa).

2.6.3 Degradación de residuos y su relación con la mineralización e inmovilización de nitrógeno

La materia orgánica en el suelo puede clasificarse en dos grandes grupos conceptuales, asociados a fracciones granulométricas (Cambardella y Elliot, 1992). Por un lado se encuentra aquella asociada a restos frescos, siendo esta una fracción más lábil y sujeta a rápida descomposición y por otro lado aquella más estable, comúnmente denominada humus (Tisdale et al., 1985). Al primer grupo se lo denomina también como materia orgánica particulada (MOP) y al segundo materia orgánica asociada a la fracción mineral del suelo (MOAM). Cada uno de estos grupos tiene mas influencias en diferentes funciones de la materia orgánica. En cuanto a la dinámica de N, es la MOP la que tiene un peso predominante (Brady y Weil, 2002).

La mineralización de nitrógeno orgánico se entiende como el pasaje de nitrógeno de formas orgánicas a amonio. Es llevada adelante por microorganismos heterótrofos no especializados, incluyendo bacterias aerobias y anaerobias, hongos y actinomicetes. Estos llevan adelante dos tipos de reacciones. Por un lado la aminización y por otro lado la amonificación (Tisdale et al. 1985, Perdomo y Barbazán 1999, Frioni 1999). El amonio es usado preferentemente por los microorganismos para la descomposición de residuos orgánicos (Tisdale et al. 1985, Perdomo y Barbazán 1999).

Como consecuencia del agregado de enmiendas orgánicas de alta relación C/N se espera que se produzca una importante inmovilización de nitrógeno por parte de los microorganismos. La inmovilización de nitrógeno en la biomasa microbiana del suelo, suelen ser más altas cuando el contenido de agua del suelo se encuentra cercano a capacidad de campo (Videla et al., 2005), por lo que el aumento de la humedad del suelo debido al riego permanente o a las precipitaciones favorece esa actividad.

El amonio en suelos anegados tiende a acumularse porque se reducen las necesidades de nitrógeno de los microorganismos. La mineralización de nitrógeno aumenta a mayor temperatura siendo óptima entre 40° C y 60° C y como los microorganismos que actúan en la mineralización de nitrógeno son muy diversos no existe un rango óptimo de pH, pero este puede ser bajo en suelos muy ácidos (Perdomo y Barbazán, 1999).

El nitrógeno inmovilizado puede provenir de diferentes fuentes como el residuo incorporado, del propio suelo y de aquel aplicado mediante la fertilización. Tisdale et al. (1985), White (2006) estudiando el nivel de inmovilización que sufre este elemento cuando se aplican materiales orgánicos, reportan que cada diez partes de carbono asimiladas por los microorganismos se utiliza una parte de nitrógeno, resaltando que el agregado de nitrógeno vía fertilización aumenta la velocidad de mineralización de carbono de los restos, observación compartida por Yang (2004), Mallory y Griffin (2007). Como consecuencia del consumo de carbono, la enmienda incorporada en el suelo baja su relación C/N, registrándose de forma paralela la disminución de la masa

microbiana que degrada los restos porque disminuye la disponibilidad de carbono y nitrógeno utilizado para el crecimiento microbiano (White, 2006).

Tanto en suelos de texturas gruesas como finas, la descomposición de paja de trigo (0,38% N) inmovilizó N en todo el periodo de incubación (12 meses), pero el mayor contenido de N en el pool microbiano se registró durante el primer mes según Cheshire et al. (1999). Los autores afirman que la mayor inmovilización de N ocurre por procesos bióticos en donde la masa fúngica juega un rol mas fuerte que el de la masa bacteriana. Concluyen en que puede seguir habiendo inmovilización de nitrógeno sin que el contenido de este elemento en la masa microbiana aumente, probablemente por efecto de un déficit de carbono. Afirman además que el nitrógeno inmovilizado es transferido a formas y compuestos orgánicos más estables asociadas con la biomasa como por ejemplo quitina.

Cuando se aplican diferentes fuentes de nitrógeno, el consumo de amonio y la mineralización neta de este elemento son afectados directamente por el tipo de material usado para el enmendado de suelo y la fuente de nitrógeno usada en la fertilización, existiendo una interacción significativa entre estos factores (Yang 2004, Mallory y Griffin 2007).

2.6.4 Mineralización de turba y residuos de pino y eucaliptos

Las tasas de mineralización de carbono y de inmovilización de nitrógeno van a depender también de las edades o estabilidad del material utilizado. Yang (2004) estudiando la evolución del aserrín de pino fresco y compostado aplicado como mulch con diferentes dosis de nitrógeno, 150kg.ha⁻¹ y 50kg.ha⁻¹, reporta que la relación C/N se reduce en un 30% y un 10% respectivamente en el periodo de un año. Sin embargo el mismo efecto no es observado cuando los suelos son enmendados con uno u otro material al aplicar diferentes dosis de nitrógeno, las relaciones C/N de suelo son similares en todo el periodo y luego de transcurrido un año desde la aplicación, sugiriendo que la edad del material y el nivel de nitrógeno utilizado no afecta las tasas de mineralización una vez que este es mezclado con el suelo (Yang, 2004).

Diferentes autores sugieren que el agotamiento de nitrógeno del suelo se da rápidamente con el uso de corteza de pino por su alta relación C/N respecto al uso de turba. El suelo enmendado reduce la disponibilidad de nitrógeno agregado en la fertilización con respecto a un suelo no enmendado y que esto esta relacionado con la disponibilidad de carbono que pueda presentar el material (Bollen y Glennie 1961, Yang 2004, Mallory y Griffin 2007).

Se ha comprobado que concentraciones de nitrógeno inorgánico entre 1,5% y 1,7% en el suelo, son suficientes para evitar la inmovilización de este elemento en condiciones de aerobiosis (Tisdale et al., 1985).

Sin embargo Yang (2004) sugiere que la retención de nitrógeno del aserrín de pino compostado puede ser hasta 10 veces más de la que presenta el aserrín fresco, demostrando que se necesita más nitrógeno para descomponer aserrín estabilizado en comparación con aserrín fresco. Esto contradice las hipótesis expuestas en diversa bibliografía. El autor resalta el hecho de que el aserrín compostado puede tener una mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC) o quizás una mayor densidad aparente (mayor material por unidad de volumen) que el aserrín fresco y que esto sea la explicación a una mayor retención de nitrógeno en forma de amonio.

Respecto al rol que juega el uso de mulch en el desarrollo de arándanos tipo Highbush, Yang (2004) reporta que el uso de enmiendas de relaciones C/N mayores a 60 reducen el crecimiento de la especie por la inmovilización de nitrógeno de suelo, sin embargo otros autores no encuentran efectos adversos sobre esta variable en plantas del cultivar O'Neal de segunda hoja a campo utilizando cáscara de arroz, corteza de pino en combinación con aserrín, aserrín de eucalipto, turba y aserrín de pino solo, demostrando que la inmovilización del elemento no es limitante para el crecimiento del cultivo con aporte de nitrógeno vía fertirriego¹.

Por otro lado, bajo tratamiento con corteza de pino fresca, Odneal y Kaps (1990) obtuvieron el mas bajo contenido de N foliar (1,84 %) y el más alto (1,9 %) en los tratamientos con turba, siendo estos, rangos normales de contenido de nitrógeno foliar en arándanos tipo RabiMgeye (Spiers y Braswell, 1986). El trabajo concluye que el agotamiento de nitrógeno puede darse a menores tasas si se utiliza un mayor tamaño de partícula de corteza de pino. Otros autores sugieren utilizar el aserrín parcialmente descompuesto, el cual debe ser estacionado por lo menos 1 año antes de la aplicación para evitar que la inmovilización del elemento tenga efectos adversos sobre el crecimiento de arándanos (Krewer y Ruter, 2005).

Sin embargo a nivel nacional no se han obtenido diferencias en el contenido de nitrógeno foliar en plantas en segunda hoja de la variedad O'Neal, implantadas en parcelas tratadas con los materiales mencionados. Se reportan tendencias a mayores rendimientos en comparación con el tratamiento testigo (suelo no enmendado)¹. Esto hace suponer que bajo fertilización nitrogenada la disponibilidad del elemento no es limitante para el desarrollo del cultivo, independientemente del tamaño de partícula y de la relación C/N de cada material. Haciendo un paralelismo estos datos pueden tener coherencia con la baja extracción de nitrógeno por tonelada de fruta que presentan las variedades Premier y Tifblue tipo RabiMgeye, de seis años de edad en Chile (Vidal et al., 1999).

La corteza de pino presenta altos contenidos de lignina, polímero orgánico (carbono) que es mucho más resistente a la descomposición microbiana que la celulosa (Duryea et al. 1999, Frioni 2006), mientras que materiales con un alto contenido de celulosa (carbono) se descomponen rápidamente por la acción de microorganismos una vez que

se aplica nitrógeno. Esto reduce el tamaño de las partículas y el nitrógeno es inmovilizado por los microorganismos que degradan la celulosa.

La rápida descomposición de sustratos como corteza o aserrín de pino, utilizados en arándanos puede resultar en una reducción tal que disminuya la aireación del sustrato (Krewer y Ruter, 2005). Los mismos autores reportan que cuando estos materiales orgánicos son usados como mulch orgánico en la superficie de camellones, se puede esperar específicamente para el aserrín de pino que este se mineralice y que presente una tasa en la reducción del espesor del mismo de 2,54cm por año.

La corteza de pino y la turba son señaladas como materiales de difícil descomposición y abonos verdes y aserrín como de fácil descomposición (Mexal y Fisher, 1987). Estos autores sostienen que la descomposición de los primeros es lenta porque tienen alta relación C/N, alto contenido de lignina y por lo general se aplican en forma de partículas relativamente grandes. Contrariamente a la extensa bibliografía que trata el tema reportan que su mineralización rara vez inmoviliza nitrógeno del suelo por ser tan lenta. Concluyen que los abonos verdes se descomponen rápidamente porque tienen un menor tamaño de partícula y porque tienen menor contenido de lignina. Esa rápida mineralización resulta ahora sí en una inmovilización de nitrógeno de suelo porque los microorganismos son más eficientes que las plantas en su captura, lo que reduce la disponibilidad del mismo para el crecimiento del cultivo (Turk, 1943).

Un estudio realizado por Duryea et al. (1999) muestra que el eucalipto cuando es aplicado como mulch presenta 21% de descomposición del volumen total incorporado luego de un año de hecha la incorporación. El autor señala que el eucalipto tiene un contenido de celulosa y de hemicelulosa que representa en su conjunto 54% de los azúcares en comparación con la corteza de pino que presenta 42% y que estos materiales tienen 19% y 45% de lignina respectivamente. El mismo autor realizando incubaciones y midiendo la respiración en laboratorio, reporta que el eucalipto a temperaturas de aire entre 30 y 32° C presentó respiraciones más altas, entre 2,5 y 2,7ppm CO₂ mientras que a esas temperaturas la corteza de pino presentó 0,8 y 1,7ppm CO₂, siendo este un material más estable.

2.7 COMPONENTES DE RENDIMIENTO

El componente principal de rendimiento es la densidad de plantas por hectárea y el aumento de esta, aumenta la cantidad de fruta Kg.ha⁻¹. El marco de plantación tradicional de arándano tipo Highbush es de 1.35m entre plantas por 2.7m entre filas, pero el más común es de 1.2m por 3m (Eck, 1988), con 2743 y 2778 plantas.ha⁻¹ respectivamente. Sin embargo Moore et al. (1993) afirma que la densidad no afecta el tamaño de frutos en arándanos.

Los demás componentes de rendimiento se descomponen de la siguiente manera: número de varetas por planta, número cargadores por vareta, número de yemas reproductivas por cargador, número de flores por yema reproductiva, número de frutos que cuajan llegando a cosecha y peso de fruto.

Para marcos de plantación de 1.22m entre plantas por 2.5m entre filas (3279 plantas.ha⁻¹), densidad parecida a la utilizada en Uruguay de 1m por 3m respectivamente con 3333 plantas/Há. (URUGUAY. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA, s.f.), el rendimiento de plantas en segunda hoja a campo fue de 2,02TT por hectárea y de 0,75Kg por planta (Moore et al., 1993). En el caso de las variedades tipo Highbush más tempranas se pueden esperar rendimientos en el pico de producción del cultivo de 6000 a 8.000kg.ha⁻¹ y 10.000 a 12.000kg.ha⁻¹ para las variedades más tardías.

Varetas con más de cinco años de edad y más de 2,5cm de diámetro producen menor cantidad de frutos de menor tamaño, hay un envejecimiento de la estructura (Pescie, 2006). La investigadora indica que esa vareta de cinco años va a necesitar mayor área foliar para su mantenimiento y el crecimiento de frutos, se encuentra considerablemente ramificada, registrándose baja diferenciación floral y baja cantidad de flores por yema reproductiva.

Respecto al número de yemas reproductivas por cargador Bañados (2005) señala que en variedades como Elliot perteneciente al grupo Highbush pueden presentar de 10 a 12 pero que otras variedades no superan las 3. Pescie (2006) señala para la variedad O'Neal una media de 6 yemas reproductivas por cargador.

En referencia al número de flores por yema reproductiva Bañados (2005) reporta un parámetro entre 5 y 8 siendo este el número potencial de frutos que estarían siendo cosechados.

En cuanto al peso de frutos Moore et al. (1993) señala que las variedades Bluecrop y Blueray ambas pertenecientes al grupo Southern Highbush presentan tamaños de fruto de 1,55g y 1,85g. Bañados (2005) reporta tamaños de fruto entre 1,3 y 1,8g.

2.7.1 Cambios en los componentes del rendimiento promovidos por el agregado de enmiendas orgánicas

La bibliografía que investiga el uso de enmiendas y mulch, sean estos de origen orgánico o inorgánico y con diferentes fines de uso, hace poca referencia en relación a este punto, son muy pocas las citas en donde se reportan cambios en los componentes de rendimiento y generalmente no son objeto central de las investigaciones. Es de esperar que al aplicarse esta tecnología ocurran cambios en la vigorosidad de plantas (mayor número de varetas por ejemplo), pero no en aquellas componentes del rendimiento comunes a la especie y de origen genético como número de flores por yema

reproductiva, número de frutos por racimo que llegan a cosecha y número de yemas reproductivas por centímetro de cargador.

En este sentido Cumrings et al. (1981) luego de la primer temporada de crecimiento en parcelas tratadas con aserrín las plantas registraron un mayor crecimiento (largo de brotes) en suelo tratado con acidificante, pero no hubo diferencias en el número de flores emitidas.

Al comparar el crecimiento de plantas de arándano tipo Lowbush cultivadas sobre suelos vírgenes con plantas creciendo en suelos con un importante uso previo, Knder y Eggert (1966) obtuvieron mayor desarrollo del sistema radical en las primeras, mayor número de varetas y mayor número de yemas florales por cargador, partiendo de plantas similares en tamaño, lo que hace suponer la obtención de cargadores más extensos.

Los mismos autores al comparar el crecimiento de plantas de arándano tipo Lowbush creciendo con mulch superficial dispuesto por encima del suelo, con plantas creciendo sobre suelos a los cuales se les incorporó aserrín de pino, observaron que las primeras presentaron mayor desarrollo en todas las fases de crecimiento del cultivo, observándose mayor desarrollo del sistema radical (área explorada) y mayor número de tallos. Reportan que el aserrín y la turba usados para tal investigación como mulch, tienen incidencia en el desarrollo de yemas florales al compararlos con un control, pero al comparar ambos materiales entre sí se observa que en mulch de turba hay mayor número de yemas de flor (Knder y Eggert, 1966).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El estudio fue realizado en condiciones de producción comercial, entre agosto del año 2007 y agosto del año 2008 en el establecimiento “Tranco Largo”, ubicado en la Ruta Nacional N° 3, km. 100.5, departamento de San José (34° 44' de latitud sur) y al norte de la ciudad capital.

