

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**BASE CARTOGRÁFICA PARA EL DESARROLLO  
DE UNA METODOLOGÍA DE MONITOREO  
DE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS  
DE SUELOS FORESTALES**

**por**

**Pablo PRIETO GONZÁLEZ**

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

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2011**

Tesis aprobada por:

Director: -----  
Ing. Agr. Alvaro Califra

-----  
Ing. Agr. (Msc.) Jorge Hernández

-----  
Ing. Agr. (PhD) Mario Perez Bidegain

Fecha: 20 de noviembre de 2011

Autor: -----  
Pablo Prieto González

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que de alguna manera hicieron posible la realización de este trabajo.

Al equipo docente y a las laboratoristas del departamento de Suelos y Aguas de la Facultad de agronomía.

A mis tutores de tesis, a compañeros, amigos y muy especialmente a mi familia.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
I. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
II. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	3
A. SUELOS DE PRIORIDAD FORESTAL.....	3
1. <u>Suelos de prioridad forestal y sus características generales</u> .....	3
2. <u>Suelos de la unidad Tres Islas</u> .....	11
B. REQUERIMIENTOS ECOLÓGICOS DE LAS ESPECIES COMERCIALES DE <i>EUCALYPTUS</i> MÁS COMUNES EN EL PAÍS, E INTERACCIONES DE ESTAS CON PROPIEDADES DEL SUELO Y OTROS FACTORES DEL SITIO.....	12
1. <u>Introducción</u> .....	12
2. <u>Concepto de sitio</u> .....	12
3. <u>Especies de <i>Eucalyptus sp.</i>, requerimientos ecológicos</u> .....	13
4. <u>Interacción entre especies y factores de sitio</u> .....	14
5. <u>Efecto de la vegetación de <i>Eucalyptus sp.</i> en las             características del suelo</u> .....	14
C. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA Y MAPA DE APTITUD.....	16
1. <u>Principales factores climáticos</u> .....	16
2. <u>Características geológicas de los suelos correspondientes a los             Grupos CONEAT 8.12 y 8.3</u> .....	17
3. <u>Carta de aptitud para <i>Eucalyptus grandis</i></u> .....	17
4. <u>Carta de aptitud para <i>Eucalyptus grandis</i></u> .....	19
III. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	19
A. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO DON ROBERTO.....	19
1. <u>Ubicación</u> .....	19
2. <u>Datos climáticos de la zona de estudio</u> .....	20
3. <u>Geología del predio</u> .....	21
4. <u>Vegetación natural</u> .....	23
5. <u>Suelos, descripción de Grupos CONEAT</u> .....	23
B. ÁREA DE ESTUDIO, MUESTREO Y MAPEO DETALLADO....	25
1. <u>Selección de áreas de estudio y muestreo</u> .....	25
2. <u>Análisis químicos y físicos de muestras de los             perfiles representativos de suelo</u> .....	26
a. <u>Análisis de tamaño de partículas</u> .....	26
b. <u>Densidad aparente y porosidad total</u> .....	26

c. Capacidad de almacenamiento de agua y agua disponible en los perfiles de suelo .....	26
d. Determinaciones químicas .....	28
3. <u>Carta semidetallada de suelos</u> .....	28
4. <u>Carta por capacidad de uso y propiedades inferidas de los perfiles de suelos</u> .....	29
5. <u>Comparación de perfiles del predio con antecedentes disponibles de la unidad Tres Islas</u> .....	29
6. <u>Carta de aptitud para <i>Eucalyptus grandis</i></u> .....	30
IV. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	32
A. DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES DE LA CARTA DE SUELOS DEL PREDIO DON ROBERTO, CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS Y ANÁLISIS QUÍMICOS.....	32
1. <u>Unidad Interfluvios “ligeramente aplanados” de San Gregorio (Iap-Sg)</u> .....	33
2. <u>Unidad laderas fuertes y escarpas de la formación San Gregorio (Lf/e-Sg)</u> .....	36
3. <u>Unidad Planicies bajas y concavidades pertenecientes a la formación San Gregorio (Plb/c-Sg)</u> .....	38
4. <u>Unidad Laderas altas convexas de San Gregorio (Lac-Sg)</u> .....	40
5. <u>Unidad Laderas suaves de la formación San Gregorio (Ls-Sg)</u> .....	42
6. <u>Unidad Laderas suaves con partes altas aplanadas de San Gregorio 1 (Ls/ap-Sg1)</u> .....	46
7. <u>Unidad Laderas, a veces ligeramente aplanadas de San Gregorio 2 (Ls/ap-Sg2)</u> .....	48
8. <u>Unidad Concavidades de San Gregorio (C-Sg)</u> .....	50
9. <u>Unidad Valles y aluviones con sedimentos de la formación San Gregorio (V/a-Sg)</u> .....	50
B. PROPIEDADES INFERIDAS Y PROPIEDADES COMPLEJAS DE LAS DISTINTAS UNIDADES DE LA CARTA DE SUELOS DEL PREDIO DON ROBERTO.....	51
1. <u>Propiedades inferidas</u> .....	51
a. Aireación.....	51
b. Capacidad de retener agua en forma disponible.....	52
c. Permeabilidad.....	53
d. Velocidad de infiltración.....	54
e. Desarrollo radicular.....	55
2. <u>Propiedades complejas</u> .....	56
a. Riesgo de sequía.....	56
b. Riesgo de erosión.....	57
c. Fertilidad natural.....	57
d. Drenaje natural.....	58

C.	COMPARACIÓN DE LAS UNIDADES DE LA CARTA DE SUELOS DEL PREDIO CON LOS ANTECEDENTES EXISTENTES EN EL PAÍS.....	59
1.	<u>Introducción</u> .....	59
a.	Materia orgánica.....	60
b.	pH.....	61
c.	Bases de intercambio.....	61
2.	<u>Interfluvios “ligeramente aplanados” de San Gregorio (Iap-Sg)</u> .....	62
3.	<u>Laderas fuertes y escarpas de la formación San Gregorio (Lf/e-Sg)</u> .....	63
4.	<u>Planicies bajas y concavidades pertenecientes a la formación San Gregorio (Plb/c-Sg)</u> .....	64
5.	<u>Laderas altas convexas de San Gregorio (Lac-Sg)</u> .....	64
6.	<u>Laderas suaves de la formación San Gregorio (Ls-Sg)</u> .....	65
7.	<u>Unidad Laderas suaves con partes altas aplanadas de San Gregorio 1 (Ls/ap-Sg1.) y unidad Laderas, a veces ligeramente aplanadas de San Gregorio (Ls/ap-Sg2.)</u> .....	66
8.	<u>Unidad Concavidades de San Gregorio (C-Sg.) y unidad Valles y Aluviones con sedimentos de la formación San Gregorio (V/a-Sg.)</u> .....	67
D.	CARTA INTERPRETATIVA POR CAPACIDAD DE USO, (USDA).....	68
F.	CARTA INTERPRETATIVA DE APTITUD PARA <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> .....	70
1.	<u>Definición del tipo de utilización de la tierra</u> .....	70
2.	<u>Definición de los requerimientos del uso de la Tierra</u> .....	71
3.	<u>Cuantificación de las cualidades de la tierra a través de características medibles y/o estimables</u> .....	71
a.	Disponibilidad de agua.....	71
b.	Accesibilidad del terreno para la plantación y cosecha de árboles....	72
c.	Ubicación.....	73
d.	Riesgo de heladas.....	73
e.	Drenaje.....	74
f.	Disponibilidad de oxígeno.....	75
g.	Ranking de requerimientos del uso de la tierra.....	76
4.	<u>Carta de aptitud para <i>E. grandis</i></u> .....	77
V.	<u>CONCLUSIONES</u> .....	80
VI.	<u>RESUMEN</u> .....	82
VII.	<u>SUMMARY</u> .....	83
VIII.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	84
IX.	<u>ANEXOS</u> .....	93

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Suelos de prioridad forestal y su superficie en el país en el año 2004 .....	7
2. Superficie de plantaciones comerciales en suelos de prioridad forestal en el año 2004, y su proporción dentro de cada Grupo CONEAT de prioridad forestal .....	8
3. Ecuaciones de retención de agua a capacidad de campo y punto de marchites permanente para horizontes Ay B.....	27
4. Caracteres asociados al perfil de suelo D1 de la unidad (Iap-Sg).....	33
5. Descripción morfológica del perfil de suelo D1 de la unidad (Iap-Sg), y parámetros químicos asociados.....	35
6. Caracteres asociados al perfil de suelo D10 de la unidad (Lf/e-Sg).....	37
7. Descripción morfológica del perfil de suelo D10 de la unidad (Lf/e-Sg), y parámetros químicos asociados.....	38
8. Descripción morfológica del perfil de suelo modal de la unidad (Plb/c-Sg), y parámetros químicos asociados.....	39
9. Caracteres asociados al perfil de suelo D12 de la unidad (Lac-Sg).....	40
10. Descripción morfológica del perfil de suelo D12 de la unidad (Lac-Sg), y parámetros químicos asociados.....	41
11. Caracteres asociados al perfil de suelo D11 de la unidad (Ls-Sg).....	42
12. Descripción morfológica del perfil de suelo D11 de la unidad (Ls-Sg), y parámetros químicos asociados.....	43
13. Caracteres asociados al perfil de suelo D9 de la unidad (Ls-Sg).....	44