El ensayo se encuentra en una quinta comercial que tiene plantadas unas 20ha aproximadamente al momento de este estudio, de variedades tipo Southern Highbush casi en su totalidad.

El cuadro asignado para la instalación de este estudio fue el 3A (2438m²), el cual esta inserto en el módulo de riego N° 12, plantado enteramente con el cultivar O'Neal (*Vaccinium corymbosum* L. Hybrids).

Presenta cortinado perimetral en toda su área que crece conforme avanza la edad del cultivo, el agua de riego es embalsada del escurrimiento superficial y todos los camellones han sido mejorados con diferentes enmiendas de acuerdo a los seis tratamientos luego descriptos. Se utilizó mulch de nylon negro hasta junio del 2007 el cual ha sido sustituido por mulch orgánico, diferente para cada tratamiento.

El diseño experimental es en bloques completos al azar (DBCA), con seis tratamientos y tres repeticiones (tres bloques), donde la unidad experimental es una parcela con 13 plantas distanciadas un metro entre sí. Cada bloque esta compuesto de dos camellones de 47m de largo separados de lomo a lomo por 3m entre sí y con orientación norte - sur. Este diseño experimental ha sido elegido de acuerdo a la pendiente del cuadro que se encuentra en una situación topográfica entre la parte más alta y la parte media de una ladera cóncava.

Se prepararon seis camellones con una altura aproximada de 30cm, 50cm de ancho de lomo y 90cm de base, rodeados por otros camellones para disminuir el efecto borde. Asumiendo el corte transversal del camellón como un paralelogramo y una densidad aparente de 1.25 (para todos los tratamientos cinco meses luego de la incorporación¹) se enmendaron 875Mg.ha⁻¹ de suelo, por hectárea efectiva de cultivo. Para cubrir el efecto borde entre tratamientos (unidad experimental) dentro de un camellón, se dejaron dos metros lineales entre sí, sin tratar y con una planta entre medio.

Las plantas recibieron el manejo sanitario, de riego (localizado y por goteo), de protección contra el viento (cortinado), de control de malezas, de polinización y nutricional, llevado adelante con el criterio comercial considerado por los responsables de la quinta desde su implantación en septiembre 2005. Las actividades de poda de

invierno y la cosecha estuvieron a cargo del Equipo de Investigación en Arándanos de la Facultad de Agronomía.

Particularmente, en lo referido a fertilización nitrogenada se hizo una aplicación localizada en el hoyo de plantación con 30g/planta de Nitrofoska azul especial 12/12/17/2(Mg), equivalente a 12 unidades de nitrógeno por hectárea efectiva. En la temporada 2006 - 2007 y 2007 - 2008 se aplicaron 23,4 y 60 unidades del elemento respectivamente por hectárea efectiva de cultivo, cuya fuente fue sulfato de amonio.

La información de precipitaciones (INIA Las brujas), temperatura y humedad en el suelo, ambas registradas en el ensayo en el año de instalación del experimento en el cual se enmarca este trabajo, es tomada en cuenta para analizar los resultados de las variables de suelo detalladas mas adelante y se complementa con datos de humedad de suelo, expresada como porcentaje en volumen⁵, para ese periodo (ver anexo 1 y 2).

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

El suelo tratado para tal estudio esta posicionado sobre la Unidad Millón Isla Mala cuyo uso previo fue pradera para el pastoreo. Este hecho es de destacar por el aporte de carbono que hacen estos sistemas pastoriles al suelo tanto en superficie como en profundidad.

3.2.1 Descripción del suelo

Paisaje: lomadas/lomada suaves Ladera media, Pendiente local 1,5 %.

Uso actual: Chacra vieja, actualmente laboreado, reconstitución de la pradera.

Erosión actual: leve.

Clasificación tentativa: Brunosol Eutrico Lúvico.

Forma de descripción: calicata.

Horizonte Ap:

Espesor promedio de 20 cm. Color pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en húmedo. Textura franca, presenta arena gruesa o gravilla fina. Consistencia friable; débilmente plástico y débilmente pegajoso en húmedo. Bloques subangulares Clase 3 (medios) y moderado. Raíces abundantes. Transición clara.

Horizonte Bt1:

Espesor promedio de 24 cm.. Color gris muy oscuro (10YR3/1), en húmedo. Textura franco arcillosa, presenta mayor contenido de gravilla fina que Ap Consistencia muy firme en seco; plástico y pegajoso cuando húmedo. Bloques angulares Clase 4 (grandes) y fuerte. Se observan caras de deslizamiento y películas de arcilla. Presenta concreciones

⁵ Alliaume, F.; Arias M. 2008 Com. personal.

de Ca, pocos, de tamaño pequeño (1) y consistencia friable. Raíces finas, comunes. Transición difusa.

Horizonte Bt2:

Espesor promedio de 30 cm. Color pardo oscuro (10YR3/1 a 10YR3/3) en húmedo. Textura arcillosa a franco arcillosa, con igual contenido de gravilla que Bt₁. Consistencia muy firme en seco; plástico y pegajoso cuando húmedo. Bloques angulares Clase 4 (grandes) y fuerte. Se observan películas de arcilla. Poca presencia de concreciones de Ca, tamaño pequeño (1) y de consistencia friable. Raíces finas, comunes Transición gradual a clara.

Horizonte Ck:

Comienza en los 74 cm. Color pardo amarillento oscuro (10YR4/4) en húmedo. Clase textural franco arcillosa a franco arcillo limosa, presenta mas arena que los horizontes anteriores. Consistencia muy firme en seco; plástico cuando húmedo y débilmente pegajoso. Bloques angulares Clase 3 (medios) y moderado. Mayor cantidad de concreciones de Ca que Bt₂, tamaño medio (3) y consistencia friable (polvo). Raíces finas, pocas.

A continuación se expone la información analítica del perfil modal descrito.

Cuadro 1: Caracterización química y textural del suelo utilizado en el ensayo.

Horiz.	Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	MO %	CE (mS cm ⁻¹)	Ac %	Ar %	L %	Textura
Ap	0 - 20	5,63	4,54	3,8	0,11	15,9	39,9	44,2	Fr
Bt1	20 - 44	6,61	4,72	2,0	0,13	38,5	30,4	31,0	FrAc
Bt2	44 - 74	7,77	5,76	1,5	0,13	42,9	20,8	36,3	Ac
Ck	74 a +	8,11	6,52	0,7	0,55	36,9	22,8	40,3	FrAc

Fuente: Alliaume et al.¹

Cuadro 2: Bases y suma de bases del suelo utilizado en el ensayo.

Horiz.	Prof. (cm)	Ca	Mg	Na	K	SB
		(cMolc.Kg ⁻¹)				
Ap	0 - 20	20,9	8,7	2,4	0,6	32,6
Bt1	20 - 44	16,4	6,4	1,4	0,5	24,7
Bt2	44 - 74	7,1	2,6	0,6	0,5	10,8
Ck	74 a +	10,1	6,8	0,9	0,9	18,7

Fuente: Alliaume et al.¹

Observación: No se observan condiciones de reducción, se infiere que esto es producto de la posición topográfica y del contenido de gravilla que el perfil del suelo presenta. De acuerdo a lo descrito, es un suelo moderadamente bien drenado

caracterizado por la baja permeabilidad del horizonte argílico presente a 20cm. de profundidad y con más de 35% de arcilla¹.

A continuación se presenta una foto del perfil de suelo mostrando la separación entre horizontes marcados con estacas en el campo.

Foto 1: Perfil del suelo utilizado, Brunosol Subéutrico Lúvico.



Fuente: Alliaume et al.¹

El experimento está insertado en una región de Pradera Invernal / Estival Típica. Esta se caracteriza por ser una comunidad de hierbas de bajo porte con dominancia de gramíneas perennes y con una cobertura arbustiva menor al 20% (Sganga, 1997).

3.3 ENMIENDAS UTILIZADAS

Los tratamientos consistieron en la incorporación de cuatro enmiendas de alta relación C/N o mezclas de ellas disponibles en el país e importados, comparadas con parcelas testigo (suelo solo) a dosis de $360\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ efectiva de cultivo, al inicio del ensayo (abril de 2005). Los tratamientos consistieron en: 1) aserrín de eucalipto, 2) aserrín de pino, 3)

testigo, 4) mezcla (1:1) de aserrín de eucalipto y pino, 5) cáscara de arroz y 6) turba, incorporados al volumen de camellón detallado.

A continuación se presenta el resumen de las principales características de las enmiendas orgánicas utilizadas, detallando algunas características físicas y químicas. La descripción completa de la turba utilizada se puede ver en detalle en anexo 1.

Cuadro 3: Caracterización química y física de las enmiendas utilizadas.

Enmienda	pH H ₂ O	%C	%N	C/N	DA (g.cm ⁻³)
Cáscara Arroz	6,63	34	0,28	121	0,13
Aserrín Eucalipto	3,92	44	0,21	210	0,17
Aserrín Pino	4,66	44	0,14	314	0,20
Turba	3,69	56	0,8	70	0,12

Fuente: Alliaume et al.¹

Cuadro 4: Granulometría de las enmiendas utilizadas (% en peso).

Enmienda	>1,7	0,8-1,7	0,6-0,8	0,425-0,6	0,3 - 0,425	<0,300
	(mm)					
Cáscara Arroz	41	51	3	1	1	2
Aserrín Eucalipto	36	32	9	8	6	9
Aserrín Pino	20	43	15	10	5	7
Turba	17	26	16	17	13	12

Fuente: Alliaume et al.¹

Se destaca que todos los materiales utilizados presentan un tamaño de partícula pequeño por debajo de la malla de tamiz de 3mm, característica que aumenta su superficie específica y puede favorecer su descomposición en el suelo.

Al retirarse el mulch de nylon negro se aplicó mulch orgánico del mismo material (10cm de espesor aproximadamente) con el que se enmendó el suelo a excepción de los tratamientos con turba y cáscara de arroz que recibieron fardos de paja de trigo (35 fardos redondos por hectárea). Los fardos utilizados pesaron 320Kg con un 93% de materia seca. El testigo permaneció con mulch de nylon negro hasta la finalización de este estudio.

A continuación se resume las incorporaciones de carbono estimadas por cada tratamiento y nitrógeno aportado por las enmiendas.

Cuadro 5: Carbono y nitrógeno aportado por las enmiendas en abril de 2005 y carbono aportado por los mulch orgánico en mayo 2007 (Mg.há ⁻¹).				
Enmienda	Carbono*	Nitrógeno*	Mulch	Carbono*
A. Eucaliptus	26,9	0,13	A. Eucaliptus	10
A. Pino	31,7	0,10	A. Pino	11,7
Suelo solo	0	0	Nylon	0
Mezcla (E+P)	29,3	0.12	Mezcla (E+P)	10,9
Cáscara Arroz	15,9	0,13	Paja Trigo	5,1
Turba	12,8	0,18	Paja Trigo	5,1

Fuente: Alliaume et al.¹

* Este valor esta referido a una hetárea efectiva de cultivo.

3.4 SECUENCIA DE LABOREO E INCORPORACIÓN DE ENMIENDAS

La secuencia en el laboreo del suelo fue la siguiente: 1) dos pasadas de excéntrica pesada de forma perpendicular entre sí, 2) armado primario de camellones con encanterador, 3) puesta del residuo a la dosis correspondiente en el lomo de camellón y 4) siete pasadas de rotovador para lograr un mezcla homogénea del suelo con la enmienda.

La herramienta mencionada en el último punto fue un rotovador modificado con un encanterador aplicado posterior al sentido de avance del tractor. Con esta modificación se disminuyó la pérdida del material incorporado hacia la entrefila, hecho observado por los responsables del proyecto mencionado en este y otro de los sitios evaluados y por los responsables de la quinta en donde se instaló el ensayo. No fue posible determinar visualmente cuanto de ese volumen puesto inicialmente sobre el lomo del camellón se pierde en este proceso.

3.5 MATERIAL VEGETAL UTILIZADO

A tal efecto se utilizaron 234 plantas clonadas de la variedad O'Neal (*Vaccinium corymbosum* L. Hybrids) del grupo Southern Highbush dispuestas en un marco de plantación de 3m entre filas y 1m entre plantas, implantadas en setiembre 2005. Las mismas tienen origen en un vivero especializado en el cultivo, esto asegura su estandarización en el proceso de cría y su calidad al momento de la implantación.

3.6 METODOLOGÍA EMPLEADA

Los resultados de las diferentes variables citadas con fecha anterior al comienzo de esta tesis (agosto 2007) surgen del proyecto dentro del cual se enmarca este trabajo.

Los análisis químicos de las muestras de suelo y de planta fueron realizados en su totalidad en los laboratorios de las Unidades de Edafología y Fertilidad de suelos del Departamento de Suelos y Aguas.

3.6.1 Muestreo y análisis de carbono orgánico de suelo

Se realizaron dos muestreos para determinar el contenido de carbono total del suelo (%), luego de agregado el mulch (julio 2007), en diciembre de 2007 y en mayo de 2008. Se tomaron muestras compuestas por 14 tomas, en forma estratificada, de 0 a 2cm. (efecto del mulch) y de 2 a 30cm. (efecto de la enmienda aplicada en el otoño 2005) de profundidad.

El muestreo se hizo con calador entre plantas y a lo largo de toda la parcela (15 tomas). Las muestras se secaron a 60° C, posteriormente se realizó un molido en mortero manual de hierro, en primera instancia y sin desechar fracciones. En segunda instancia se realizó una molienda fina durante 12 horas en frascos de 10cc con tres barras de metal dentro del mismo, en un molino rotatorio marca Sampletek Modelo 200 – vial rotator.

El carbono orgánico total del suelo (%) fue determinado por la metodología de Mebius modificado (Nelson y Sommers, 1996) y su determinación colorimétrica fue efectuada en un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 1- US / VIS.

3.6.2 Muestreo y análisis de nitrógeno orgánico de suelo

Se analizó el contenido total de nitrógeno mineral del suelo para la primera fecha de muestreo (amonio sin incubar + nitrato), cuatro meses luego de realizada la incorporación y previo a la implantación, en muestras extraídas en setiembre de 2005.

Se realizó la determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM) mediante la determinación de amonio. El compuesto fue extraído por incubación anaeróbica del suelo durante siete días a 40°C, condiciones consideradas óptimas para la mineralización por Waring y Bremner, citados por Bundy y Meisinger (1994). La extracción del amonio producido en la incubación se modificó, utilizando 50ml en vez de 12.5ml de KCl 2 en vez de 4M. El nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM) se estimó como la diferencia entre el amonio presente en muestras incubadas y el amonio presente al momento de la incorporación. El porcentaje de nitrógeno mineralizado puede ser estimado como $NPM / 10 / \text{nitrógeno total}$ (Morón y Sawchik, 2003) y se menciona al analizar la dinámica del nitrógeno en el suelo. Según los autores es coeficiente que puede ser utilizado como un promisorio indicador de la calidad del suelo, el cual está en función del uso previo del mismo.

El amonio se determinó colorimétricamente con phenylphenol, técnica reportada por Bundy y Meisinger (1994), tanto para muestras incubadas y no incubadas y el nitrato por

la técnica colorimétrica por reducción con cadmio cuperizado de Keeney y Nelson, citados por Bundy y Meisinger (1994).

La determinación de diferentes formas de nitrógeno tienen como objetivo explicar si la evolución del contenido de carbono orgánico (COT) observada, es posible con los contenidos de nitrógeno del suelo. Así se determinó por diferencia el nitrógeno que puede aportar en el mediano y largo plazo el suelo. Las lecturas fueron efectuadas en un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 1- US / VIS.

3.6.3 Muestreo y análisis foliar

Luego de quince días de terminada la cosecha y asumiendo ser un periodo donde los elementos se encuentran en mayor nivel y más estables en hoja (Spiers, 1982), se realizó el muestreo foliar de las parcelas o unidades experimentales. Se tomaron 10 hojas sanas y completamente desarrolladas por planta, conformando así una muestra compuesta. La hojas extraídas a tal fin fueron tomadas entre la cuarta y la sexta hoja contando desde el ápice del brote reproductivo (Gough, 1994).

Las muestras conformadas por un número mínimo de cincuenta hojas se llevaron en conservadora al laboratorio, se limpiaron con agua desionizada y se secaron en estufa a 60° C. Posteriormente se hizo un molido mecánico de las mismas en un molino de vegetales.

En este análisis se observó el contenido en porcentaje de nitrógeno total en hoja (base seca). Este elemento fue analizado por el método Kjeldahl desarrollado por Bremner y Mulvaney (1982) utilizando peróxido de hidrógeno y la fórmula que contempla la dilución para las lecturas de potasio y fósforo.

3.6.4 Cosecha y crecimiento de plantas

La cosecha analizada en este trabajo corresponde a la tercera hoja (segunda cosecha) a campo desde la implantación.

El periodo de cosecha duró treinta y seis días, distribuyéndose entre el 29 de octubre y el 3 de diciembre de 2007, realizándose ocho repases manuales en total. La misma fue realizada bajo los criterios comerciales de la quinta, con la excepción de que también se pesaron frutas de descarte, y las caídas frente a la parcela, de modo de obtener el rendimiento total por unidad experimental. Para la temporada 2008 - 2009 si bien no es objeto central de este trabajo, se cosechó toda la fruta (madura y verde) los días 6 y 7 de noviembre de 2008.

Se tomó el peso total por parcela de 13 plantas cada una y se contabilizó el número de frutos totales por parcela. Para la cosecha 2008 solo se contabilizaron frutos. Se

utilizaron para la colecta, Wuencos de plástico, Clamshell's y balanza digital portátil marca OHAUS Modelo CL 2000 (2000g x 1g) M 05.01.

El incremento en el crecimiento de plantas durante la temporada 2007 – 2008, fue determinado midiendo el largo total de 6 plantas por parcela. A tal efecto se midieron los metros lineales de varetas, ramas primarias, secundarias y brotes de corona, cargadores productivos y del año. Como punto de partida y marcando el inicio de la estación de crecimiento, se midieron plantas luego de la poda invernal en el año 2007. Previo a la poda invernal 2008, marcando el final de la temporada, se volvieron a medir las mismas, estimándose el incremento en el crecimiento en metros, como la diferencia en el largo de plantas entre ambos momentos. La determinación fue efectuada mediante el uso de cinta métrica flexible, utilizada en costura (1,5m).

3.7 ANALISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS

El análisis estadístico fue realizado con el programa InfoStat versión Profesional con el apoyo del equipo especializado en el tema del Departamento de Biometría, Estadística y Computación. El nivel de confianza utilizado en todos los casos es de 95%.

Se realizó un análisis de varianza de medias (ANOVA) para las variables especificadas en el punto anterior y para el siguiente juego de hipótesis:

Ho: La media de todos los tratamientos son iguales e iguales a la media general.

Ha: Existe al menos 1 tratamiento con una media diferente.

Una vez realizado el ANOVA y en caso de rechazarse Ho, se realizaron las siguientes pruebas:

- Prueba de comparación de medias por Contrastes Ortogonales para la variable %COT en suelo y Tukey cuando se compara la variable entre estratos de profundidad en un mismo tratamiento.
- Prueba de comparación de medias por Tukey para las variables %N, %P, %K, %Ca foliar en hoja, $\text{mg.Kg}^{-1}\text{NH}_4^+$, $\text{mg.Kg}^{-1}\text{NO}_3^-$, $\text{mg.Kg}^{-1}\text{NPM}$ en el suelo, rendimiento kg/parcela, número de frutos por parcela, peso medio de frutos e incremento en el crecimiento vegetativo (m) para la temporada 2007 - 2008. La variable número de frutos por parcela en la temporada 2008 -2009 también fue evaluada.
- Estimación de los parámetros del modelo que explica la distribución de la cosecha 2007 bajo los diferentes tratamientos y estimación de los intervalos de confianza de los mismos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El periodo de estudio de esta tesis se enmarca dentro de un proyecto de investigación que se ha llevado a cabo desde el otoño del año 2005 hasta la finalización del mismo en junio del 2008. En este sentido se debe destacar que todos los datos utilizados para el análisis de resultados previos a agosto 2007 son tomados como antecedentes¹, los comprendidos entre esa fecha y la finalización de esta tesis como resultados propios de este trabajo.

4.1 EVOLUCIÓN DEL CARBONO TOTAL DEL SUELO

En muchas oportunidades en ámbitos técnicos - productivos se asume que mediante manejo puede elevarse en el corto plazo el contenido de materia orgánica en el suelo. Sin embargo no se analiza que tan estable sea en el tiempo ese incremento. Este proceso debe analizarse mas detenidamente para no cometer errores conceptuales que sean transferidos en actividades de extensión, con consecuencias negativas en la aplicación de la tecnología de enmendado, utilizada a nivel comercial.

4.1.1 Ejercicio teórico cuantificando la evolución del carbono incorporado

Al analizar la evolución del contenido de carbono orgánico de suelo (%), se utiliza el modelo de dinámica de carbono propuesto por Tisdale et al. (1985). En base a esto se se infieren posibles resultados teniendo en cuenta la composición química detallada de los materiales utilizados y sus implicancias en los cálculos de las necesidades netas de aporte de carbono al sistema, para elevar 1% el contenido del elemento en el suelo.

A continuación se expone lo que ocurre teóricamente con el carbono incorporado en este experimento, utilizando para el análisis el tratamiento 2 (incorporación de aserrín de pino), dado que es el tratamiento que más carbono aporta al sistema en relación al resto de los materiales.

→ Supuestos asumidos

- 35% del carbono incorporado en restos frescos al sistema (naturalmente o por manejo), es utilizado para el crecimiento de la masa microbiana y en el largo plazo ese carbono forma compuestos mas estables como el humus, asociados con la fracción arcilla.
- 65% del carbono incorporado es utilizado para el crecimiento de la masa microbiana y liberado a la atmósfera por respiración como CO₂. Esta actividad comienza en forma inmediata luego de aplicada la enmienda y desciende paulatinamente a medida que se agota el sustrato³.

- No se toma en cuenta la pérdida anual de humus nativo del suelo producida por la respiración microbiana para realizar este balance.

→ Entrada de C necesaria para elevar 1% el COT del sustrato

- El suelo utilizado contiene inicialmente 2,2% de carbono orgánico y 1,7% a los 6 meses del laboreo inicial y densidad aparente de 1,25 (9 meses luego de incorporada la enmienda¹). Requiere en 30cm de profundidad, una incorporación neta de 8,8Mg de carbono por hectárea efectiva de cultivo (875Mg.ha⁻¹ de suelo) aproximadamente, para elevar 1% el contenido del elemento.
- Según este análisis en 30cm de altura o profundidad media aproximada de los camellones, debería incorporarse 25Mg brutas de carbono por hectárea efectiva de cultivo para elevar 1% el contenido de carbono.
- La incorporación de 360m³.ha⁻¹ de aserrín de pino es el tratamiento que genera mayor entrada de carbono al sistema, 31,7Mg por hectárea efectiva de cultivo o un tercio de hectárea absoluta (marco de plantación 3 x 1).
- Del carbono total incorporado por el tratamiento, 11,1Mg es fijado en la masa microbiana, pudiendo pasar a formar parte del humus del suelo en el largo plazo.
- De lo incorporado 20,6Mg de carbono aportado por el tratamiento es respirado a la atmósfera como CO₂.

→ Consideraciones

- El suelo utilizado contiene inicialmente 2,2% de carbono orgánico y 1,7% a los 6 meses del laboreo inicial y densidad aparente de 1,25 (9 meses luego de incorporada la enmienda¹). Requiere en 30cm de profundidad, una incorporación neta de 8,8Mg de carbono por hectárea efectiva de cultivo (875Mg.ha⁻¹ de suelo) aproximadamente, para elevar 1% el contenido del elemento.
- Según este análisis en 30cm de altura o profundidad media aproximada de los camellones, debería incorporarse 25Mg brutas de carbono por hectárea efectiva de cultivo para elevar 1% el contenido de carbono.
- Al momento de la incorporación por características del material utilizado, su deposición sobre el camellón y la maquinaria utilizada, se observaron pérdidas de enmienda hacia la entrefila. Esas pérdidas no fueron estimadas, pero fueron visualmente apreciables.

- Otra característica a tener en cuenta y en particular para el aserrín de pino es su granulometría, donde el 80% del material tiene partículas inferiores a los 1,7mm, aspecto que puede favorecer su oxidación.

En función de este razonamiento teórico el tratamiento con aserrín de pino, aserrín de eucalipto y la mezcla de ambos, cumplen con los requerimientos para elevar 1% el contenido de carbono de suelo durante el plazo de un año, dado que aportan más de 25,1Mg de carbono por hectárea efectiva de cultivo. Los tratamientos con turba y arroz no aportan el carbono necesario para elevar 1% el contenido de carbono en el plazo de un año y mucho menos en el mediano y largo plazo.

4.1.2 Evolución del carbono en tratamientos con enmiendas

El contenido de carbono en el tratamiento testigo a los 6 meses del laboreo inicial fue de 1,7%, mientras el contenido inicial registrado en el horizonte A de la calicata descrita para la caracterización del suelo del ensayo era de 2,2%. Se asume que todas las parcelas presentaron una pérdida de 0,5% de carbono orgánico en el periodo transcurrido entre el comienzo del laboreo y la primera fecha de muestreo. Estos resultados indican un fuerte deterioro del suelo y el descenso del elemento se debe a altas tasas de oxidación de la materia orgánica, resultado del laboreo descrito.

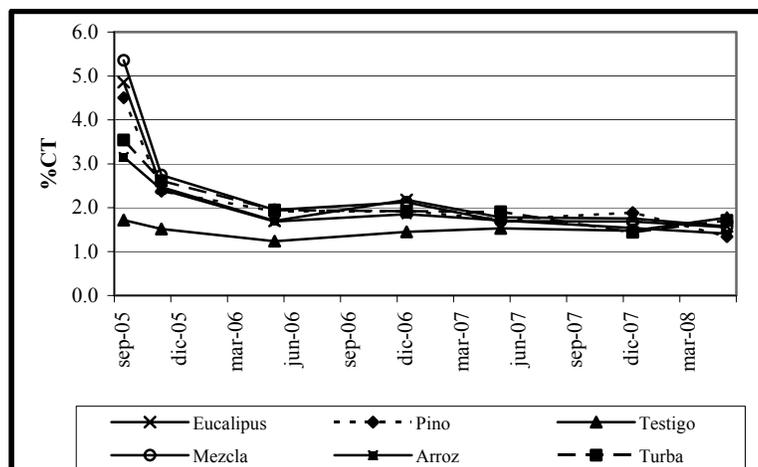
Este comportamiento puede analizarse homologando la situación descrita a un sistema de rotación cultivo- pastura, ya que se partió de una situación pastoril. En esta situación productiva se pasa de la fase de pastura a la fase de cultivo continuo, donde existe una pérdida permanente de carbono del sistema. Las tasas de oxidación dependen de los restos presentes y del sistema de laboreo utilizado fundamentalmente, donde el contenido de carbono en el suelo aumenta solamente en la fase de pastura (Silva 1995, Durán y García 2007).

Al laborear un suelo hay una inyección de oxígeno dentro del mismo, promoviendo el desarrollo de la población microbiana heterótrofa, resultando en una mayor tasa de respiración de carbono, el cual se pierde en forma de CO₂ (Tisdale et al. 1985, Silva 1995, Durán y García 2007).

El intenso laboreo que sufre el suelo previo a la implantación definitiva del cultivo de arándano, en muchas situaciones del sur del país, tiene impacto negativo en todos los tratamientos propuestos en este experimento, porque la población microbiana va a utilizar como sustrato el material agregado⁴ y el carbono nativo menos estable.

En la figura 1 se observa el contenido de carbono orgánico de suelo bajo los diferentes tratamientos para las siete fechas de muestreo, el primer muestreo (setiembre 2005) fue realizado 4 meses luego de la incorporación.

Figura 1: Evolución del contenido de carbono total (%) en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N.



Nota: Figura modificada de Alliaume et al 2007¹.

Los aumentos en el contenido de carbono en la primera fecha de muestreo en tratamientos con enmienda reflejan que el carbono incorporado con las enmiendas 4 meses antes, permanece aún prácticamente en su totalidad en el camellón. Sin embargo, esa materia orgánica es lábil y está sujeta a rápida descomposición microbiana (Tisdale et al. 1985, Cambardella y Elliot 1992), por lo que es explicable el descenso registrado en los meses siguientes.

Probablemente el contenido del elemento en el sustrato (camellón enmendado) haya sido algo superior entre fines de abril y setiembre de 2005 y se haya perdido carbono por respiración microbiana pese a las bajas temperaturas invernales. A su vez el periodo comprendido entre el 9 de setiembre y 29 de noviembre de 2005 presentó temperaturas del aire levemente superiores al periodo de referencia 2000 – 2007, mientras que la precipitación acumulada ese año fue 1124mm (anexo 2). En forma previa al muestreo de setiembre y en octubre 2005, el suelo tenía un contenido de humedad cercano a capacidad de campo⁵ (anexo 3). Todos estos datos sostienen que la humedad del suelo y la temperatura del aire en las condiciones iniciales del ensayo no fueron factores limitantes para la actividad microbiana, explicando la evolución del carbono registrada.

Las tasas de pérdida de carbono del sustrato son mayores en los primeros 77 días luego del primer muestreo, entre setiembre de 2005 (4 meses luego de la incorporación) y noviembre del 2005. En este sentido se observa una disminución promedio del contenido de carbono del 40% para todos los tratamientos con enmienda y del 10% para el tratamiento testigo respecto al contenido en setiembre 2005. A los 259 días de realizado el primer muestreo las pérdidas de carbono son de 60% y 30% respectivamente. Las tasas de oxidación de la materia orgánica incorporada en este

experimento tienen la misma tendencia que la reportadas por Bohn et al. (1993) para materiales con relación C/N menores (entre 20 y 70). Este autor registra picos de emisión de CO₂ producto de la respiración microbiana que descienden conforme disminuye el contenido de carbono en el suelo, en el plazo inmediato de realizada la incorporación.

Es apreciable en la figura 1 el descenso en valores absolutos en el contenido de carbono orgánico del sustrato en toda la profundidad del camellón hasta aproximadamente un año luego de realizada la incorporación (mayo del 2006), inclusive en las dos últimas fechas analizadas donde la variable se estimó entre los 2cm – 30cm de profundidad, luego de incorporado el mulch orgánico en junio del 2007. El sistema se muestra más estable desde mayo del 2006, momento a partir del cual existen fluctuaciones en el contenido de carbono, manteniendo diferencias estadísticas a favor de las parcelas enmendadas respecto al tratamiento testigo hasta mayo del 2007 (figura 1).