14. Descripción morfológica del perfil de suelo D9 de la unidad (Ls-Sg), y parámetros químicos asociados.....	45
15. Caracteres asociados al perfil de suelo H1812 de la unidad (Ls/ap Sg1).....	45
16. Descripción morfológica del perfil de suelo H18 12 de la unidad (Ls/ap-Sg1), y parámetros químicos asociados.....	47
17. Caracteres asociados al perfil de suelo G18 07 de la unidad (Ls/ap-Sg2).....	48
18. Descripción morfológica del perfil de suelo G18 07 de la unidad (Ls/ap-Sg2), y parámetros químicos asociados.....	49
19. Aireación en las distintas UCS.....	51
20. Agua potencialmente disponible para las plantas (promedio por cada diez centímetros y total) en las distintas UCS.....	52
21. Permeabilidad de las UCS.....	53
22. Velocidad de infiltración de las distintas UCS.....	54
23. Profundidades efectiva y de arraigamiento de las UCS.....	55
24. Propiedades complejas y clase por capacidad de uso de las UCS.....	56
25. Evaluación del agua disponible para las plantas.....	71
26. Accesibilidad del terreno para la plantación y cosecha de árboles.....	72
27. Evaluación del drenaje .....	74
28. Evaluación de la disponibilidad de oxígeno .....	75
29. Ranking de los Requerimientos del Uso de la Tierra evaluados.....	76

## Figura No.

1. Aptitud forestal de los suelos del Uruguay .....	4
2. Croquis con zonas de uso y manejo de suelos .....	5
3. Carta de Suelos de Prioridad Forestal .....	6
4. Superficie de plantaciones industriales por Zonas CONEAT de prioridad forestal e Índice de Productividad (IP) promedio .....	7
5. Porcentaje de las clases <i>E. grandis</i> , <i>E. globulus</i> y <i>Pinus sp.</i> en los principales Grupos CONEAT de prioridad forestal (2, 7, 8 y 9).....	9
6. Carta forestal en base a imágenes LANDSAT del año 2004 .....	10
7. Ubicación general.....	19
8. Ubicación sobre mosaico de imágenes Google Earth .....	20
9. Distribución de las temperaturas en el Dpto. de Cerro Largo .....	21
10. Geología del predio Don Roberto .....	22
11. Grupos CONEAT en el predio Don Roberto .....	23
12. Carta de suelos del predio Don Roberto .....	32
13. Perfil de suelo de la Unidad (Iap-Sg) y relieve local.....	34
14. Perfil de suelo de la Unidad (Lf/e-Sg) y relieve local.....	36
15. Perfil de suelo de la unidad (Lac-Sg) y relieve local.....	40
16. Perfil de suelo de la unidad (Ls-Sg) y relieve local.....	42
17. Carta de capacidad de uso (USDA).....	68
18. Carta de aptitud para <i>Eucalyptus</i> .....	77

## I. INTRODUCCIÓN

Desde la década del noventa, en nuestro país, el rubro forestal ha experimentado una gran expansión, a partir de la promulgación de la Ley de Desarrollo Forestal número 15.939 en diciembre de 1987. Hasta el año 1988 la superficie forestada en el Uruguay se limitaba a 31 mil hectáreas, concentradas principalmente en los departamentos de Rivera y Paysandú. Los beneficios otorgados por la Ley Forestal llevaron a que en la actualidad el área forestada con especies de *Eucalyptus sp.* y *Pinus sp.* esté en el entorno de las 800.000 hás. Dicha expansión ha ocurrido en unidades de suelo indicadas como de prioridad forestal, bajo el criterio de ser suelos poco aptos para otro tipo de producciones, por presentar limitantes desde el punto de vista de sus propiedades físico-químicas (baja fertilidad) o bien pendientes pronunciadas, rocosidad y pedregosidad asociada, las cuales suelen limitar su aptitud pecuaria y/o agrícola (URUGUAY. MGAP. DGRNR, 1994).

Esta expansión del rubro forestal ha generado inquietud a nivel de las empresas instituciones de investigación y del Estado en conocer y cuantificar los cambios que se producen en los suelos afectados a la forestación, en comparación con su uso anterior bajo pasturas, o en algunos casos, bajo agricultura. Dicha preocupación responde no sólo a un interés productivo, desde el punto de vista de la sostenibilidad del recurso suelo, sino también a un interés ambiental.

Los suelos destinados a la forestación, en la medida de ser suelos marginales para la agricultura, han sido escasamente estudiados. Esto lleva a que la información que se dispone de ellos es reducida, lo cual no permite implementar criterios de manejo sobre una base segura. Por tanto un primer aspecto a cubrir es procurar un mayor grado de información del recurso suelo destinado a la forestación. Un segundo aspecto será el establecer criterios de manejo de suelos acordes con el mantenimiento de la productividad del recurso en el tiempo. Finalmente, un tercer aspecto será desarrollar un proceso de monitoreo del recurso, que permita implementar normas de manejo y correcciones necesarias para mantener la sostenibilidad del sistema y conservación del ambiente. El cumplimiento de estos pasos posibilitará el acceder a mercados cada vez más exigentes en los productos provenientes del sector forestal, que cumplan con normas estrictas de certificación de la calidad del producto y el proceso.

El trabajo que se presenta tiene como objetivo general contribuir al conocimiento de suelos de los Grupos CONEAT 8.\*, destinados a la producción forestal, desde el punto de vista de sus propiedades físicas y químicas, y su relación con parámetros de productividad forestal. Los objetivos específicos son:

- Caracterizar los distintos ambientes dentro del predio Don Roberto padrón E-500 haciendo énfasis en el recurso suelo, de modo que sirva como punto inicial para monitorear los cambios en el suelo a través del tiempo.
- Contribuir al conocimiento de los suelos de la Unidad Tres Islas de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, 1976 (escala 1:1 millón) y Grupos de productividad CONEAT 8.1 y 8.3.
- Realización de una carta de aptitud para *Eucalyptus grandis* en el padrón en estudio.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### A. SUELOS DE PRIORIDAD FORESTAL

#### 1. Suelos de prioridad forestal y sus características generales

URUGUAY. MAP. CONEAT (1979) dice que para determinar la aptitud forestal de un suelo se tendrá presente que sus condiciones permitan un buen crecimiento de los bosques, con una buena capacidad de enraizamiento y adecuado drenaje.

Sganga (1983) menciona que las tierras de uso forestal, o sea las que tienen poca aptitud para otros usos, aún cuando sean poco productivas, deberían ser destinadas a forestación.

El concepto de **aptitud** tiene que ver entonces, con la productividad de un cultivo en determinado sitio según las condiciones de ese sitio, mientras que el concepto de **prioridad forestal** tiene más que ver con una decisión política y jurídica donde se incorporan los criterios de aptitud forestal y otros, como ser la baja aptitud para otros usos de la tierra (Durán y García, 2007b).

Uno de los primeros aportes sobre la aptitud forestal de los suelos del Uruguay fue realizado por Sganga (1983). El autor se basó en la carta de suelos del Uruguay 1:1000.000, y luego de definir cinco clases de aptitud forestal arribó al mapa de la Figura 1.