El contenido de carbono en los camellones enmendados fue significativamente mayor que en el tratamiento sin enmienda hasta 25 meses de realizada la incorporación de enmiendas,. Luego de este período no existen diferencias, evidenciando que el carbono incorporado con las enmiendas se perdió, principalmente por oxidación de los microorganismos, ya que la presencia de Munch y grado de pendiente no hacen sospechar que haya ocurrido un proceso de erosión. Por otro lado, no hubo en este período nuevos aportes de carbono en profundidad (cuadro 6). Este resultado es de gran importancia para el sector productivo porque corrobora que el uso indistinto de las enmiendas evaluadas, a la dosis incorporada y en este tipo de suelo, se traduce en el aumento del carbono orgánico del suelo durante los dos primeros años de implantación del cultivo.

En el cuadro 6 se detallan los niveles de carbono medidos en los diferentes sustratos y en el tratamiento testigo. Como era de esperar, los tratamientos que más carbono aportan a igualdad de volumen incorporado (cuadro 3) son los tratamientos que mayor contenido de carbono orgánico presentan en la primera fecha de muestreo.

En relación a lo expuesto anteriormente, si al momento de decidir el uso de materiales orgánicos para la incorporación, el criterio fuera aplicar el mismo contenido de carbono independientemente del material utilizado, los volúmenes a aplicar en cada tratamiento serían sensiblemente diferentes. Si se toma el tratamiento de pino como base para hacer los cálculos, con 31,7Mg de carbono aportadas, por hectárea efectiva de cultivo, los volúmenes para el resto de los tratamientos serían 890m³ (turba), 720m³ (cáscara de arroz), 420m³ (aserrín de eucalipto) y 390m³ (mezcla de aserrín de pino y eucalipto) aproximadamente. Esto repercute sensiblemente en los costos de instalación del cultivo.

Se infiere que el carbono orgánico incorporado ha intervenido fuertemente en la mejora de las condiciones físicas del suelo, disminuyendo en forma significativa la densidad aparente a través del aumento de la macroporosidad (no es objeto de estudio) y optimizando el medio de crecimiento y desarrollo del cultivo de arándano, redituando un mayor crecimiento de las plantas y en consecuencia un mayor rendimiento de fruta como se discute mas adelante.

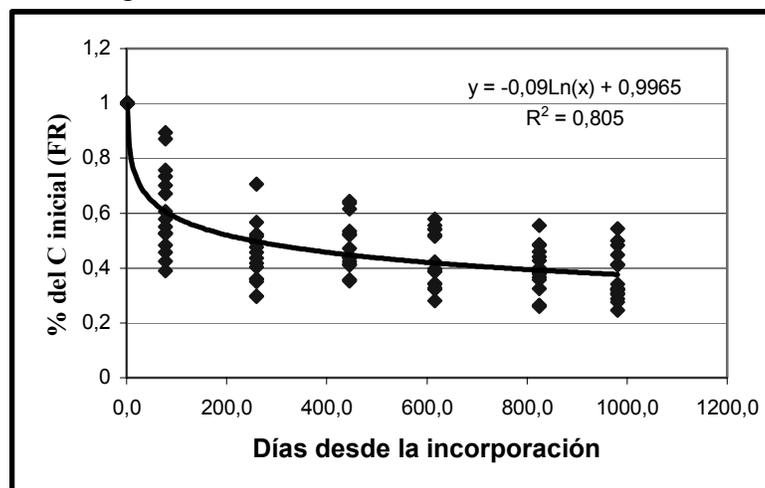
Cuadro 6: Evolución del carbono orgánico total (%) en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N, desde 4 a 36 meses de la incorporación.

	Set 05	Nov 05	May 06	Dic 06	May 07	Dic 07	May 08
Tratamientos	0-30 cm.					2-30 cm.	
Aserrín Eucaliptus	4,9	2,5	1,7	2,2	1,8	1,8	1,6
Aserrín Pino	4,5	2,4	1,9	1,9	1,7	1,9	1,3
Suelo solo (testigo)	1,7	1,5	1,2	1,5	1,5	1,5	1,8
Mezcla (E+P)	5,4	2,7	1,9	2,1	1,7	1,7	1,6
Cáscara Arroz	3,2	2,4	1,7	1,9	1,7	1,5	1,4
Turba	3,5	2,6	1,9	1,9	1,9	1,4	1,7
CV %	8	21	19	14	8	14	10
C. O. testigo vs. enmiendas p - valor	<0,0001	0,0091	0,0179	0,0091	0,0227	n. s.	0,0253

- n.s = no significativo

Las tasas de oxidación observadas en la figura 2 para los tratamientos con enmienda se ajustaron a una ecuación logarítmica donde se estima como variable dependiente la proporción de carbono en relación al contenido inicial (frecuencia relativa) del carbono orgánico presente en el suelo, en función del tiempo transcurrido desde la incorporación. La curva ajustada es válida para la descomposición de los materiales a partir de los 4 meses de realizada la incorporación, de la dosis de enmienda utilizada, de los materiales utilizados, del suelo enmendado y del manejo comercial de la fertilización nitrogenada, entre otros factores no controlados como el clima. No es correcto aplicar la misma extrapolando sus parámetros a otras condiciones de producción y en las condiciones de este experimento sirve para obtener valores de orientación.

Figura 2: Tasas de oxidación del carbono en camellones a partir del cuarto mes de incorporar enmiendas de alta relación C/N al suelo.



Los resultados analizados hasta el momento evidencian una rápida desaparición del carbono incorporado mediante materiales de alta relación C/N, comportamiento esperable para materiales de baja relación C/N. Estos resultados indican que el carbono así como otros nutrientes inmovilizados en las primeras etapas (35% de lo incorporado de acuerdo a los cálculos realizados con el modelo propuesto por Tisdale et al., 1985) es luego ciclado rápidamente y respirado posteriormente por nuevas generaciones de microorganismos, y que este proceso es reiterado rápidamente en el corto plazo (Perdomo y Barbazán, 1999). Esto explicaría porqué luego del año de realizada la incorporación, no queda en el sustrato el 35% de C aportado por las enmiendas que debería quedar según el modelo propuesto por los mencionados autores.

Particularmente en mayo del 2008 el suelo solo (testigo) el contenido absoluto de carbono orgánico es mayor que el resto de los tratamientos (cuadro 6). Un posible factor que incida en la respuesta planteada anteriormente es la diferente distribución del sistema radicular en el perfil del camellón. En el suelo solo sin mulch orgánico, sus raíces exploran a mayor profundidad el perfil, las cuales enriquecen la muestra extraída, con raíces frescas. Este efecto no es observado para el resto de los tratamientos donde se observó visualmente que el mayor desarrollo de raíces ocurre en la fase de contacto entre el mulch orgánico y los dos primeros centímetros de camellón, por lo que no estarían aportando carbono en la profundidad analizada (2 a 30cm). Un segundo factor, que da mayor sustento a este resultado, es que la adición de materia orgánica al suelo puede provocar estimulación de la descomposición del humus nativo, efecto que se conoce como efecto renovador o “priming effect” (Frioni, 1999) y estaría repercutiendo sobre aquellas parcelas que fueron enmendadas y que se les agregó mulch orgánico en mayo del 2007.

4.1.3 Evolución del carbono bajo tratamientos con mulch

Para el caso de camellones enmendados se realizó la aplicación del mismo material en forma de mulch a excepción de los tratamientos de turba y cáscara de arroz para los cuales se utilizó paja de trigo (cuadro 5). En el caso de turba se está ante un material importado de alto costo y en el caso de la cáscara de arroz se ha tomado en cuenta que la misma es fácilmente removida por vientos cuando se encuentra en superficie. El tratamiento testigo permaneció bajo nylon.

La evolución en el tiempo de esta variable, medida entre los 0 – 2cm de profundidad, no es significativa entre tratamientos a 7 y 13 meses de realizada la incorporación del mulch (cuadro 7). Con excepción del tratamiento con mulch de eucalipto para el cual se observa una tendencia al incremento en los valores absolutos en el carbono orgánico de suelo, luego de 11 meses de aplicado el nuevo tratamiento y en los primeros 2 centímetros de camellón, el resto de los tratamientos presentan tendencias al descenso en valores absolutos del elemento, efecto que podría explicarse por la respiración microbiana⁴ en la interfase de descomposición mulch – camellón.

Cuadro 7: Evolución del carbono orgánico total (%) en camellones con diferentes mulch orgánicos y de nylon, 7 y 13 meses luego de su aplicación.

Mulch / Enmienda	Dic 07	May 08
Tratamiento	0-2 cm.	
Aserrín E. / Aserrín E	1,9	2,4
Aserrín P. / Aserrín P.	3,3	1,8
Nylon / Suelo solo	1,5	1,3
Mezcla (E+P) / Mezcla (E+P)	2,7	2,4
Paja de trigo / Cáscara Arroz	1,9	1,8
Paja de trigo / Turba	2,2	1,9
CV %	32	23
C. O. testigo vs. enmiendas p - valor	n. s.	n. s.

- n.s = no significativo

Es esperable que se observen incrementos significativos de carbono orgánico en el suelo en el largo plazo, con el agregado anual de mulch orgánico. Debe observarse la evolución del elemento de continuarse con el manejo, el cual a “priori” en algún momento tendrá diferencias significativas con el tratamiento testigo (suelo solo – mulch de nylon) en los primeros 2cm de profundidad. Esta hipótesis se basa fundamentalmente en que el mulch orgánico incorpora carbono y en que los aserrines incorporan mayor cantidad del elemento respecto al resto de los tratamientos. Además el sistema se estabilizará al no haber movimientos de suelo. La metodología de muestreo constituye

uno de los factores más difíciles de uniformizar, pues reconocer durante el muestreo donde termina el mulch orgánico y comienza el camellón, tiene dificultades que se reflejan en los altos coeficientes de variación observados para la variable respecto a cuando la misma se analiza entre los 2 y 30cm (cuadro 7).

En virtud de los datos obtenidos se ha planteado un nuevo análisis estadístico, comparando si existen diferencias estadísticas significativas en el contenido de carbono entre diferentes estratos del camellón, bajo un mismo tratamiento (cuadro 8).

Se observa que el contenido absoluto de carbono del tratamiento testigo, en los primeros 2cm de suelo en mayo de 2008, es menor que el contenido de 2cm a 30cm para la misma fecha (cuadro 8). Esto puede ser explicado por condiciones de alta temperatura en los primeros 5cm de suelo, por debajo del mulch de nylon, que a fines de octubre llegaban a 28° C de máxima, marcando diferencias respecto al tratamiento con mulch de paja de trigo⁵ (anexo 4). Conjuntamente con la temperatura, en superficie se dan condiciones de humedad constante en meses estivales, producto del riego, que benefician la actividad microbiana que respira la materia orgánica presente.

Al igual que en tratamientos con enmiendas, los tratamientos con mulch orgánico que incluyen aserrines son aquellos en lo que existe clara tendencia a incrementar el carbono en los primeros dos centímetros de profundidad del camellón, por ser los tratamientos que mas aporte del elemento hacen al sistema. Lo mismo ocurre con el mulch de paja de trigo (cuadro 8). Bajo este enfoque, nuevamente se expresa la dificultad metodológica para un muestreo estratificado en las condiciones del sustrato obtenido, evidenciado por los altos coeficientes de variación dentro e una fecha de muestreo y entre fechas para un mismo tratamiento.

La tecnología de aplicación de mulch debe ser evaluada en el largo plazo comprendiendo varios periodos de aplicación de material y con ajuste metodológico. Sin perjuicio de ello los datos primarios obtenidos permiten inferir que la misma es válida y que la ganancia de carbono en los primeros centímetros del camellón respecto a la profundidad de 2 a 30cm redunda en un mejor medio para el crecimiento de raíces⁵.

Cuadro 8: Evolución del carbono orgánico total (%) en diferentes estratos de camellón, bajo diferentes mulch orgánicos y de nylon, 7 y 13 meses luego de la aplicación.

Tratamiento (Mulch/Enmienda)	Profundidad (cm)	Dic 07	May 08
<u>Aserrín E. / Aserrín E.</u>	0 - 2	1,9 a	2,4 a
	2 - 30	1,8 a	1,6 a
CV %		24	21
ANOVA p - valor		n. s.	n. s.
<u>Aserrín P. / Aserrín P.</u>	0 - 2	3,3 a	1,8 a
	2 - 30	1,9 a	1,3 b
CV %		33	5
ANOVA p - valor		n. s.	0.0215
<u>Nylon / Suelo solo</u>	0 - 2	1.5 a	1.3 a
	0 - 30	1.5 a	1.8 a
CV %		8	24
ANOVA p - valor		n. s.	n. s.
<u>Mezcla (E+P) / Mezcla (E+P)</u>	0 - 2	2.7 a	2.4 a
	0 - 30	1.7 b	1.6 a
CV %		7	33
ANOVA p - valor		0.0151	n. s.
<u>Paja de trigo / Cáscara Arroz</u>	0 - 2	1.9 a	1.8 a
	2 - 30	1.5 a	1.4 b
CV %		8	5
ANOVA p - valor		n. s.	0.0341
<u>Paja de trigo / Turba</u>	0 - 2	2.2 a	1.9 a
	0 - 30	1.4 a	1.7 a
CV %		17	10
ANOVA p - valor		n. s.	n. s.

- Letras diferentes muestran diferencias significativas (Tukey, $\alpha < 0,05$).
- n.s = no significativo

4.2 CONTENIDO MINERAL DE NITRÓGENO EN EL SUELO

En muestras extraídas en setiembre de 2005, a 4 meses de realizada la incorporación de enmiendas al suelo, se determinó el nitrógeno mineral con el objetivo de explicar la tasa de mineralización del carbono analizada en este trabajo.

Se examina que rol juega el nitrógeno en la dinámica del carbono, dado que lo que ocurre con este último no solo esta en función de las relaciones C/N de los materiales incorporados, sino también de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Otros factores mencionados por Frioni (1999) que afectan la evolución de la materia orgánica del suelo

son la actividad del ión hidrógeno en solución, disponibilidad de oxígeno, temperatura, humedad, etc., entre otros

Se determinó analíticamente el contenido de nitrógeno mineral total (amonio + nitrato), disponible cuando se inicia el muestreo de carbono ya que en los tres meses posteriores a esta fecha es cuando se registra la mayor tasa de pérdida de este elemento. También se determinó el nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM), de manera de obtener una estimación de la disponibilidad del elemento que pueda mineralizarse en el mediano plazo. Con esta información se infiere si el nitrógeno del suelo fue factor limitante o no para explicar la desaparición de carbono registrada en las primeras fechas de muestreo.

Con el análisis propuesto por Tisdale et al. (1985) puede arribarse a cálculos teóricos del nitrógeno inmovilizado por los microorganismos, producto del agregado de restos orgánicos con alta relación C/N. Este proceso es potenciado por el uso de riego en meses estivales (Videla et al., 2005), en donde se procura mantener cerca de capacidad de campo el suelo. Teóricamente cada diez partes de carbono fijadas por un microorganismo en su biomasa, se inmoviliza una parte de nitrógeno y la relación C/N de equilibrio en el suelo en promedio es 9/1 (Tisdale et al. 1985, Perdomo y Barbazán 1999).

Para el razonamiento teórico propuesto se utiliza el tratamiento 2 (aserrín de pino) del experimento planteado, dado que es el tratamiento que menos nitrógeno y más carbono aporta al sistema. En consecuencia puede esperarse una mayor inmovilización de nitrógeno para la respiración y mineralización del material incorporado.

→ Supuestos asumidos

- El nitrógeno que aporte la enmienda es inmediatamente inmovilizado por los microorganismos, proporcionalmente a la oxidación del carbono proveniente de la misma.
- Todas las parcelas experimentales parten de 1,7% de carbono orgánico en el suelo al ser enmendadas, significan 14,8Mg de carbono por hectárea efectiva de cultivo o un tercio de hectárea absoluta (875Mg.ha⁻¹ de suelo).
- El suelo utilizado tiene una relación C/N 9/1.

→ Análisis teórico

- El contenido de nitrógeno orgánico de suelo es de 1,6Mg (0.18%) por hectárea efectiva de cultivo de nitrógeno total (1,9g.Kg⁻¹ de suelo).

- La incorporación de 360m³ de aserrín de pino es el tratamiento que genera mayor entrada de carbono y menor entrada de nitrógeno al sistema, 31,7 y 0,1Mg respectivamente, por hectárea efectiva de cultivo.
- El contenido de nitrógeno en la masa microbiana de acuerdo al razonamiento planteado por Tisdale et al. (1985) es 1,1Mg al inmovilizarse el 35% del carbono incorporado.

→ Aspectos a tomar en cuenta para este razonamiento

- Entre las fechas de setiembre y noviembre de 2005 se incorporan 12 unidades de nitrógeno por hectárea efectiva de cultivo. Se asume que la planta no esta extrayendo el elemento dado que las raíces no han explorado aún, más allá del volumen de la maceta de vivero en la cual venían.
- Los microorganismos inmovilizan 1Mg de nitrógeno mineral, para inmovilizar el 35% del carbono incorporado por el tratamiento con aserrín de pino, por hectárea efectiva de cultivo.

A los 77 días de la primera fecha de muestreo, en este tratamiento queda el 53% del carbono respecto a la fecha inicial en setiembre de 2005. Significa que se ha perdido 18,4Mg de carbono, de las cuales el 35% esta en la masa microbiana. Por lo tanto se inmovilizaron en ese periodo 644Kg de nitrógeno. De lo inmovilizado, si todo el carbono consumido fuera de la enmienda, la misma aportaría 47Kg de nitrógeno y 12Kg provendrían de la fertilización nitrogenada. La incógnita es si el suelo es capaz de aportar en ese periodo los restantes 585Kg de nitrógeno por hectárea efectiva de cultivo, aspecto que se analiza en el siguiente punto.

4.2.1 Contenido de nitrógeno mineral inicial y potencialmente mineralizable

→ El caso del pino

El contenido de nitrógeno en forma de amonio, presente en el suelo a 4 meses de la incorporación fue de 11Kg de nitrógeno por hectárea efectiva de cultivo (marco de plantación 3 x 1).

El contenido de nitrógeno en forma de nitrato fue 2Kg de nitrógeno, por hectárea efectiva de cultivo (marco de plantación 3 x 1).

Durante la incubación anaeróbica el tratamiento mineralizó 53Kg de nitrógeno (NPM), lo que significa 3,2% del nitrógeno orgánico total del sustrato asumido. Estos valores son iguales a lo registrado en el tratamiento testigo (suelo solo). Su valor puede

ser tomado conceptualmente como un indicador de calidad de suelo, relacionándose con su uso previo, según lo reportado por Morón y Sawchik (2003). El valor estimado en este experimento refleja un suelo poco degradado, lo cual coincide con su uso pastoril previo. No obstante, el suelo está degradado respecto a su situación original, dado que el contenido de materia orgánica (3.8%) determinado en las muestras extraídas del horizonte superficial para la caracterización del perfil, está dentro del rango inferior para los Brunosoles Eutricos cuya media es de 5.8% de materia orgánica (Duran, 1991).

Desde la incorporación y mezclado de las enmiendas con el suelo, se dan seguramente en forma paralela, pérdidas de carbono producto de la oxidación de materia orgánica nativa y restos de pastura, cuya relación C/N sea menor. Esta situación demandaría menor cantidad de nitrógeno por inmovilización microbiana. En este sentido el carbono nativo en parcelas testigo decayó 0.2% (figura 1), luego del primer muestreo. Sin embargo el consumo de carbono proveniente de restos nativos en parcelas enmendadas pudo haber sido en mayor magnitud por efecto de renovación o “priming effect” de acuerdo a lo planteado por Frioni (1999).

Esto significa que la materia orgánica del suelo, heredada de la cobertura pastoril, no esta estabilizada aún, existen restos lábiles sujetos a rápida mineralización según lo reportado por Cambardella y Elliot (1992), que están aportando fracciones importantes de nitrógeno al mineralizarse (Frioni, 1999).

En 77 días se necesitarían mineralizar 585Kg según el análisis planteado con el modelo de Tisdale et al. (1985) para que fuera posible el descenso de carbono del período. Los ciclos microbianos en ese período, pueden aportar nitrógeno como nitrato en un proceso simultaneo de mineralización e inmovilización de nitrógeno, que estarían siendo tomados por nuevas generaciones de microorganismos y o grupos de estos que a su vez respiran el carbono (vegetal y microbiano) que aún esta presente en el suelo, mediante un ciclo rápido de carbono y nitrógeno, así como otros nutrientes (Perdomo y Barbazán, 1999). Bajo este razonamiento podrían esperarse en ese período liberaciones de nitrógeno que ofician de fuente para nuevas generaciones de microorganismos, retomando el consumo del carbono lábil restante, proceso independiente de la mineralización del pool de nitrógeno, presente en el suelo. En este sentido, para un suelo Brunosol Subéutrico, bajo uso hortícola en invernáculo y sin incorporaciones de ningún tipo, Beretta y Palumbo (2004) reportan un pico de liberación de nitrato aproximadamente a 2 meses luego del laboreo realizado en forma temprana en la primavera. Este pico de liberación coincide estacionalmente con el período analizado en este experimento y además se enmarca luego de un laboreo, respaldando lo obtenido en este ensayo.

Los resultados obtenidos para el nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM), las condiciones de uso previo de suelo, la hipótesis de un ciclo rápido de carbono – nitrógeno y otros nutrientes, así como los valores del porcentaje de nitrógeno

mineralizado, pueden estar explicando la evolución en el contenido de carbono, tras la aplicación de estas enmiendas. En consecuencia a lo expuesto, se estima que el suelo es capaz de solventar la inmovilización de nitrógeno producida por la incorporación para obtener una descomposición total del carbono incorporado con el aserrín de pino o de gran parte del carbono nativo del suelo original.

→ Nivel de nitrógeno en todos los tratamientos

El nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM) fue significativamente menor en el tratamiento con turba al comparar los tratamientos, 4 meses luego de realizada la incorporación (setiembre 2005). La variable presentó en promedio de todos los tratamientos a excepción de turba un aporte de 44Kg de nitrógeno por hectárea efectiva de cultivo (marco de plantación 3 x 1). Al comparar tratamientos sin tomar en cuenta el tratamiento con turba para el análisis estadístico, no existen diferencias estadísticas entre los mismos (cuadro 9).

El tratamiento con turba generó un medio ácido que se diferenció estadísticamente del resto de los tratamientos a excepción del tratamiento mezcla en las primeras fechas de muestreo (setiembre, noviembre y diciembre 2005) siendo en promedio 4,4¹, medido en agua. Esto pudo haber interferido negativamente en la cantidad de nitrógeno mineralizado durante la incubación por generar un medio poco propicio para la actividad de los microorganismos involucrados en tal proceso (Perdomo y Barbazán, 1999). Se han mineralizado en el tratamiento con turba 17Kg de nitrógeno. Sin embargo al estimarse el nitrato presente en el suelo en la primera fecha de muestreo (setiembre 2005) se obtuvo diferencias significativas en favor de la turba respecto del resto de los tratamientos (cuadro 9). Una posible explicación es que se haya producido un pico de mineralización entre la incorporación (abril 2005) y la fecha analizada (setiembre 2005) y que debido a esto la cantidad de nitrógeno potencialmente mineralizable sea menor y el contenido de nitrógeno como nitrato sea acumulado en el suelo.

El contenido de nitrógeno en forma de nitrato presente en el suelo 4 meses luego de la incorporación, presentó diferencias entre tratamientos (cuadro 9). La variable presentó en promedio de todos los tratamientos a excepción de turba un aporte 2,7Kg de nitrógeno por hectárea efectiva de cultivo (marco de plantación 3 x 1). El valor de nitrato en el tratamiento con turba es seguido del tratamiento testigo (suelo solo) pero con contenidos muy inferiores (1.8Kg de nitrógeno por hectárea efectiva de cultivo), respecto de la turba. Existe una importante inmovilización de nitrógeno en forma de nitrato en tratamientos con enmienda (a excepción de lo observado con turba), pero en menor magnitud en el suelo solo, hecho explicado por la oxidación de los residuos aportados por la fase de pastura (cuadro 9). Al comparar tratamientos sin tomar en cuenta el tratamiento con turba para el análisis estadístico, existen diferencias estadísticas entre los mismos siendo mayor el contenido en el tratamiento testigo, hecho

que reafirma lo expuesto, sin embargo este análisis eleva el coeficiente de variación a 65%, muy por encima de límites confiables.

El nitrógeno en forma de amonio presente en el suelo 4 meses luego de la incorporación no presenta diferencias entre tratamientos (cuadro 9). En promedio todos los tratamientos aportan 14Kg de nitrógeno por hectárea efectiva de cultivo (marco de plantación 3 x 1). Al comparar tratamientos sin tomar en cuenta el tratamiento con turba para el análisis estadístico, tampoco existen diferencias estadísticas entre los mismos. Existe para este compuesto un proceso de concentración en el suelo, resultado que es coherente con la humedad de suelo previa al muestreo, la cual fue cercana a capacidad de campo, las precipitaciones acumuladas y las temperaturas del aire del año 2005 (anexo 2 y 3).

Cuadro 9: Nitrógeno potencialmente mineralizable, Amonio y Nitrato en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N, a 4 meses de la incorporación.

Tratamiento	NPM	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NT*
	(mg.Kg ⁻¹)			
Aserrín Eucalipto	48,94 a	16,71	1,34 b – (b)	18,05
Aserrín Pino	60,67 a	12,47	2,16 b – (b)	14,63
Suelo solo	61,01 a	15,42	8,56 b – (a)	23,98
Mezcla (E+P)	42,15 ab	17,17	0,72 b – (b)	17,89
Cáscara Arroz	49,09 a	16,71	0,62 b – (b)	17,33
Turba	20,13 b	16,50	52,06 a	68,56
CV %	18	15	37	n. c.
ANOVA p-valor	0,0014	n. s.	<0.0001	n. c.

- Letras diferentes muestran diferencias significativas (Tukey, $\alpha < 0,05$).
- (*) Contenido de nitrógeno total como la suma del NH₄⁺ y NO₃⁻ presentes en el suelo diez días luego de la incorporación.
- Letras negras diferentes muestran diferencias significativas (Tukey, $\alpha < 0,05$) cuando no se toma el tratamiento con turba para el análisis.

4.3 CONTENIDO DE NITRÓGENO FOLIAR

El agregado de enmiendas de alta relación C/N (>20) como las utilizadas en este trabajo, desencadena procesos de inmovilización de nitrógeno producto de la descomposición de restos (Tisdale et al. 1985, Perdomo y Barbazán 1999, Frioni 2006). Este proceso podría a “priori”, repercutir negativamente en el crecimiento y rendimiento de plantas en parcelas enmendadas y no tendría efecto alguno en el tratamiento propuesto como testigo, en cuanto a la disponibilidad del elemento para las plantas.

La estimación de esta variable podría indicar la cantidad de nitrógeno mineral disponible en el suelo, en relación al descenso en el contenido de carbono orgánico del mismo.

Sin embargo, los muestreos foliares se realizaron 18 meses luego de la incorporación (año 2006) y 30 meses en el caso de la segunda cosecha (año 2007), momentos en los cuales las relaciones C/N de suelo son mas bajas en relación a las condiciones iniciales de incorporación. En consecuencia la demanda de nitrógeno para la mineralización de restos, será menor. Sumado a lo anterior, se ha reportado que los arándanos, necesitan de una mínima fertilización para su óptimo crecimiento (Spiers y Braswell, 1986). Debido a esto, no es válido concluir sobre la real disponibilidad del nitrógeno en el suelo para la mineralización de la materia orgánica registrada al inicio del ensayo, pero si lo es para determinar si había limitantes nutricionales en la temporada analizada.

Los niveles de nitrógeno foliar luego de la segunda cosecha en tercera hoja, no presentan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y los valores son similares a los resultados del análisis foliar, luego de la primera cosecha a segunda hoja¹ (cuadro 10). Estos resultados son similares a los obtenidos en otro sitio de estudio del proyecto en el cual se enmarca este trabajo, en plantas del mismo cultivar, pero con condiciones de suelo y de manejo del mismo diferentes.

Cuadro 10: Contenido de macro nutrientes en hoja (base seca) en la variedad de arándano O'Neal (tercera hoja), creciendo en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N.

Tratamiento	N %	P %	K %	Ca %
Aserrín Eucaliptus	1,90	0,08	0,83	0,66
Aserrín Pino	1,73	0,08	0,84	0,71
Suelo solo	1,53	0,07	0,80	0,63
Mezcla (E+P)	1,70	0,08	0,81	0,70
Cáscara Arroz	1,87	0,08	0,81	0,64
Turba	1,87	0,08	0,82	0,68
CV%	12	14	4	6

Los resultados indican tanto a fin de cosecha 2006 (datos no presentados) como a fin de cosecha 2007, que el nitrógeno no es limitante para actividades fisiológicas como rendimiento y crecimiento, en parcelas enmendadas, aspectos que se profundizan mas adelante. La tendencia a mayores contenidos foliares absolutos del elemento en parcelas enmendadas y el tiempo transcurrido entre la incorporación de los materiales y el muestreo foliar, poco indican acerca de la disponibilidad del nutriente en el suelo, para las tasas de mineralización de materia orgánica, registradas entre setiembre y noviembre de 2005.

Los niveles en el contenido de nitrógeno foliar observados, coinciden plenamente con los valores obtenidos por Ferreira et al. (2001) evaluando la producción de arándanos tipo ojo de conejo en macetas enmendadas con aserrín de pino (sustrato de pH= 4,5) y bajo riego con aguas de diferente pH (2 a 7,2). Los contenidos de fósforo también son similares, mientras que los valores de potasio son mayores, bajo cualquiera de los tratamientos planteados por los autores. En cuanto al contenido foliar de calcio, son similares cuando se los compara con agua de riego con pH 4.

Al comparar el contenido de nitrógeno foliar con el rango de deficiencia y exceso reportado por Spiers (1982), se observa que todos los tratamientos con excepción del suelo solo (testigo) están levemente por encima del óptimo. Los datos obtenidos son muy similares a lo reportado por el mismo autor en otro trabajo publicado en 1992 para los contenidos de nitrógeno y fósforo. En este último trabajo los suelos fueron fertilizados con 14N-4P-7K (no especifica la cantidad), donde el nitrógeno aportado fue como sulfato de amonio y los suelos fueron enmendados con diferentes dosis de azufre elemental en polvo, aplicadas en diferentes momentos y donde el pH de suelo entre tratamientos no tuvo diferencias significativas. En ambos trabajos Spiers utilizó la variedad Tifblue, perteneciente al grupo ojo de conejo. Es de destacar que el autor utilizó suelos, variedades y manejos diferentes a los de este experimento, por lo que en caso de ajustarse en el futuro, rangos de déficit / exceso de elementos, para las condiciones productivas del Uruguay, no necesariamente deben de coincidir plenamente con los del autor.