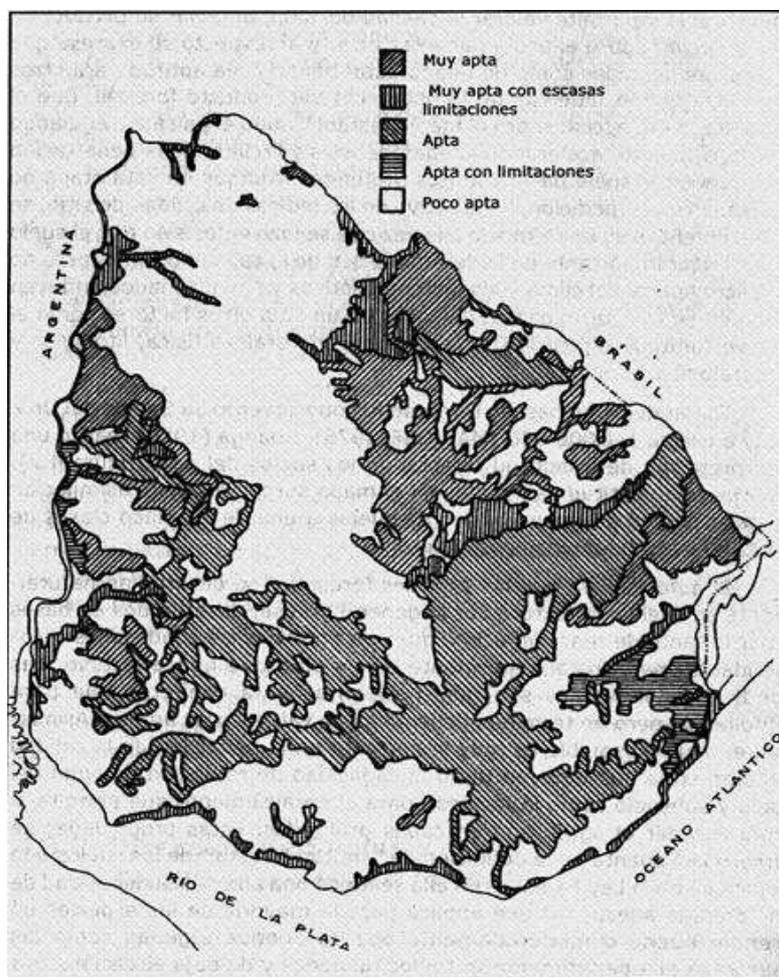


Figura 1. Aptitud forestal de los suelos del Uruguay (Sganga, 1983)

Según este antecedente la unidad Tres Islas corresponde a la Clase ii (Tierras aptas con escasas limitaciones). Lo cual está en concordancia con URUGUAY. MGAP. DGRNR (2010) que clasifica la tierra del predio como apta para una amplia gama de producción de pasturas y forestales.

La evaluación de la CIDE (URUGUAY. CIDE, 1967), basada en criterios esencialmente geológicos, sociales y económicos, divide al país en 13 zonas. De las cuales las zonas 2, 7, 8 y 9 son identificadas como de prioridad forestal, tal como se indica en la Figura 2.

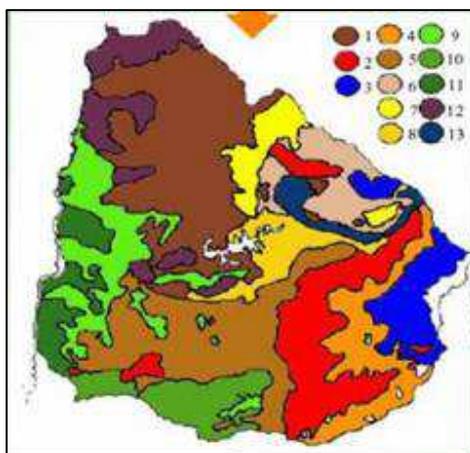


Figura 2. Croquis con zonas de uso y manejo de suelos (URUGUAY. CIDE, 1967)

Las zonas de prioridad forestal presentan suelos con las siguientes características:

Zona 2. Suelos superficiales, con suelos profundos de texturas medias.

Zona 7. Suelos muy profundos, ácidos y de textura muy liviana.

Zona 8. Suelos profundos de texturas livianas y medias y saturación media de bases.

Zona 9. Suelos de textura media y liviana, bien diferenciados, y suelos pesados, poco diferenciados.

Cuando se crearon los Grupos CONEAT, en general para su nomenclatura se tomaron los primeros números de las 13 zonas de uso y manejo del Uruguay (URUGUAY. CIDE, 1967), seguidos de números y letras. Otras veces esos números están precedidos por un cero (0), en ocasiones por una letra D, S o G. Esta estrategia fue adoptada para expresar que tienen una semejanza con los suelos del número siguiente, o que son derivados de sedimentos: “Devónicos”, “Salto” o “Gondwánicos” respectivamente.

Los Grupos CONEAT son áreas homogéneas, a la escala de trabajo utilizada, definidas por su capacidad productiva en términos de lana, carne bovina y ovina en pié (considerando a las pasturas naturales que soporta cada Grupo; sin considerar mejoramientos como fertilización, incorporación de nuevas especies de pasturas, etc.). Esta capacidad se expresa por un índice relativo a la capacidad promedio del país, a la que corresponde el índice 100 (URUGUAY. MAP. CONEAT, 1979).

Los grupos de **suelos de prioridad forestal** establecidos por la Ley Forestal No. 15.939 del año 1988, y en el Decreto 191/06 (URUGUAY. MGAP. DGRNR, 2006), son los correspondientes a los Grupos CONEAT 2.11a, 2.12, 5.01c, 5.02a, todos los 7, 07.1, 8.1, 8.02a, 8.02b, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 8.10, 8.11, 8.12, 8.14, 8.15, 8.16, 9.1, 9.2, 9.3, 9.42, 9.7, 9.8, 9.9, 09.2, 09.3 y S09.10. De acuerdo al decreto se agregaron los

Grupos 2.11b, 2.14 y 2.20 de los departamentos de Cerro Largo Treinta y Tres, 4.2 del departamento de Maldonado, y 07.2, 8.9, 8.13 y S09.11 de las 8ª, 23ª y 24ª Secciones Policiales de Canelones.

En la última actualización de la carta forestal del Uruguay (URUGUAY. MGAP. DGRNR, 2006), se constata que cerca de un 80 % de las plantaciones comerciales se encuentran ubicadas sobre suelos de prioridad forestal. Dichos suelos se muestran en la Carta de Suelos de Prioridad Forestal (Figura 3).

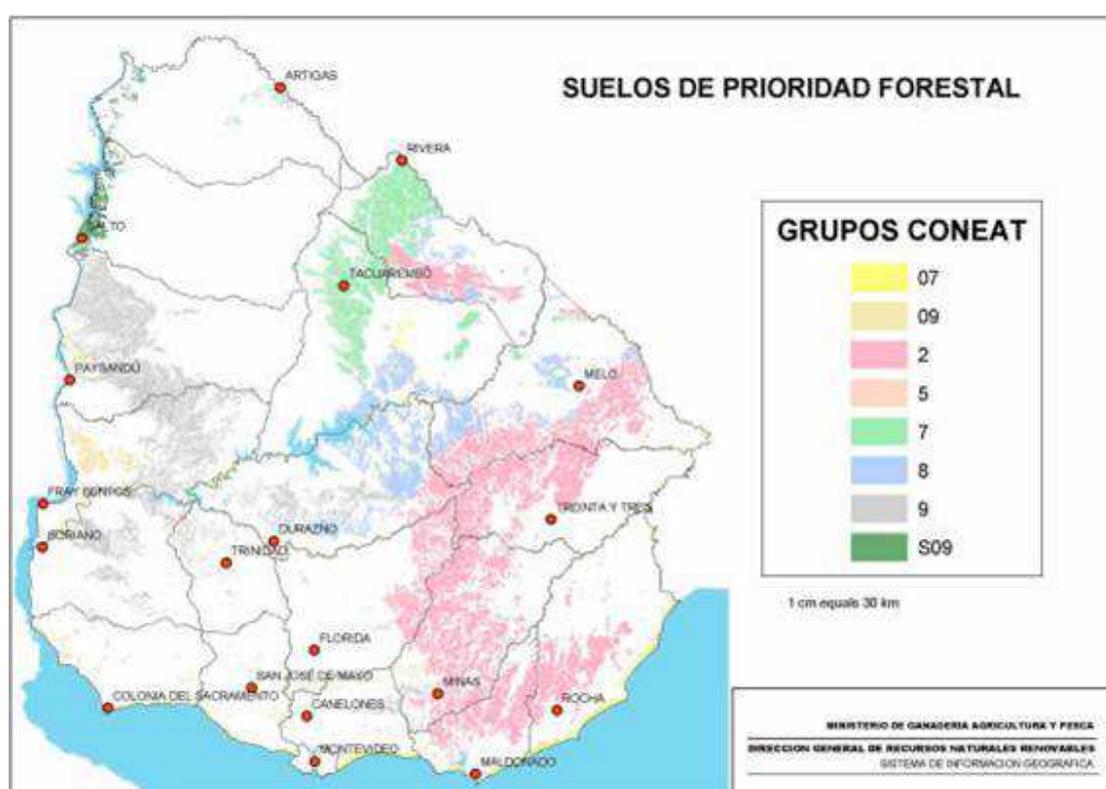


Figura 3. Carta de Suelos de Prioridad Forestal (URUGUAY. MGAP. DGRNR, 2006)

En el Cuadro 1 se indica la superficie ocupada por suelos de las diferentes unidades CONEAT de prioridad forestal del Uruguay en el año 2004.