El contenido de nitrógeno guarda la misma relación que lo reportado por Townsend (1973) donde plantas en parcelas enmendadas con aserrín y turba, tienen mayores contenidos absolutos de este elemento respecto del testigo. A diferencia del presente trabajo, el autor solamente aplicó fertilización nitrogenada sobre los tratamientos con enmiendas y no sobre el suelo sin enmienda (testigo). La misma consistió en 3g de nitrógeno por planta como fertilización de fondo, utilizando una dosis incremental, conforme a la edad del cultivo, hasta llegar a 21g en la sexta temporada evaluada. Sin embargo los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas rectificando que la especie requiere de una mínima fertilización (Spiers y Braswell, 1986). Hay que destacar que Townsend (1973) evaluó el cultivar Blueray que pertenece al grupo Highbush, al igual que O'Neal.

La variedad evaluada presentó similares contenidos de nitrógeno foliar que Berkeley, Blueray, Northland y Rubel, todas pertenecientes al grupo Highbush. Estas fueron evaluadas en seis temporadas por Lareau (1988) en un experimento factorial donde se evaluaron los comportamientos productivos de estos cultivares bajo diferentes manejos de suelo (enmienda, mulch) y niveles de fertilización nitrogenada. Estos resultados están en la línea de lo planteado por Spiers y Braswell (1986), donde las diferencias en la fertilización y manejo de suelo no interfieren en el contenido de nitrógeno en planta.

El reciclaje permanente de nitrógeno que aporta el suelo más lo proveniente de la fertilización nitrogenada desde la implantación hasta la temporada analizada y el descenso en la demanda del elemento por la disminución en los niveles de carbono, pueden estar explicando en parte el nivel del elemento a nivel de hoja y que no se registren diferencias significativas entre tratamientos para esta variable.

4.4 RENDIMIENTO A TERCERA HOJA

El impacto del manejo de suelo planteado sobre la productividad de la variedad, no mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para la primera cosecha, en el año 2006 (datos no presentados). Este resultado es explicado por un tamaño de planta más homogéneo a nivel de todo el experimento y porque los efectos del manejo de suelo aún no se habían manifestado significativamente en el desarrollo del cultivo¹. Sin embargo en la primera cosecha hubo una clara tendencia a mayores rendimientos en parcelas enmendadas.

Al momento de analizar la segunda cosecha, los rendimientos a tercera hoja presentan diferencias estadísticas significativas (cuadro 11). Estos se asemejan a los reportados por Holzapfel y Hepp (2002) para el cultivar Bluetta del grupo Highbush (2860 plantas por hectárea), en segunda cosecha. Estos autores sometieron al cultivo a diferentes dosis de riego durante la temporada de crecimiento, utilizando sistema de riego localizado por goteo y microjet sobre un suelo limo arcilloso.

Según el nivel de producción obtenido en la segunda cosecha, estadísticamente se definen tres grupos, donde los tratamientos que contienen aserrín de pino (pino y mezcla con aserrín de eucalipto) y turba son los que conforman el grupo con mayores rendimientos, en las condiciones edafoclimáticas planteadas. Un segundo grupo, con los niveles más bajos de rendimiento, conformado por el tratamiento con suelo solo (testigo) y arroz. Por último un tercer grupo con aserrín de eucalipto (*E. globulus*), presenta un nivel de rendimiento intermedio, sin diferenciarse estadísticamente de los otros dos grupos (cuadro 11), no existen evidencias experimentales de que su uso en forma solitaria mejore o no la aptitud productiva de la variedad.

Para la variable peso medio de fruto no existen diferencias significativas en la segunda cosecha (cuadro 11). Lo obtenido en esta variable coincide con los resultados reportados por Bañados (2005).

Cuadro 11: Rendimiento de la variedad de arándano O' Neal (tercera hoja), creciendo en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N.

Tratamiento	Rto. Kg/Par.	Rto. Kg.ha ⁻¹	Nº F/ Par.	PMF(gr)
Aserrín Eucaliptus	5,86 ab	1502 ab	3962 ab	1,41
Aserrín Pino	7,17 a	1838 a	4489 a	1,50
Suelo solo	3,72 b	954 b	2517 b	1,42
Mezcla (E+P)	7,74 a	1984 a	5098 a	1,47
Cáscara Arroz	5,50 b	1410 b	3784 ab	1,43
Turba	6,03 a	1546 a	4611 a	1,35
CV %	14	14	13	5
ANOVA p-valor	0,0018	0,0018	0,0028	n. s.

- Letras diferentes muestran diferencias significativas (Tukey, $\alpha < 0,05$).

Analizando los resultados productivos, el uso de aserrín de pino (*Pinus spp.*) y de turba, en este experimento, coincide con lo reportado por diversa bibliografía, mejorando la aptitud de diversos cultivares de arándano, cuando se utilizan como enmienda o mulch orgánico. Sin embargo es de destacar que los tratamientos con pino (aserrín de pino y mezcla con aserrín de eucalipto) presentan valores absolutos superiores respecto al tratamiento con turba, diferencias de 284Kg. por hectárea y 438Kg. por hectárea respectivamente (ver cuadro 11). Este aspecto puede repercutir en los costos de instalación del cultivo y en las tasas de retorno de la inversión.

Respecto a los rendimientos en parcelas enmendadas con mezcla de aserrín de pino y aserrín de eucalipto, la importancia de esta información radica en primer lugar en la disponibilidad de residuos de eucalipto a nivel del país y particularmente en el sur, en un contexto donde a la vez se demandan más materiales de este tipo para la producción de energía y por la extensión del área de cultivo de arándano en la zona. En segundo término las evidencias experimentales indican que el uso de aserrín de eucalipto en mezcla, no ha presentado efectos alelopáticos sobre el crecimiento de este cultivo como lo indica la bibliografía sobre otros cultivos (Lisanework y Michelsen 1993, Espinosa 1996, Duryea et al. 1999). Sin embargo los resultados obtenidos podrían ser producto de que en el sustrato obtenido luego de la incorporación, no se den las condiciones para que los aleloquímicos responsables de producir efectos negativos sobre el crecimiento del cultivo, se concentren a niveles de causar daño (Espinosa, 1996). En el mismo sentido para el tratamiento con aserrín de eucalipto (*E. globulus*), no se han encontrado evidencias experimentales de que su uso en forma solitaria presente efectos alelopáticos sobre el cultivo.

El tratamiento con cáscara de arroz no se diferencia estadísticamente del tratamiento con eucalipto (*E. globulus*) pero es estadísticamente inferior a lo obtenido con residuos de pino (aserrín de pino y mezcla con aserrín de eucalipto) y turba. Estadísticamente los

rendimientos son iguales al tratamiento testigo (suelo solo). Sin embargo estos resultados nada indican acerca de su comportamiento cuando es utilizado en mezclas con otros materiales, otras condiciones iniciales de suelo u otras variedades.

Los rendimientos obtenidos por parcela en tratamientos con aserrín de pino (pino y mezcla con aserrín de eucalipto) y turba, evidencian el beneficio del enmendado del suelo y reportan científicamente a nivel nacional, que este manejo en quintas comerciales y en las condiciones edafoclimáticas planteadas es necesario.

Las proyecciones de rendimiento a cuarta hoja (tercera cosecha) se resumen en el cuadro 12, donde se cosechó la mayor parte de la fruta en verde y se asumió el peso medio de fruto respectivo de los tratamientos, en tercera hoja. De acuerdo a los resultados obtenidos para el número de frutos, no existen diferencias significativas. El comportamiento productivo potencial, estimado, se incrementa bajo estos tratamientos y no se modifica el orden entre peores y mejores tratamientos respecto a los resultados obtenidos a tercera hoja.

Cuadro 12: Proyección del rendimiento de la variedad de arándano O'Neal (cuarta hoja), creciendo en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N.

Tratamiento	Rto. Kg/Par.	Rto. Kg.ha⁻¹	Nº F/ Par.	PM(gr)
Aserrín Eucaliptus	10,89	2792	7727	1,41
Aserrín Pino	12,73	3264	8487	1,50
Suelo solo	7,22	1851	5082	1,42
Mezcla (E+P)	13,80	3538	9385	1,47
Cáscara Arroz	7,90	2025	5521	1,43
Turba	11,34	2907	8402	1,35
CV%	n. c.	n. c.	28	n. c.
ANOVA p-valor	n. c.	n. c.	n. s.	n. c.

4.4.1 Distribución de la cosecha y calidad de fruta

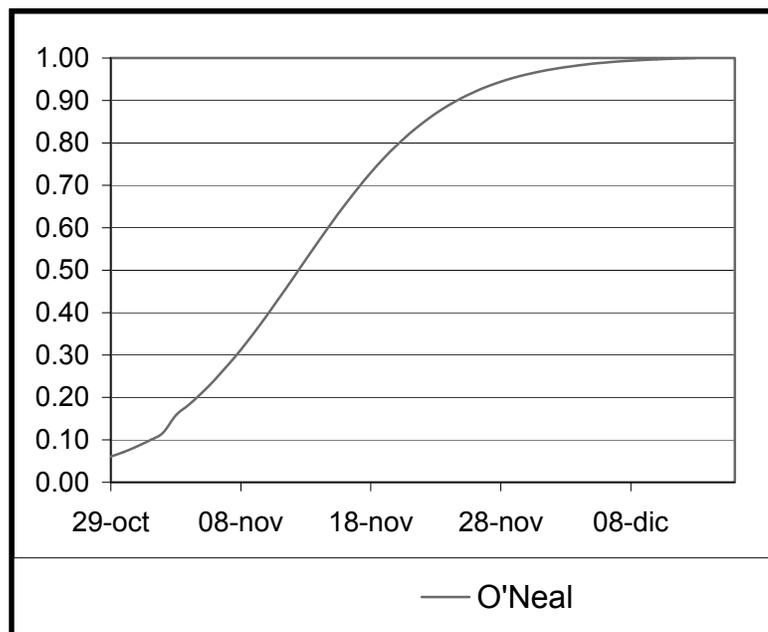
Para el análisis de la misma se desarrolló un modelo logístico donde se estimaron los intervalos de confianza para las proporciones acumuladas de número de frutos y peso medio de los mismos durante toda la cosecha (cuadro 13). El modelo utilizado es el siguiente: $Y = \alpha / (1 + \beta * e^{-\gamma x})$ donde $\alpha = 1$ y constante al ser proporciones acumuladas.

Como se observa en el cuadro 13 no hay diferencias estadísticas entre los coeficientes beta y gama del modelo logístico propuesto, para el parámetro cosecha acumulada en función del periodo de cosecha. Estos resultados evidencian que la distribución de la misma no es afectada por la incorporación de enmiendas (figura 3).

Cuadro 13: Intervalos de confianza para los parámetros del modelo logístico estimado, para la distribución de la tercera hoja de la variedad de arándano O'Neal, creciendo en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N.

Tratamiento	Beta	IC	Gama	IC
Numero de frutos				
Aserrín Eucaliptus	10,77	2,75-16,54	0,17	0,02-0,22
Aserrín Pino	13,13	2,90-19,22	0,17	0,02-0,21
Suelo solo	14,02	3,74-21,87	0,17	0,02-0,21
Mezcla (E+P)	12,10	2,28-16,90	0,18	0,02-0,21
Cáscara Arroz	10,71	2,10-15,01	0,17	0,02-0,21
Turba	13,15	2,40-18,20	0,17	0,02-0,20
Peso de frutos				
Aserrín Eucaliptus	9,36	2,90-15,40	0,16	0,03-0,22
Aserrín Pino	14,60	3,21-21,30	0,20	0,02-0,23
Suelo solo	14,09	3,60-21,54	0,18	0,02-0,23
Mezcla (E+P)	12,45	2,40-17,50	0,20	0,02-0,22
Cáscara Arroz	11,90	2,50-17,10	0,19	0,02-0,22
Turba	12,99	2,23-17,65	0,18	0,01-0,21

Figura 3: Proporción de número de frutos acumulados durante la cosecha a tercera hoja de la variedad O'Neal, creciendo en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N.



En lo que a calidad de fruta se refiere, los parámetros de acidez, sólidos solubles totales, firmeza, color, porcentaje de jugo y tamaño de baya, todos los tratamientos mostraron el mismo comportamiento (datos no presentados).

4.5 CRECIMIENTO DE PLANTAS A TERCERA HOJA

Al momento de registrar esta variable se observó visualmente una tendencia a mayor volumen de copa, dado por una mayor cantidad de varetas, ramas, brotes del año y emisión de brotes de corona, en parcelas enmendadas. Esta apreciación es coincidente con resultados obtenidos para la temporada de crecimiento anterior y con lo reportado por Wu et al. (2004) para las variedades Bluecrop y St'. Cloud, ambas pertenecientes al grupo Highbush, en suelos con aplicación de mulch orgánico.

Los largos de plantas se exponen en el cuadro 14 discriminando el largo total luego de la poda invernal 2007 (LTI- Jul07), siendo este el punto de partida para la evaluación propuesta. Se expone también el largo total al final de la temporada 2007 - 2008 (LTF-Jul08). Esta última medida se registró en plantas luego de la poda invernal a la cual se le sumó el largo de la poda para poder calcular el incremento en el largo total (m) por planta de la temporada.

Los incrementos en el largo de planta a tercera hoja (tercera cosecha), fueron estadísticamente significativos, donde los tratamientos con mayor crecimiento fueron: mezcla (aserrín de pino y eucalipto), aserrín de pino, aserrín de eucalipto y turba. La cáscara de arroz fue igual a aserrín de pino, aserrín de eucalipto y turba, pero no logró diferenciarse estadísticamente del testigo, igualmente muestra una tendencia a mayores crecimientos respecto suelo solo (cuadro 14). Igual comportamiento se observó a segunda hoja para todos los tratamientos⁵. Estos resultados coinciden con los de Kender y Eggert (1966) en parcelas enmendadas con aserrín y turba en Lowbush y con lo reportado por Krewer y Ruter (2002), para tratamientos con corteza de pino utilizada como enmienda, en los cultivares O'Neal, Bluecrisp y Star. En el mismo sentido, Haynes y Swift (1986), reportan mejores comportamientos para las variables tamaño de planta (cm²) y largo de planta (cm), en parcelas enmendadas con turba y corteza de pino (*Pinus radiata*).

La primera temporada vegetativa no mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, en el incremento del largo total¹. Estos resultados estarían explicados por un tamaño de planta más homogéneo a nivel de todo el experimento y porque los efectos del manejo de suelo aún no se habían manifestado significativamente en el desarrollo del cultivo, hay mayores coeficientes de variación. En este sentido se debe recordar que se partió de plantas clones con igual manejo en vivero.

Cuadro 14: Incremento en largo de plantas a tercera hoja de la variedad de arándanos O'Neal (2007-2008), creciendo en camellones enmendados con materiales de alta relación C/N.

Tratamiento	L T I(m) Jul 07	L T F(m) Jul 08	Incremento (m).
Eucalipto	7,4 a	30,6 ab	23,1 ab
Pino	7,3 a	33,2 ab	26,0 ab
Suelo solo	3,8 b	16,9 c	13,1 c
Mezcla (E+P)	7,0 a	34,2 a	27,2 a
Arroz	5,8 ab	25,4 b	19,6 bc
Turba	7,7 a	29,6 ab	21,9 ab
CV (%)	37	31	33
ANOVA p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001

- Letras diferentes muestran diferencias significativas (Tukey, $\alpha < 0,05$).
- LTI = largo total de planta al inicio de la temporada de crecimiento.
- LTF = largo total de planta al final de la temporada de crecimiento.

Los resultados de los crecimientos por parcela evidencian el beneficio del enmendado del suelo bajo algunos tratamientos y reportan científicamente a nivel nacional, que este manejo en quintas comerciales y en las condiciones edafoclimáticas planteadas es necesario.