Cuadro 1. Suelos de prioridad forestal y su superficie en el país en el año 2004

Grupo CONEAT	Superficie (Ha)	Proporción %
7	493.400	12,8
8	505.342	13,1
9	863.802	22,4
2	1615.328	41,8
0.7	119.412	3,1
0.9	185.533	4,8
S0.9	62.015	1,6
5.01c	16.885	0,4
Total	3.861.717	100,0

Fuente: URUGUAY. MGAP. DGRNR (2006)

En la actualidad, la superficie efectivamente plantada con especies forestales comerciales constituye el 11,1 % del área total de suelos definidos legalmente como de prioridad forestal (URUGUAY. MGAP. DGRNR, 2006).

En cuanto a la distribución territorial, la mayor superficie de plantaciones comerciales se ubica en el norte del país en los departamentos de Rivera y Tacuarembó. Les siguen en importancia la zona del litoral oeste, principalmente los departamentos de Paysandú y Río Negro. En la zona este, el departamento de Lavalleja es el de mayor importancia, siguiéndole Rocha y Cerro Largo (URUGUAY. MGAP. DGRNR, 2006). En la Figura 4 se indica el área efectivamente plantada en las diferentes unidades CONEAT de prioridad forestal.

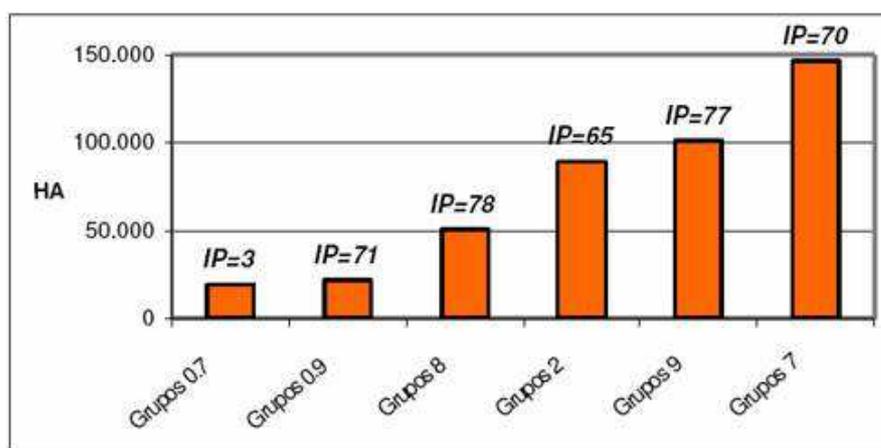


Figura 4. Superficie de plantaciones industriales por Grupos CONEAT de prioridad forestal e Índice de Productividad (IP) promedio (URUGUAY. MGAP. DGRNR, 2006)

En el Cuadro 2 se indica el área efectivamente plantada por especies comerciales dentro de cada Conjunto de Grupos CONEAT, así como su proporción dentro del área total del Grupo.

Cuadro 2. Superficie de plantaciones comerciales en suelos de prioridad forestal en el año 2004, y su proporción dentro de cada Conjunto de Grupos CONEAT

Conjunto de Grupos CONEAT	Superficie *plantada (ha)	Proporción del Grupo plantada* (%)
7	146.477	29,7
8	50.355	10,0
9	101.151	11,7
2	88.746	5,5
0.7	19.471	16,3
0.9	21.457	11,6
S0.9	601	1,0
5.01c	953	5,6
<b>Total</b>	<b>429.211</b>	<b>11,1</b>
Otros Grupos	126.421	-
<b>Total general</b>	<b>555.632</b>	<b>-</b>

\*Plantaciones de Pino, *E. globulus*, *E. grandis* y Salicáceas.

Fuente: URUGUAY. MGAP. DGRNR (2006)

La Figura 5 muestra la distribución de las diferentes especies (*E. grandis*, *E. globulus* y *Pinus sp.*) con respecto a los principales Grupos de prioridad forestal (2, 7, 8 y 9).

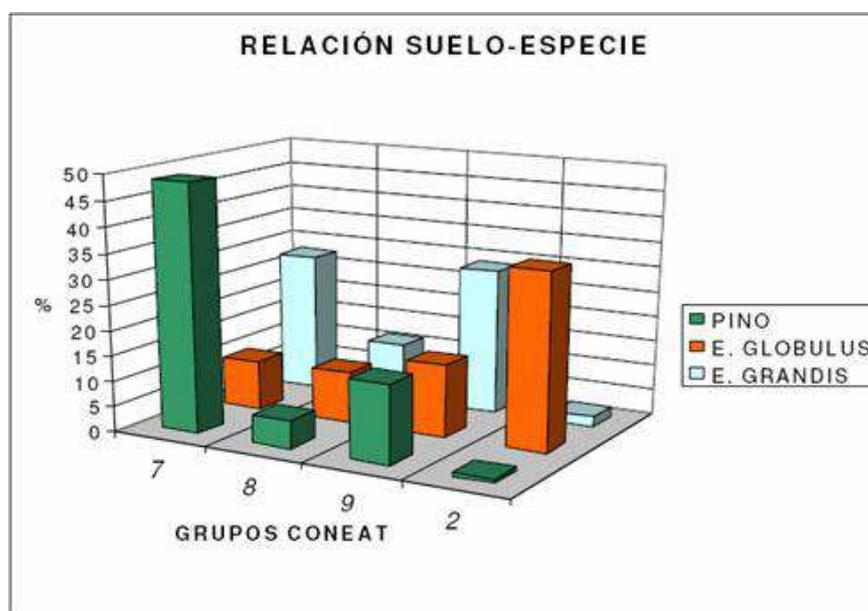


Figura 5. Porcentaje de las clases *E. grandis*, *E. globulus* y *Pinus sp.* en los principales Grupos CONEAT de prioridad forestal (2, 7, 8 y 9) (URUGUAY. MGAP. DGRNR, 2006)

El predio estudiado presenta suelos del Grupo 8. Dicho Grupo es el que exhibe la distribución más pareja de las especies intragrupo como lo muestra la Figura 5.

En función de las propiedades de los distintos suelos de prioridad forestal y los requerimientos ambientales de las distintas especies industriales, así como en base a la propia experiencia y experimentación, es que se ha ido estableciendo una zonificación ecológica en el país. Dicha zonificación se ve reflejada en la carta forestal con la distribución de las especies forestales de importancia en el Uruguay de la Figura 6.

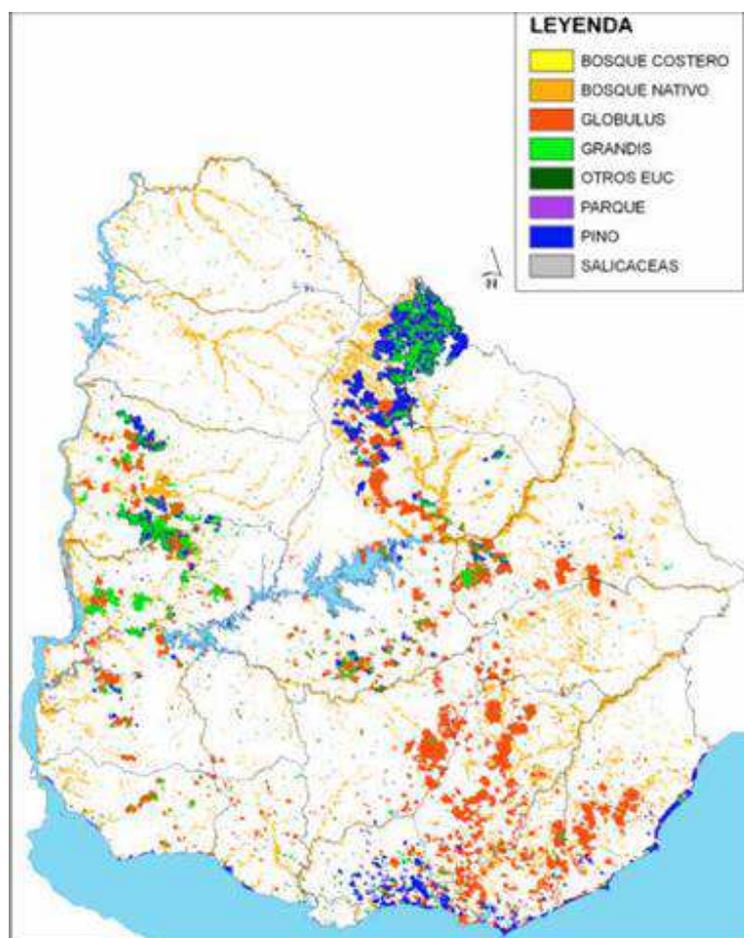


Figura 6. Carta forestal en base a imágenes LANDSAT del año 2004 (URUGUAY. MGAP. DGRNR, 2006)

Más particularmente en el departamento de Cerro Largo si bien predomina el bosque nativo. Los *Eucalyptus grandis* y *E. globulus* están en primer lugar en cuanto a área plantada y en segundo lugar le siguen los pinos (ver anexo 6, Carta forestal de Cerro Largo).

## 2. Suelos de la unidad Tres Islas

Según la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (URUGUAY. MAP. DSF, 1979b) en la unidad Tres Islas los suelos dominantes son Luvisoles Ócricos (melánicos típicos abrupáticos) Ar ródicos. Están asociados a Brunosoles subéutricos típicos ArAc (parácuicos), Brunosoles Dístricos lúvicos ArFr/Ar moderadamente profundos, ródicos, Litosoles Dístricos/Subéutricos Ócricos/Úmbricos ArFr/Fr. En forma accesoria se da la ocurrencia de afloramientos rocosos. Los materiales generadores son sedimentos arenosos de la formación San Gregorio recubiertos de sedimentos arenosos retransportados. El relieve está compuesto por colinas rocosas escarpadas y colinas fuertes. En las laderas medias aparecen Luvisoles Ócricos; en las partes altas contra las escarpas los Litosoles; y en las laderas medias a bajas los Brunosoles.

Una descripción más amplia de los perfiles de suelos dominantes, asociados y accesorios de la unidad Tres Islas se encuentra en URUGUAY. MAP. DSF (1979b).

Los suelos dominantes de la unidad Tres Islas pertenecen al Orden Desaturados Lixiviados. Los suelos de este Orden se formaron a partir de areniscas devonianas y gondwánicas o formaciones superficiales de edad pleistocénica depositadas sobre areniscas más antiguas (Durán, 1991b).

La secuencia típica del perfil es A-Bt-C, con una profundidad dominante que va desde 1.5 a 2.0 m, siendo así los suelos más profundos del país. El horizonte A tiene una profundidad que varía entre 40 y 100 cm, su color es pardo, más o menos oscuro, con tonalidades grisáceas o rojizas, y la textura es franco arenoso o más liviano. La parte inferior del horizonte A es decolorada, y la transición entre éste y el B puede ser abrupta o clara, pudiendo existir horizontes transicionales; mientras que el horizonte B puede ser rojo oscuro, pardo rojizo, pardo amarillento, pardo oscuro, o gris en profundidad con moteados rojos y amarillos, siendo su textura franco arcillo arenosa a arcillosa (Durán, 1991b). Estos suelos sufrieron una intensa lixiviación de bases y un fuerte proceso de acidificación en todo el perfil, con valores de pH entre 4 y 5.5 (URUGUAY. MAP, 1976a).

## B. REQUERIMIENTOS ECOLÓGICOS DE LAS ESPECIES COMERCIALES DE *EUCALYPTUS* MÁS COMUNES EN EL PAÍS, E INTERACCIONES DE ESTAS CON PROPIEDADES DEL SUELO Y OTROS FACTORES DEL SITIO

### 1. Introducción

El sitio Forestal es la unidad mínima del paisaje, es homogéneo en clima, suelo, vegetación, geoformas, geología. Sus características indican qué tan apto es para el cultivo forestal, en este caso con *Eucalyptus sp.* (Prichett, 1986).

El mismo autor atestigua que algunos indicadores de la calidad del sitio son.

- \* un mapa detallado de suelos con caracterización física y química
- \* variables dendrométricas como la altura a los 7 años, rendimiento, incremento en diámetro a la altura del pecho/año, etc.
- \* plantas indicadoras (ej.: la carqueja blanca es un indicador de suelos degradados, siendo indicador de mal sitio para plantar).

El suelo es uno de los principales determinantes de la distribución de las especies vegetales del Uruguay, ya que presenta una alta correlación con los tipos de vegetación (Sganga, 1994).

Las **características de un sitio** deben ser cuantificables, como el pH, contenido de materia orgánica, pendiente del terreno, etc. Mientras que las **cualidades del sitio** son propiedades inferidas a partir de las características, como por ejemplo las del perfil del suelo, riesgo de heladas, espacio para las raíces, disponibilidad de oxígeno, etc. (Terzaghi et al., 1988).

### 2. Concepto de sitio

El sitio forestal o (Eco topo), es una unidad mínima (homogénea) de paisaje, en la que sus constituyentes esenciales, suelo, clima, vegetación, hidrología y geología no presentan variaciones significativas. Desde el punto de vista de los suelos está constituido por un polipedón de un mismo suelo (una sola serie), por lo que en las cartografías edafológicas constituyen las unidades de mapeo de la carta detallada (escala 1:20.000 o mayor) Zonneveld, citado por Perdomo y Roncaglio (2000).

La productividad forestal potencial, frecuentemente es medida por el “Índice de Sitio”. Este índice es determinado por la acción e interacción de diversos factores del medio y es influenciado por las prácticas en la gestión forestal (Cueto, 2005). La calidad de Sitio se define según Cox et al. (1997) como la capacidad de un área determinada para el crecimiento de árboles. Es la respuesta, en el desarrollo de una determinada especie, a la totalidad de las condiciones ambientales existentes en un determinado lugar.

### 3. Especies de *Eucalyptus sp.*, requerimientos ecológicos

El *E. grandis* es uno de los cultivos más empleados en forestaciones comerciales por su conformación y velocidad de crecimiento, las que pueden verse sensiblemente disminuidas en los suelos poco desarrollados y en aquellos con drenaje imperfecto. Las plántulas y plantas jóvenes no toleran excesivas heladas (Brussa, 1994). Crece bien en suelos con buena capacidad de retención de agua, profundos, de texturas limosas, bien drenados (Nelly, Chippendale y Johnston, Boland, Golfari, citados por Brussa, 1994).

Otra de las especies que ocupa un área importante en el país es *Eucalyptus globulus ssp. globulus*. Se adapta a gran variedad de suelos con buen drenaje, desde arenas costeras a pedregosos de serranías, donde presenta muy buen desarrollo (Brussa, 1994). Los principales inconvenientes en Uruguay para el crecimiento y desarrollo de esta especie son las heladas, las sequías prolongadas, el excesivo calor del verano y la temperatura promedio anual Shield, citado por Ravera (2002).

Otra especie que se puede encontrar en las plantaciones comerciales del Uruguay es *Eucalyptus dunnii*. Esta especie crece en suelos de alta fertilidad, buena capacidad de retención de agua y buena aireación, siendo sensible al mal drenaje, Nelly, Chippendale y Johnston, Boland et al., citados por Brussa (1994). El cultivo comercial de esta especie en Uruguay es más reciente, estando en plena expansión dada su adaptación a las condiciones locales y buena productividad. Es considerada más resistente al frío que *E. grandis* y *E. saligna* (Brussa, 1994).

#### 4. Interacción entre especies y factores de sitio

Un factor importante en la adaptación y crecimiento de una especie, es el origen o procedencia de la misma como lo indican “los ensayos de orígenes” realizados por el INIA en Uruguay. Estos determinaron que la supervivencia y la susceptibilidad a enfermedades están muy relacionadas al lugar de origen de la semilla (Cueto, 2005).

Es muy arriesgado definir los requerimientos edáficos de un vegetal independientemente de los otros elementos del medio ambiente en que ese vegetal va a crecer como el clima y factores bióticos (Sganga 1979, Cueto 2005).

Las propiedades del suelo que determinan el crecimiento son: profundidad efectiva, pedregosidad, textura, densidad aparente, tipo de horizonte A y fertilidad. Entre los parámetros de fertilidad del suelo se destacan: la materia orgánica, la saturación en bases, las formas químicas del fósforo, potasio, calcio, y la meteorización de los minerales primarios, dependientes fundamentalmente de la mineralogía del suelo (Prichett, 1986).

De acuerdo a criterios establecidos por Prichett (1986), en una clasificación operante o en un programa de mapeo para determinar la productividad local no deben establecerse más de tres o cuatro propiedades del suelo.

Cada una de las variables detalladas anteriormente varía con el tipo de suelo y condiciona lo que sobre él crece (Prichett, 1986). El crecimiento es medible y sirve para valorar la calidad del sitio, apreciar su productividad y decidir sobre el uso que se le dará a esa tierra (Sganga, 1983).