Un mayor crecimiento de plantas permite la renovación de estructuras viejas que pierden la capacidad productiva al envejecer debiéndose eliminar a los cinco años de edad (Pescie, 2006). A su vez este desarrollo otorga mayores opciones al momento de la poda dando la posibilidad de ubicar la fruta en partes más prácticas para la cosecha y mejora la precocidad en la cosecha. Por último un mayor crecimiento de plantas, hace un uso más eficiente del espacio otorgado a la misma mediante el marco de plantación, obteniendo así mayor área foliar por hectárea efectiva de cultivo.

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se arriban, están sujetas a los materiales utilizados para la incorporación, al suelo enmendado, a la dosis utilizada (cantidad de carbono incorporado), a las condiciones climáticas del sitio (sur del país), al efecto año en los que se realizó el experimento, a la variedad O`Neal y al manejo comercial del cultivo.

- El uso de las enmiendas orgánicas evaluadas, elevan el contenido de carbono orgánico del suelo y este efecto perdura 23 meses sucesivos luego de realizada la incorporación. A partir de ese momento, la comparación de parcelas enmendadas con parcelas sin enmendar deja de ser significativa.
- Las tasas de mineralización del material incorporado registran mayor pendiente en los primeros 77 días luego de realizado el primer muestreo (4 meses después de realizada la incorporación, en setiembre de 2005). Esto se explica por la presencia de mayores cantidades de restos frescos, representando la fracción más lábil de la materia orgánica, el intenso laboreo secundario que acelera la actividad microbiana, buen tenor de agua en el suelo, y temperaturas del aire promedio de 16,1° C. Además, los materiales incorporados están finamente fraccionados, estando constituidos por 58 a 84% en peso por partículas menores a 1,7mm. En ese periodo, el contenido de nitrógeno del suelo, que se inmoviliza y mineraliza en sucesivos ciclos rápidos de carbono y nitrógeno, no es limitante.
- El uso de mulch orgánico presenta clara tendencia a elevar el contenido de carbono orgánico del suelo en los 2 primeros centímetros del camellón del suelo a 5 y 10 meses de realizada la incorporación. Se evaluó una sola aplicación por lo que se debería seguir la evaluación a medida que se repone material.
- El contenido de nitrógeno foliar no muestra diferencias estadísticas entre tratamientos. El elemento no es limitante para el crecimiento y rendimiento del cultivar en la cosecha evaluada.
- El cultivar presenta mayores rendimientos a tercera hoja (segunda cosecha) en parcelas bajo tratamientos con enmienda orgánica que parcelas sin enmienda (testigo).
- De acuerdo al rendimiento e incremento en el crecimiento, se proyectan los tratamientos que utilizan aserrín de pino (pino y mezcla) y turba como los mejores materiales para el enmendado de camellones, superando los 1,5Mg.ha⁻¹.
- El tratamiento con eucalipto (*E. globulus*) presento rendimientos medios sin lograr diferenciarse estadísticamente del tratamiento con suelo solo (testigo). No

existen evidencias experimentales que indiquen que bajo su uso se obtienen mejores rendimientos, sin embargo se evalúa como un residuo promisorio para su uso como enmienda orgánica en mezcla con aserrín de pino.

5.1 LINEAS DE TRABAJO A FUTURO

- Seguir evaluando el comportamiento productivo en sucesivas cosechas y evaluar más en el largo plazo los efectos de la tecnología de aplicación de residuos, tanto a nivel de enmienda como de mulch.
- Utilizando los mismos materiales y en condiciones de laboratorio, realizar una evaluación de la oxidación de la materia orgánica observando las tasas de respiración (liberación de CO₂) y de liberación de nitratos para explicar mejor la evolución del carbono orgánico. Evaluación de parámetros biológicos de suelo que expliquen dicha evolución.
- Evaluar los requerimientos nutricionales del cultivo bajo estas condiciones utilizando análisis foliares y valorando la extracción de nutrientes en fruta. Elaborar una propuesta de fertilización dado que las cantidades de enmienda utilizadas en este estudio se aplican comercialmente. Observar el impacto en la calidad poscosecha.
- Evaluación de otras enmiendas orgánicas (residuos agrícolas) en las condiciones edáficas del sur.
- Evaluar la incidencia de plagas y enfermedades que afecten bajo esta tecnología al sistema radicular en las condiciones edáficas del sur.
- Evaluación de parámetros biológicos de suelo como factores determinantes del desarrollo del cultivo, asociación con mycorrizas en el tipo de suelo evaluado.
- Ampliar el estudio del uso de la tecnología de enmendado a otras condiciones edafoclimáticas del Uruguay, se sugiere la zona norte por presentar la mayor área de cultivo.
- Evaluar la metodología de agregado de materia orgánica al suelo aplicándose directamente como enmienda, mulch o incorporado al hoyo de plantación.

6. RESUMEN

El cultivo de arándano en Uruguay ocupa a septiembre del 2008 858ha (Belloso y Bolla, 2008). Se estima que Uruguay tendrá una oferta exportable en el entorno de 4500 toneladas en el año 2010 (URUGUAY. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY, s. f.). Las condiciones edáficas en el sur del país, presentan limitantes para el óptimo desarrollo de la especie, debido a su drenaje moderado, pH más elevado que el deseable para la especie y grado de degradación, asociado a baja materia orgánica y compactación de horizontes superficiales¹. A estas características se suma la presencia de un alto contenido de arcilla en horizontes superficiales (Durán, 1991), todas estas condiciones son limitantes para un óptimo desarrollo de la especie (Krewer y Ruter, 2005). Comercialmente en el Uruguay se agregan entre 200m³ y 300m³ por hectárea de residuos orgánicos disponibles en el país, apuntando fundamentalmente a mejorar las condiciones físicas de los suelos (bajar densidad aparente a través del aumento de la macroporosidad)¹. El uso de enmiendas orgánicas como aserrín de pino, aserrín de eucalipto (*E. globulus*), mezcla de ambos, turba y cáscara de arroz elevan el contenido de carbono orgánico del suelo y este efecto perdura por veinte y tres meses sucesivos luego de realizada la incorporación. Las tasas de mineralización del material incorporado registran mayor pendiente en los primeros 77 días luego de realizado el primer muestreo (4 meses luego de la incorporación). La descomposición total de las enmiendas agregadas, de alta relación C/N luego de casi dos años de incorporadas al suelo puede explicarse por la disponibilidad de N teniendo en cuenta el ciclo rápido de microorganismos, la fertilización y el aporte del suelo, el intenso laboreo inicial, las condiciones climáticas no limitantes para la actividad microbiana, y el pequeño tamaño de partículas de los materiales incorporados. El crecimiento total de brotes fue mayor en todos los tratamientos con enmienda orgánica. Los rendimientos a tercera hoja (segunda cosecha) bajo tratamientos con turba, aserrín de pino y mezcla de aserrín de pino y eucalipto son mayores respecto al suelo sin enmienda (testigo). El tratamiento de eucalipto (*E. globulus*) presentó un rendimiento de 1502Kg.ha⁻¹ sin diferenciarse estadísticamente del tratamiento con suelo solo (testigo), sin embargo se evalúa como un residuo promisorio para su uso como enmienda orgánica en mezcla con pino (1984Kg.ha⁻¹), dado que no se observaron efectos sobre el crecimiento de plantas ante su uso.

Palabras clave: Enmiendas orgánicas; Arándanos Highbush; Carbono orgánico.

7. SUMMARY

The blueberry crop in Uruguay took to September 2008 858ha (Belloso and Bolla, 2008). Uruguay is estimated to have an exportable supply in the vicinity of 4500 tonnes in 2010 (URUGUAY. CHAIR OF THE ORIENTAL REPUBLIC OF URUGUAY, sf). The soil in the south, have limitations for the optimal development of the species due to its moderate drainage, pH higher than desirable for the kind and degree of degradation associated with low organic matter and compaction horizons superficiales¹. These features combined with the presence of a high clay content in surface horizons (Durán, 1991), all these conditions are limiting for optimal development of the species (Krewer and Router, 2005). Commercially in Uruguay are added between 200m³ and 300m³ per hectare of organic waste available in the country, aiming mainly at improving the physical conditions of soils (lower bulk density by increasing the macroporosity) 1. The use of organic amendments such as pine sawdust, sawdust of eucalyptus (*E. globulus*), mix, peat and rice husk elevated organic carbon content of soil and this effect lasts for twenty-three months after completion of the incorporation. Mineralization rates of the recorded material incorporated more outstanding in the first 77 days after holding the first sampling (4 months after incorporation). The total decomposition of the amendments added, high C / N ratio of nearly two years later incorporated into the soil to be explained by the availability of N in view of the rapid cycling of microorganisms, fertilization and the contribution of land, labor intensive initial climatic conditions not limiting microbial activity, and the small particle size of materials incorporated. The total growth of shoots was higher in all treatments with organic amendment. Yields a third sheet (second harvest) under treatment with peat, sawdust and pine sawdust mixture of pine and eucalyptus are higher in the soil without amendment (control). Treatment of eucalyptus (*E. globulus*) presented a performance 1502Kg.ha⁻¹ not statistically differ from treatment with soil only (control), but is evaluated as a promising waste for use as organic amendment mixture with pine (1984Kg.ha⁻¹), since there were no effects on plant growth with its use.

Keywords: Organic amendments; Highbush blueberries; Organic carbon.

8 BIBLIOGRAFÍA

1. AGGELIDES, S.; LONDRA, P. 2000. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. Abstract. Bioresource Technology. no. 3: 253-259.
2. ANDERSON, M.; BLAKE, S. 1951. Peat and mulch in agriculture. USDA. Circular no. 888. s.p.
3. AUSTIN, M.; BONDARI, K. 1992. Soil- pH Effects on yield and fruit size of 2 Rabbiteye blueberry cultivars. Journal of Horticultural Science. (6): 779-785.
4. BAÑADOS, P. 2005. Clave para la poda de arándanos. (en línea). Revista Agronómica y Forestal. no. 25: 28-31. Consultado 19 may. 2008. Disponible en http://www.puc.cl/agronomia/c_extension/Revista/Ediciones/25/pag283d.
5. BELL, H.; JOHNSTON, S. 1962. Hints on blueberry growing. Michigan Agricultural Experiment Station. Extention. Folder F-119 (Rev). 11p.
6. BELLOSO, M.; BOLLA, L. cords. 2008. Arándanos. El Observador. Montevideo, UY, jun. 27 (supl.): 1-16.
7. BERKHEIMER S. ; HANSON, E. 2006. Deicing salts reduce cold hardiness and increase flower bud mortality of Highbush blueberry. Journal of the American Society for Horticultural Science. 131 (1): 11-16.
8. BERETTA, A.; PALUMBO, C. 2004. Estudio de la aplicación de estiércol sobre la respuesta a nitrógeno en lechuga bajo invernadero (*Lactuca sativa* var. capitata (L)). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 57 p.
9. BOHN, H.; MCNEAL, B.; O'CONNOR. 1993. Química del suelo. Balderas, México, Limusa /Noriega. 370 p.
10. BOLLEN, W.; GLENNIE, D. 1961. Sawdust, bark and other wood wastes for soil conditioning and mulching. Fores Products Journal. 11(1): 38-46.
11. BRADY, N.; WEIL, R. 2002. The nature and properties of soils. 13th. ed. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall. 960 p.

12. BREMNER, J.; MULVANEY, C. 1982. Nitrogen-total. In: Page A.L. ed. Methods of soil analysis. Madison, WI SSSA. pp. 595-624.
13. BROWN, J.; DRAPER, A. 1980. Differential response of blueberry (*Vaccinium*) progenies to pH and subsequent use of iron. Journal of the American Society for Horticultural Science. 105:20-24.
14. CAIN, J.; ECK, P. 1966. Blueberry and cranberry. In: Childers, N. F. ed. Temperate and tropical fruit nutrition. New Brunswick, NJ, Horticultural Publications. pp. 101-129.
15. CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT E. T. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Science Society of America Journal. 56(3): 777-783.
16. CIESELSKA, J.; MALUSÁ, E. 2000. La coltivazione dei piccoli frutti. Bologna, Edagricole. 434 p.
17. CUMING, G.; MAILAND, C.; LILLY, J. 1981. Influence of soil ph, sulfur, and sawdust on Rabbiteye blueberry survival, growth and yield. Journal of the American Society for Horticultural Science. 106 (6):783-785.
18. CHESHIRE, M.; BEDROCK, C.; WILLIAMS, B.; CHAPMAN, S.; SOLNTSEVA, I.; THOMNSEN, I. 1999. The immobilization of nitrogen by straw decomposing in soil. European Journal of Soil Science. no. 50: 329-341.
19. CHRISTOPHER, E.; SHUTAK, V. 1947. Influence of several soil management practices upon the yield of cultivated blueberries. Journal of the American Society for Horticultural Science. 49:211-212.
20. DURAN, A. 1991. Los suelos del Uruguay; caracterización de los suelos del Uruguay. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 398 p.
21. _____; GARCÍA PRÉCHAC, F. 2007. Suelos del Uruguay; origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. v. 2, 358 p.
22. DURYEA, M.; ENGLISH, R.; HERMASSEN, L. 1999. A Comparison of landscape mulches: chemical, allelopathic and decomposition properties. Journal of Arboriculture. 25(2): 88-97.

23. ECK, P.; CHILDERS, F. 1966. Blueberry culture. New Brunswick, NJ, Rutgers University Press. pp. 132-134.
24. _____. 1988. Blueberry science. New Brunswick, NJ, Rutgers University Press. 284 p.
25. _____; GOUGH, R.; HALL, I.; SPIERS, J. 1990. Blueberry management. In: Galleta, G.; Helmeric, D. eds. Small fruit crop management. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall. cap. 7, p. 283.
26. ESPINOSA, F. 1996. Revisión sobre la alelopatía de eucaliptos. Boletín de la Sociedad Botánica de México. no. 58: 55-74.
27. FERREIRA, R.; PERALTA, J.; SADZAWKA, A.; MUÑOZ, C.; VALENZUELA, J. 2000. Efecto de la acidificación del sustrato y del agua de riego en la nutrición, desarrollo y producción de Rabbiteye. Agricultura Técnica (Chile). 61(4): 452-458.
28. FRIONI, L. 1999. Procesos microbianos. Córdoba, Universidad Nacional de Río Cuarto. t. 1, 282 p.
29. _____. 2006. Microbiología, básica, ambiental y agrícola. Montevideo, Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 463 p.
30. GALLETA, G.; HIMELRICK, D. 1990. Small fruit crop management. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall. 602 p.
31. GOUGH, R. 1980. Root distribution of Coville and Lateblue Highbush blueberry under sawdust mulch. Journal of the American Society for Horticultural Science. 105 (4):576-578.
32. _____. 1994. The Highbush blueberry and its management. Binghampton, NY, Haworth. 272 p.
33. GOULART, B.; BRITTINGHAM, M.; HARPER, J.; HEINEMANN, P.; HOCK, W. 1996. Small fruit production and pest management guide, 1996 -98. Philadelphia, State University Extension Publication. 53 p.
34. GRIGGS, W.; ROLLINS, H. 1947. The effect of planting treatments and soil management system on the production of cultivated blueberries.

Proceedings of the American Society for Horticultural Science. no. 49: 213-218.