#### 5. Efecto de la vegetación de *Eucalyptus sp.* en las características del suelo

El dominio de praderas en las regiones templadas está indisolublemente asociado al desarrollo de los suelos a través del papel que juegan en la pedogénesis sus residuos orgánicos (Céspedes, 2007).

De modo tal que es posible asumir que frente a una perturbación o sustitución de la cobertura vegetal nativa, se conduce a un reequilibrio entre la nueva vegetación y el suelo, fundamentalmente, a partir de un cambio cuantitativo y cualitativo de los residuos orgánicos aportados al suelo (Céspedes, 2007). Uno de los cambios más notorios, además de la pérdida de diversidad biológica, es la sustitución de plantas de ciclo anual por una especie única de ciclo mucho más extenso (Céspedes, 2007).

Las raíces de los árboles se introducen en las fisuras y contribuyen a desmenuzar el manto rocoso. Penetran en algunas capas compactadas y mejoran la aeración, la estructura del suelo, la infiltración y retención de agua, así como la capacidad de aprovechamiento de nutrientes (Prichett 1986, Acuña y Poch 2001).

La cubierta forestal y su capa superficial resultante ejercen una profunda influencia sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Favorecen el mantenimiento de una buena estructura en el suelo, independientemente de su textura, dando protección contra la erosión. Proporcionan un microclima (clima un tanto oceánico) y un espectro de microorganismos diferentes de los relacionados con la mayoría de los demás suelos. Los suelos con cubierta forestal se diferencian de otros por la forma en que se dan algunos procesos. Como los ciclos de nutrientes entre los componentes de los campos forestales y la formación de ácidos orgánicos a partir de residuos en descomposición con la subsiguiente lixiviación de las bases (Prichett, 1986).

El microclima (más atemperado) influye en la cantidad de agua que llega a la superficie del suelo, disminuyendo pérdidas por escurrimiento, favoreciendo la infiltración, y ocasionando una mayor pérdida de agua como resultado de la evapotranspiración. Las raíces llegan a zonas profundas dentro del perfil, extraen bases y las devuelven a la superficie por medio del mantillo (Prichett, 1986).

Cabrera y Cal (2007) encontraron que el cultivo comercial con este género produce disminución en el contenido de bases y aumento de la acidez del suelo. No obstante esto, según varios autores, entre ellos Prichett (1986), los *Eucalyptus* pueden crecer en suelos ácidos con bajos contenidos de materia orgánica y fertilidad natural.

Jobbágy y Jackson (2003) en sus trabajos con *Eucalyptus*, señalan que existe un proceso de acidificación en el suelo. Y que el mismo está directamente relacionado al reciclado y redistribución de calcio realizado por los árboles, más que a la lixiviación provocada por ácidos orgánicos o al aumento en la producción de ácido carbónico en el suelo.

## C. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA Y MAPA DE APTITUD

### 1. Principales factores climáticos

Los climas de Uruguay y de las regiones de origen de las especies de Pinos y *Eucalyptus* que se plantan aquí, son en grandes números muy similares (Caffera et al., 1991), lo cual es compatible con los datos climáticos del hábitat original de las especies de *Eucalyptus* aportados por (Brussa, 1994).

Nuestro país, situado íntegramente en la zona templada, posee un clima moderado con las cuatro estaciones claramente diferenciadas. El verano es largo, cálido y húmedo, con precipitaciones promedio de 1.250 mm anuales. La temperatura media en primavera es de 17 °C, en verano de 25 °C, en otoño 18 °C y 5,3 en invierno, siendo la mínima extrema de -11 °C. Las lluvias caen en todas las estaciones, tomando una serie de años extensa (29 años) el promedio mensual arroja valores similares (aprox. 90 mm). Sin embargo, los excesos y déficit de humedad en el suelo se deben a los valores extremos en la evapotranspiración que se desarrollan en el invierno y verano respectivamente (URUGUAY. MDN. DNM, 2009).

En resumen, el régimen de humedad de acuerdo a la clasificación de suelos de Estados Unidos (Soil Taxonomy) de todo el territorio nacional, según Durán et al. (1999) se define como údico en todos los suelos de drenaje libre, aunque en algunos suelos con contacto lítico a escasa profundidad podría aproximarse ústico. Mientras que en tierras bajas, donde la napa freática se encuentra próxima a la superficie – al menos durante una parte del año – y donde existen inundaciones más o menos periódicas y frecuentes, el régimen de humedad es ácuico, lo que ocurre en áreas relativamente menores.

Según la clasificación climática clásica, todo el territorio está comprendido dentro de las siguientes características:

- Clima templado, moderado y lluvioso (temperatura del mes más frío entre -3° y 18 °C): "tipo C".
- Clima de temperie húmeda (la lluvia es irregular condiciones intermedias entre el W y el S) de Köeppen: "tipo f"; variedad específica de temperatura (temperatura mes más cálido superior a 22 grados centígrados): "tipo a".

2. Características geológicas de los suelos correspondientes a los Grupos CONEAT 8.12 y 8.3

Estos suelos pertenecen a la formación San Gregorio, que según Bossi (1998) constituye la unidad basal de la secuencia Neopaleozoica. Se apoya en discordancia erosiva sobre las rocas del basamento ígneo-metamórfico de edades Predevonianas y las secuencias Eopaleozoicas del Grupo Durazno. Le siguen con concordancia la formación Tres Islas en el departamento del Cerro Largo y la formación Melo en el resto de su área de ocurrencia.

La unidad está constituida por psefitas hasta pelitas, aunque con notable predominio de las primeras, tanto en afloramientos como en subsuelo (Caorsi y Goñi, 1958). Las psefitas están representadas especialmente por diamictitas re-sedimentadas, tillitas y, en menores proporciones, conglomerados clasto-soportados.

Los estratos psamíticos pueden ser multi-episódicos o asociarse con pelitas (facies heterolíticas). Las facies heterolíticas afloran al NW de Tupambaé. Aparecen como sucesiones decimétricas hasta métricas de psamitas macizas, gradadas o laminadas, intercaladas con pelitas macizas deformadas por acción glaci-tectónica (Bossi y Navarro, 1991).

Según Ferrando y Andreis, citados por Bossi y Navarro (1991) las facies de tillitas son interpretadas como till de alojamiento formado por la acumulación de detritos subglaciales y englaciales por fusión del hielo contra el sustrato rocoso. La existencia de estrías y acanaladuras, clastos intracuencales (sedimentos devónicos) o pentagonales, y los espesores de las tillitas, permiten inferir la acción de procesos erosivos y de remoción del sustrato, comunes en glaciales fríos (polares) de base húmeda. En algunos casos, las masas de hielo se movieron sobre suelos congelados, modificados por crioturbación (cuñas de hielo, “permafrost”) o provocaron la deformación de discretas sucesiones de psamitas y pelitas (pliegues glacio-tectónicos).

3. Carta de aptitud para *Eucalyptus grandis*

En el sitio estudiado (Establecimiento Don Roberto) según la carta de aptitud general de uso de la tierra URUGUAY. MGAP. DGRNR (2010) son en su mayoría tierras cultivables en condiciones especiales, aptas para una amplia gama de producción de pasturas y forestales.

Se ensayará una clasificación más detallada y específica para *Eucalyptus*, utilizando algunos criterios del esquema de evaluación de tierras presentado por FAO (1976). Este esquema proporciona pautas de cómo elaborar un sistema que se adecue a las necesidades del predio y además cumple con los siguientes requisitos:

- Es idóneo para evaluar la tierra bajo la forma de uso definida a esa escala de aplicación. La alternativa de uso es físicamente posible y económicamente relevante, lo cual apunta a realizar análisis de sistemas de producción económicamente viables, complementando los clásicos estudios de productividad física.

- Propone analizar las repercusiones que sobre el ambiente pueda provocar el sistema de producción evaluado. Además, es suficientemente flexible como para incorporar cambios tecnológicos futuros.

En definitiva, quizás los mayores impactos o beneficios que tiene este esquema son generar la acumulación de una creciente cantidad y calidad de los registros de producción, así como de todas las variables que puedan incidir en los resultados físicos y económicos. Además, promueve la discusión conjunta de diferentes especialistas del que hacer agronómico (economistas, agrónomos asesores, edafólogos, etc.), provocando el enriquecimiento mutuo a través de sus naturales distintas perspectivas.

Tanto a nivel nacional como internacional, existen varios sistemas con diferentes alcances y limitaciones. En nuestro caso se optó por hacer una clasificación semi-cuantitativa (sistema multiplicativo) ya que una clasificación cuantitativa requiere de varios años de experimentación lo cual excede ampliamente los objetivos de esta tesis que aborda el estudio de un caso en particular.

Las evaluaciones semi-cuantitativas, provienen de efectos inferidos en forma numérica de las varias características tenidas en cuenta para evaluar el comportamiento potencial de un sistema de uso de la tierra. Los sistemas multiplicativos asignan ratings separadamente a cada una de las varias características o factores, luego toman el producto de todos los ratings de factores, como el índice de rating final. De esta manera indicaremos con números crecientes, los grados crecientes de limitación.

En dicha clasificación semi-cuantitativa se toman como importantes los parámetros de suelo y de sitio confrontándolos con los requerimientos que tienen mayor influencia en el crecimiento del cultivo en estudio producido con las tecnologías de la zona, estableciéndose finalmente un mapa de aptitud de uso de la tierra (Terzaghi et al., 1988).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### A. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO DON ROBERTO

##### 1. Ubicación

El trabajo se realizó en el establecimiento Don Roberto, el cual se encuentra en la localidad del Paso de la Laguna del Junco, seccional policial No. 8 del departamento de Cerro Largo. Dicho establecimiento tiene un área de novecientos sesenta hectáreas (960 ha), y se accede al mismo a través de un camino vecinal que surge al NW de la Ruta Nacional No. 7 entre Santa Clara de Olimar y Tupambaé. El predio en cuestión es atravesado por el camino mencionado, en tanto que sus límites Oeste y Este son el arroyo Tarariras y la cañada de Garcete, respectivamente.

En la Figura 7 se aprecia la ubicación del predio en nuestro territorio, mientras que en la Figura 8 se indica su imagen satélite extraída del programa Google Earth (Coordenadas: Latitud 32° 35' 31.2" S. /Longitud 54° 57' 01.3" W).



Figura 7. Ubicación general (Garmin, 2007)

El establecimiento estudiado está comprendido por las fotografías aéreas No. 248-086; 248-087; 248-088; 248-037 y 248-036 a escala 1:20.000 de (URUGUAY. MDN. SGM, 1967). Asimismo, está inserto en la hoja F-17, “Quebracho” a escala 1:50.000 (URUGUAY. MDN. SGM, 1982).

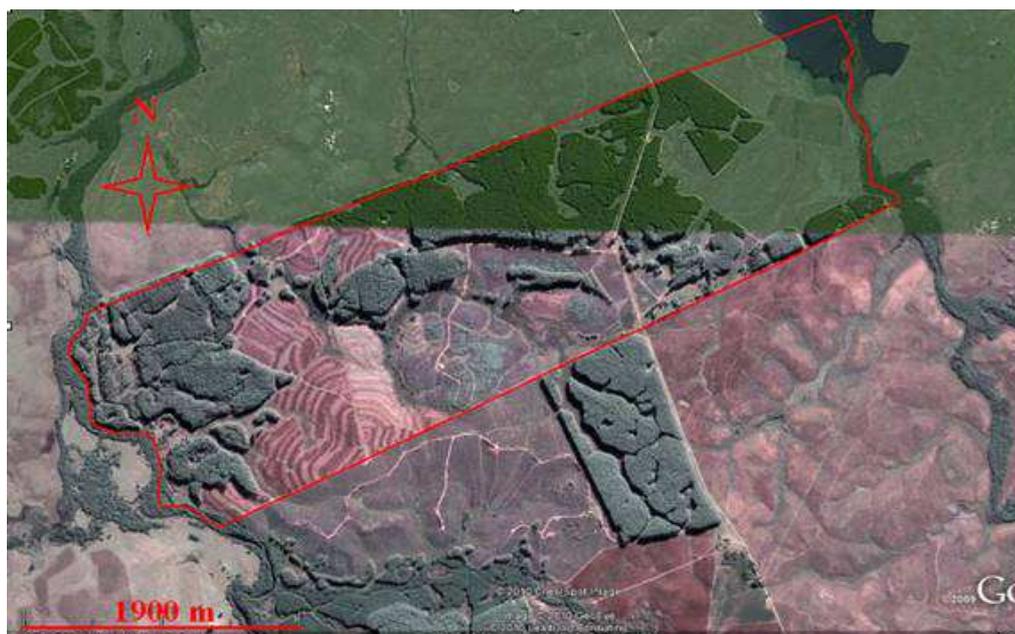


Figura 8. Ubicación sobre mosaico de imágenes Google Earth (Google Earth, 2008)

## 2. Datos climáticos de la zona de estudio

La Figura 9 muestra la distribución promedio de las temperaturas (para una serie de 29 años) según la estación meteorológica de Melo.

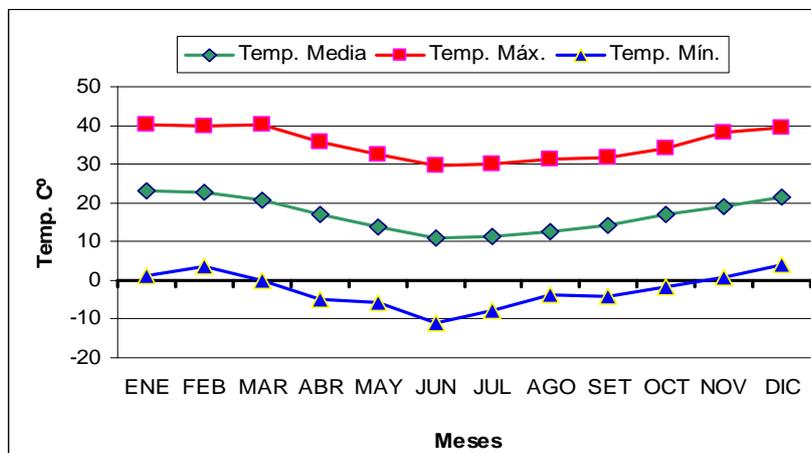


Figura 9. Distribución de las temperaturas en el Dpto. de Cerro Largo (URUGUAY. MDN. DNM, 2009)

Según valores medios mensuales y anuales de precipitación publicados por URUGUAY. MDN. DNM (2009), la precipitación media anual es de 1238 mm. El mes de julio presenta las mayores lluvias con un máximo de 129 mm. Mientras que el mes de menores lluvias medias es abril con 79 mm. Pese a esa distribución de valores medios, las precipitaciones se caracterizan por su extremada irregularidad y variabilidad. Lo que se refleja en la ocurrencia de sequías importantes alternadas con períodos de grandes excesos en la lluvia, a veces concentrados en períodos breves.

Las estadísticas mensuales de lluvias, días con lluvia, presión, humedad relativa, presión de vapor, velocidad de viento, etc., según registros de la estación meteorológica de Melo se pueden apreciar en el anexo No. 1 de este trabajo.

### 3. Geología del predio

La Figura 10 muestra la ubicación del predio Don Roberto en la carta geológica de la región.

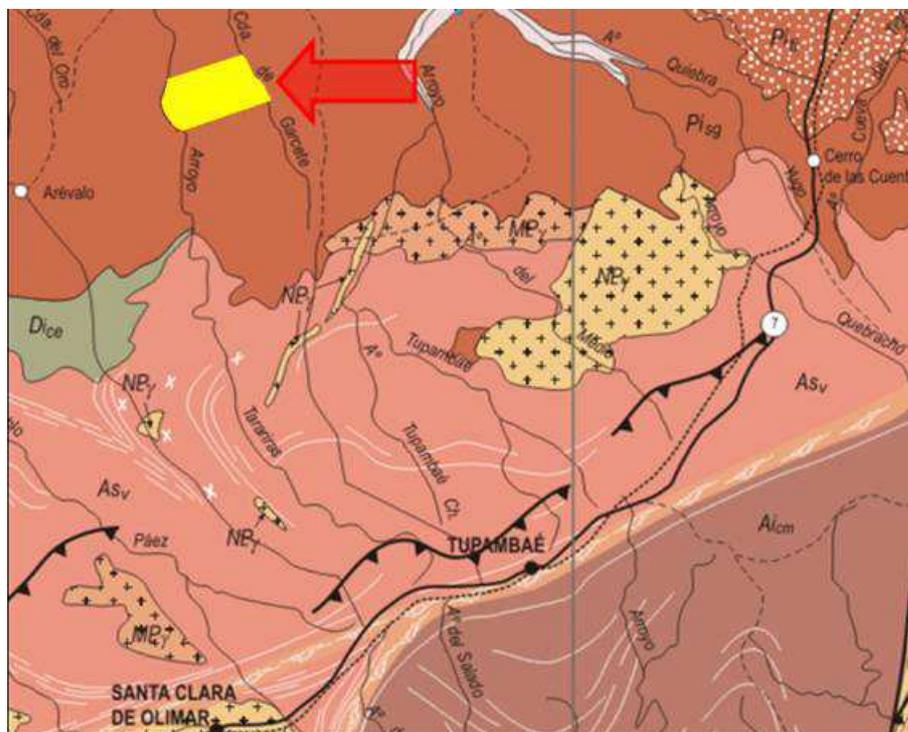


Figura 10. Geología del predio Don Roberto (Bossi et al., 1998)

**Pi sg.** Fm. San Gregorio
 
 Predio Don Roberto padrón E-500

Según Bossi et al. (1998) el predio se encuentra ubicado en la formación San Gregorio, lo cual concuerda casi del todo con nuestras observaciones realizadas in situ. La excepción ocurre dentro del Grupo CONEAT G10. 6b que se da en algunas laderas suaves altas de entre 2-4 % de pendiente. Allí se constató la presencia de la formación San Gregorio con posibles recubrimientos de sedimentos de texturas finas de escasa potencia que dan lugar a Brunsoles con Vertisoles asociados en menor proporción.