35. HARMER, P. 1944. The effects of varying the reaction of organic soil on the growth and production of the domesticated blueberry. Proceedings Soil Science Society of America. no. 9:133-141.
36. HAYNES, R.; SWIFT, R. 1986. Effect of soil amendments and sawdust mulching on growth, yield and leaf nutrient content of Highbush blueberry plants. Scientia Horticultural. no. 29: 229-238.
37. HELGASON, B. L.; LARNEY, F. J.; JANZEN, H. H. 2005. Estimating carbon retention in soils amended with composted beef cattle manure. Canadian Journal of Soil Science. no. 85:39-46.
38. HOLZAPFEL, E.; HEPP, R. 2002. Effect of microjet and drip irrigation on fruit production of Highbush blueberry. Acta Horticulturae. no. 446: 259-264.
39. INIA. s. f. Grass. (en línea). Montevideo. s. p. Consultado 25 nov. 2008. Disponible en <http://www.inia.org.uy/online/site/143782I1.php>.
40. KENDER W.; EGGERT, F. 1966. Several soils management practices influencing the growth and rhizome development of the Lowbush blueberry. Canadian Journal of Plant Science. 46: 146-149.
41. KORCAK, R. F. 1988. Nutrition of blueberry and other calcifuges. Horticultural Reserch. 10:183-277.
42. KRAMER, A.; EVINGER, E.; SCHRADER, A. 1941. Effect of mulches and fertilizers on yield and survival of the dry land and Highbush blueberry. Proceedings of American Society of Horticultural Science. no. 38: 445-461.
43. KREWER, G.; RUTER, J. 2002. Performance of low cost organic materials as blueberry substrates and soil amendments. Acta Horticulturae. no. 574: 273-279.
44. _____ ; _____. 2005. Fertilizing blueberries in pine bark beds and mulching blueberris. (en línea). The University of Georgia. College of Agriculture and Environmental Sciences. Cooperative Extension. Bulletin 1291. Consultado 29 feb. 2008. Disponible en: <http://pubs.caes.uga.edu/caespubs/pubs/PDF/B1291.pdf>

45. LAREAU, M. 1988. Growth and productivity of Highbush blueberries as effected by soil amendmets, nitrogen fertilization and irrigation. *Acta Horticulturae*. no. 241: 126-131.
46. LISANERWORK, N.; MICHELSEN, A. 1993. Allelopathy in agroforestry systems: The effects of leaf extracts of *Cupressus lusitanica* and three *Eucalyptus* spp. on four Ethiopian crops. *Agroforestry Systems*. 21(1): 63-74.
47. LOPEZ, A.; MURILLO, S.; BARRETO, C.; MUNOZ, A.; RATO, J.; ALBARRAN, A.; GARCIA, A. 2007. Changes in organic matter and residual effect of amendment with two-phase olive-mill waste on degraded agricultural soils. *Science of the Total Environment*. Spanish Research on Soil Damage. 378 (1-2): 84-89.
48. LYRENE, P, 1990. Low – chill Highbush Bueberry. *Fruit Varietes Journal*. no. 44: 82-86.
49. MALIK, R.; CAWTHON, D. 1998. Effects of irrigation water quality, soil amendment, and surface mulching on soil chemical changes in a Rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade) planting; abstract. (en línea). Commerce, Texas University A and M. s.p. Consultado 29 feb. 2008. Disponible en <http://www.tamuccommerce.edu/coas/agscience/resdcl/blueberr/blue.html>.
50. MALLORY, E.; GRIFFIN, T. 2007. Impacts of soil amendment history on nitrogen availability from manure and fertilizer. *Soil Science Society of America Journal*. 71 (3): 964-973.
51. MERRIL, T. 1944. Effect of Soil Treatments on the growth of the Highbush blueberry. *Journal Agronomy Research*. no. 69:9-20.
52. MEXAL, J.; FISHER, J. 1987. Organic matter amendmets to a calcareous forest nursery soil. *New Forests*. no. 4 : 311-323.
53. MONTEIRO, C. 2005. Labores culturales y costos de establecimiento de 1há. convencional de arándanos. *Info AGRO*. 2 (2): 22.
54. MOORE, J.; BROWN, M.; BORDELON, B. 1993. Yield and frut size of Bluecrop and Blueray Haighbush blueberries at three plant spacing. *Horticultural Science*. 28 (12):1162-1163.

55. NELSON, D.; SOMMERS, L. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Sparks, D.L.; Page, A.L.; Helmke, P.A.; Loeppert, R.H. eds. Methods of soil analysis; chemical methods. Madison, WI. ASA. part. 3, pp. 961-1010.
56. ODNEAL, M.; KAPS, O. 1990. Fresh and aged pine bark as soil amendments for establishment of Highbush blueberry. Horticultural Science. no. 25 (10):1228-1229.
57. PATTEN, K.; NEUENDORFF, A.; LEONARD, A.; HABY V. 1988. Mulch and irrigation placement effects on soil chemistry properties and Rabbiteye blueberry plants irrigated with sodic water. Journal American Society Horticultural Science. 113(1):4-8.
58. PELUFO, L. coord.; VIERCI, P. ed. 2007. Uruguay forestal en cifras. In: Agenda forestal 2007. Montevideo, Uruguay, Siglo Comunicación Estratégica/ Rosario Pou. pp. 16-22.
59. PERDOMO, C.; BARBAZAN, M. 1999. Nitrógeno. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 72 p.
60. PESCIÉ, M. 2006. Primer curso de poda en arándanos. s.n.t. p. irr.
61. PLISZKA, K.; ECIBISZ, K.; ROJEK, H. 1993. The effect of soil management and mineral fertilization upon growth and cropping of the highbush blueberry cv. Bluecrop. Acta Horticulturae. no. 346:149-154.
62. RIEGER, M. 1999. Mark's fruit crops. Blueberries – *Vaccinium spp.* (en línea). Atlanta, University of Georgia. s.p. Consultado 23 oct. 2007. Disponible en <http://www.uga.edu/hortcrop/rieger/blueberri.htm>.
63. RIET, G. cords. 2008. Energía. La República. Montevideo, UY, ago. 17. (supl.): 1-16.
64. RIVENSFIELD, A.; BASSUK, N. L. 2007. Using organic amendments to decrease bulk density and increase macroporosity in compacted soils. Arboriculture and Urban Forestry. 33(2): 140-146.
65. ROSEN, C.J.; ELIASON, R. 2005. Nutrient management for commercial fruit and vegetable crops in Minnesota. (en línea). Saint Paul, University of Minnesota. Department of Soil, Water, and Climate. 40 p. Consultado 12 mar. 2008. Disponible en

http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/components/5886_full.pdf

66. SILVA, A. 1995. La materia orgánica del suelo. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 46 p.
67. SCOTT, D., DRAPER, A.; DAROW, G. 1978. Commercial blueberry growing. Washington, D. C., USDA. s.p.
68. SEGUEL, O.; DEL CORTAZAR, V.; CASANOVA, M. 2003. Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. Agricultura Técnica (Chile). 63(3): 287-297.
69. SGANGA, J. 1997. Caracterización de la vegetación de la R. O. U. MGAP (DGRNR- DSA). Boletín Técnico. no. 13: 5-15.
70. SITARAMAIAH, K.; SINGH, R. S. 1978. Effect of organic amendment on phenolic content of soil and plant and response of *Meloydogine javanica* and its host to related compounds. Plant and Soil. 50(1-3): 671-679.
71. SPIERS, J. 1980. Influence of peat moss and irrigation on establishment of Tifblue blueberry. Minnesota Agricultural Experiment Station Research Report 4. 18 p.
72. _____. 1982. Seasonal variation of leaf nutrient composition in Tifblue Rabbit-eye blueberry. Journal American Society Horticultural Science. 107(2): 255-257.
73. _____. 1983. Irrigation and peat moss for the establishment of Rabbit-eye blueberry. Horticultural Science. no.18: 936-937.
74. _____. 1986a. Root distribution of Tifblue Rabbit-eye blueberry as influenced by irrigation incorporated peat moss and mulch. Journal American Society Horticultural Science. 111(6): 877-880.
75. _____; BRASWELL, J. 1986b. Soil applied sulfur affects elemental leaf content and growth of Tifblue Rabbit-eye blueberry. Scientia Horticulturae. 29: 229-238.
76. _____. 1992. Soil applied sulfur affects elemental leaf content and growth of Tifblue Rabbit-eye blueberry. Journal American Society Horticultural Science. 117(2): 230-233.

77. _____. 1995. Substrate temperatures influence root and shoot growth of Southern Highbush and Rabbiteye blueberries. *Hortscience*. 30 (5): 1029-1030.
78. _____. 1998. Establishment and early growth and yield of Gulfcoast Southern Highbush blueberry. *Scientia Horticulturae*. 33 (7): 1138-1140.
79. TISDALE, S.; NELSON, W.; BEATON, J.; HAVLIN, J. 1985. Soil fertility and fertilizers. 5th. ed. New York, Macmillan. 634 p.
80. TOWNSEND, L. 1973. Effect of soil amendment on the growth and productivity of the Highbush blueberry. *Canadian Journal Plant Science*. no. 53: 571-577.
81. TREVETT, M. 1956. Observations on the decline and rehabilitation Lowbush blueberry fields. Maine Agricultural Experiment Station. Publication 626. 21 p.
82. TURK, L. 1943. The effect of sawdust on plant growth. *Michigan Quarterly Bulletin*. 26:10-23.
83. URUGUAY. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY, OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO. 2007. Plan de Refuerzo de la Competitividad (PRC), Conglomerado de Arándanos. (en línea). Consultado 20 feb. 2008. Disponible en http://www.diprode.opp.gub.uy/pacc/Conglomerado_arandanos/Arandanos_A4.pdf.
84. VIDAL, I.; AMARO, J.; VENEGAS, A. 1999. Evolución estacional de nutrientes y estimación de la extracción anual de nutrientes en arándano Ojo de Conejo (*Vaccinium ashei* R.). *Agricultura Técnica*. 59(4): 309-318.
85. VIDELA X.; PARADA, M.; NARIO, M.; PINO, P.; HOOD, R. 2005. Efecto del contenido de agua en la mineralización bruta e inmovilización de nitrógeno. *Agricultura Técnica (Chile)*. 65(1):74-78.
86. WEATHERBURN, M. 1967. Phenol hypochlorite reaction for determination of ammonia. *Analisis Chemical*. no. 39:971-974.
87. WEBER, J. 1978. Highbush blueberry culture in Ontario. Blueridge Farms, St. Williams, Ontario. s.p.

88. WHITE, L. 2006. The effect of pre-plant incorporation with sawdust, sawdust mulch, and nitrogen fertilizer rate on soil properties and nitrogen uptake and growth of Elliott Highbush blueberry. (en línea). Oregon, Oregon State University. 5 p. Consultado 10 mar. 2008. Disponible en <http://ir.library.oregonstate.edu/dspace/bitstream/1957/1363/1/WholeThesis.pdf>.
89. WILLIAMSON, J.; MILLER, P. 2005. Fertilization of Southern Highbush blueberries on pine bark beds. *Horticultural Science*. 40 (4):1059 –.
90. WU, L.; YU, H. ; DONG, L.; ZHU, Y.; LI, C.; ZHANG, Z.; LI, Y. 2004. Comparison of mulching treatments on growth and physiology of Highbush blueberry. *Acta Horticulturae*. no. 715:237 -240.
91. YANG, W; GOULART, B.; DEMCHAKN, K. 1998. Mycorrhizal infection and plant growth of Highbush blueberry in fumigated soil amendments and inoculation with mycorrhizal fungi. *Horticultural Science*. no. 33:1136-1137.
92. _____; GOULART, B.; DEMCHAKN, K.; LI, Y. 2002. Interactive effects of mycorrhizal inoculation and organic soil amendments on nitrogen acquisition and growth of Highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) using an ¹⁵N Tracer. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 127 (5):742-74.
93. _____. 2004. Effect of sawdust age and nitrogen application on the decomposition rates of two types sawdust used for blueberry production. *Horticultural Science*. 39:873.
94. ZAMALVIDE, J. P. 2001. Calidad de agua para riego de producciones hortícolas y frutícolas. Informe de Consultoría a PRENADER. Montevideo, MGAP/ Banco Mundial. 33 p.

9. ANEXOS

ANEXO 1

→ Declaración de la etiqueta presente en la turba

Nombre comercial: Turba Klasmann-Deilmann GMBH.

Tipo de designación: Turba.

Turba de turberas altas.

Grado de descomposición: Descomposición suave a moderada (H₂ - H₅).

Composición: Turba sin aditivos.

pH (H₂ O): 3.5- 4.5

Nitrógeno total (s.m.s.): 0.8%.

Humedad máxima: 47%.

Cloruro: 001%.

Conductividad eléctrica: 0.13µS/cm.

Materia orgánica total (s.m.s.): 25Kg. (97% MO)

Peso Neto: 30Kg.

Volumen de presentación: 250 lts.

Origen: Lituania.

Fabricante: Klasmann-Deimann GMBH- D.49744 Goss Hesepe (www.Klasmann-deimann.com, info@Klasmann-deilmann.de).

Titular: ValimexS.L -Palleter, 2-1^a - E- 46008 Valencia- Tel.: 96-3853707.

ANEXO 2

Cuadro 1: Precipitación media (mm) periodo 2000 – 2007 y lo registrado en 2005.

Media anual 2000 - 2007	1302
Media mensual 2000 - 2007	108
Acumulada 2005	1158
Media mensual 2005	96.5
PP acumulada 1 Ene - 29 Nov 2005	1124

Fuente: INIA (s.f.)

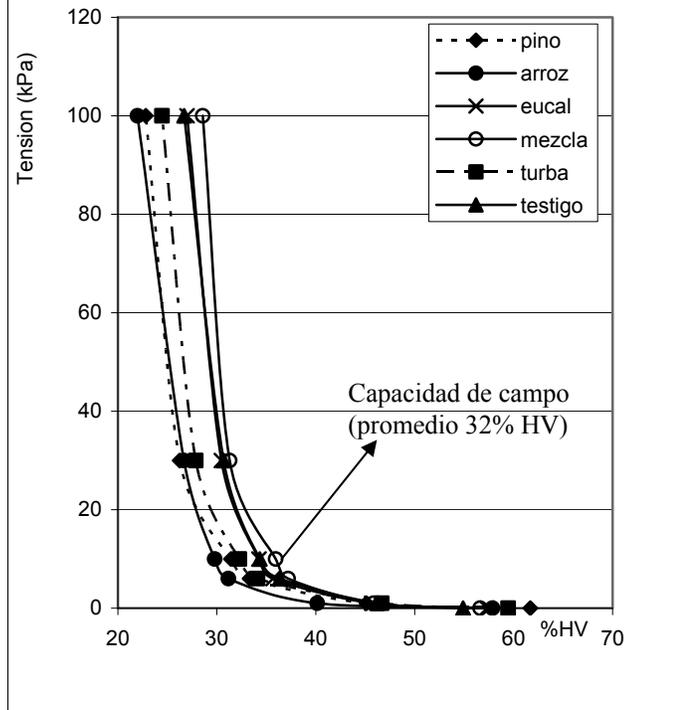
Cuadro 2: Temperatura media (°C) periodo 2000 – 2007 y lo registrado en 2005.

Periodo 1	
Máxima diaria 28 Abr 9 Set 2000 - 2007	16.8
Mínima diaria 28 Abr 9 Set 2000 - 2007	7.2
Máxima diaria 28 Abr 9 Set 2005	17.5
Mínima diaria 28 Abr 9 Set 2005	7.9
Periodo 2	
Máxima diaria 10 Set 29 Nov 2000 - 2007	21.8
Mínima diaria 10 Set 29 Nov 2000 - 2007	10.6
Máxima diaria 10 Set 29 Nov 2005	22.3
Mínima diaria 10 Set 29 Nov 2005	9.9

Fuente: INIA (s.f.)

ANEXO 3

Curva de tensión-humedad del suelo a 7 meses desde la incorporación de enmiendas



ANEXO 4

Temperaturas entre 0-2cm en tratamientos con mulch orgánico (Arroz) y con mulch de nylon negro (Testigo).