La presencia de Vertisoles se puede explicar por la existencia de algún material parental arcilloso en el lugar. Dicho material pueden ser las tillitas arcillosas que mencionan Bossi y Navarro (1991) en la base de la formación San Gregorio ó recubrimientos de algún material cuaternario arcilloso (lodolitas)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Califra, A. 2010. Com. personal.

#### 4. Vegetación natural

La vegetación natural del predio es la pradera (predominantemente estival) con pocas especies finas, de baja producción y aguda crisis invernal. Una de sus características más importantes es el alto número de especies y la diversidad de caracteres vegetativos, y productivos.

Según Ferreira (2001), la región donde se desarrolla el predio Don Roberto se encuentra en la zona agro-ecológica de suelos arenosos. Esta zona no posee una productividad anual de pastos muy elevada, se trata de una producción de pasturas con un pico estival.

Los extremos Este y Oeste del predio están delimitados por dos arroyos con vegetación de selva fluvial y parque cerca de las vías de drenaje e hidrófila, herbazal limpio, en los lugares más alejados y que aún quedan sin forestar.

#### 5. Suelos, descripción de Grupos CONEAT

La información proporcionada por CONEAT, cita que los Grupos de productividad que comprenden estas tierras son: G10.6b; G03.11; 8.3 y 8.12. Los dos últimos son de prioridad forestal según la ley de promoción forestal 15.939 (Figura 11).



Figura 11. Grupos CONEAT en el predio Don Roberto (URUGUAY. MGAP. DSF, 2004)

El Grupo **8.3** presenta relieve de colinas sedimentarias algo rocosas, con pendientes de 8-12 %. Los suelos dominantes son Inceptisoles Ócricos Superficiales (Regosoles), de color pardo grisáceo, textura franco arenosa, bien drenados y fertilidad baja.

Por su parte el Grupo **8.12** tiene relieve de colinas sedimentarias no rocosas y lomadas fuertes, con pendientes de 6-10 %. Los suelos son Luvisoles Melánicos Típicos (Praderas Arenosas) muy profundos de color pardo rojizo oscuro, textura franco arcillo arenosa, bien drenados y fertilidad extremadamente baja.

El Grupo **G 10.6 b**, presenta relieve de lomadas suaves, con partes altas aplanadas y pendientes entre 2-4 %. Los suelos dominantes son Argisoles Subéutricos Ócricos Abrúpticos (Praderas Planosólicas), de color pardo oscuro, textura franca, imperfectamente drenados y fertilidad media. Asociados y relacionados a las laderas, aunque en menor proporción que en la unidad anterior, ocurren Vertisoles Rúpticos Lúvicos (Grumosoles), profundos, de color negro, textura franco arcillosa, bien drenados y fertilidad alta.

Finalmente el Grupo **G 03.11** ocupa llanuras bajas, adyacentes a vías de drenaje, y con pendientes prácticamente de 0%. Los suelos son principalmente Gleysoles Lúvicos Melánicos (Gley húmicos), de texturas variables, aunque generalmente finas, muy profundos y Fluvisoles Heterotexturales Melánicos (Suelos Aluviales), con texturas variables, muy profundos. Pueden ocurrir inundaciones por periodos de tiempo variable.

## B. ÁREA DE ESTUDIO, MUESTREO Y MAPEO DETALLADO

### 1. Selección de áreas de estudio y muestreo

Se siguió la metodología de relevamiento de Suelos del Soil Survey Manual (USDA. NRCS 1976, Porta Casanelas et al. 1999).

La fotointerpretación preliminar se realizó por estereoscopia sobre fotografías aéreas a escala 1:20.000 tomadas en el año 1967 por el Servicio Geográfico Militar. Se separaron las áreas homogéneas en base a tonos de la foto, pendientes, formas topográficas, diseño del drenaje superficial, afloramientos, vegetación, uso actual, etc.

Posteriormente se llevó a cabo una planificación del recorrido y reconocimiento en el terreno, con el fin de rever y corregir los límites trazados en la fotointerpretación preliminar, determinar el padrón de suelos de las unidades ya separadas, y realizar descripciones morfológicas de cada perfil de suelo con taladro tipo holandés. En esta etapa también se hicieron observaciones sobre geomorfología, drenaje externo, erosión actual, geología, rocosidad, vegetación natural y uso actual de las unidades.

En cada descripción a taladro se anotó la secuencia de horizontes, espesor, color, textura, consistencia y presencia de concreciones.

Luego del cateo y descripción en varios lugares dentro de cada unidad se determinaron puntos representativos para hacer calicatas. En los sitios seleccionados se describieron:

\*Propiedades asociadas al sitio: relieve general y local (pendiente, longitud, forma), drenaje, pedregosidad, riesgo de inundación, riesgo de sequía, etc.

\*Propiedades morfológicas del perfil, transiciones entre horizontes, estructura, revestimientos y otras características difíciles de apreciar a taladro.

\*Se obtuvieron muestras de distintos horizontes de cada perfil, para realizar análisis químicos y físicos que permitiesen obtener datos de las propiedades o características que se mencionan a continuación.

2. Análisis químicos y físicos de muestras de los perfiles representativos de suelo

a. Análisis de distribución de tamaño de partículas

Con las partículas menores a 2 mm de cada muestra del suelo se calcularon las proporciones de arena, limo y arcilla por el método de Day modificado (Gee y Bauder, 1979).

b. Densidad aparente y porosidad total

La densidad aparente (da) se determinó por el método del cilindro de volumen conocido (Black, 1965). Dicho método se aplicó en tres muestras imperturbadas del horizonte A y tres del B de dos de los suelos caracterizados.

A partir de las mismas muestras imperturbadas que se usaron para densidad aparente se determinó la porosidad total en % siguiendo el procedimiento citado en Kaplán et al. (1990)  $PT (\%) = 100 [1 - (d.a./d.r.)]$

Nota: Densidad aparente (da): Es la relación que existe entre el peso seco (105° C) de una muestra de suelo, y el volumen que esa muestra ocupaba en el suelo. Mientras que densidad real (dr): Es el promedio ponderado de las densidades de las partículas sólidas del suelo.

La microporosidad se calculó mediante la siguiente fórmula:

% volumen de micro poros = % peso Capacidad de Campo x da.

% Macro poros = PT % - Micro poros %

c. Capacidad de almacenamiento de agua y agua disponible para las plantas en los perfiles de suelo

Con los datos analíticos de tamaño de partículas y de materia orgánica se estimó el agua potencialmente disponible neta (APDN) en algunos suelos. El (APDN) es la diferencia entre el contenido de agua a Capacidad de Campo (succión de matriz de 10 KPa) y Punto de Marchitez Permanente (1500 KPa).

La retención de agua se estimó con las siguientes ecuaciones de regresión ajustadas por Silva et al., citados por Kaplán et al. (1990).

Cuadro 3. Ecuaciones de retención de agua a capacidad de campo y punto de marchitez permanente para horizontes A y B.

Horizonte	Ecuación	r <sup>2</sup>
A_arenosos	CC=8.658+2.571(mo)+0.296(L)	0.943
A	CC= 21.977-0.681(Ar) +2.601(mo) + 0.127(Ac)	0.815
A	CMP= -2.177+0.39(Ac) +1.206(mo)	0.614
A+B	CC= 18,448- 0,125(Ar)+1,932(mo)+0,295(Ac)	0.621
A+B	CMP=-4.671+0.498(Ac)+1.291(mo)	0.666

Fuente: Kaplán et al. (1990).

Nota: CC: Capacidad de campo (succión de matriz de 10 Kpa); CMP: Coeficiente de marchitez permanente (1500 Kpa); mo: materia orgánica; L: limo; Ac: arcilla; Ar: arena

El agua disponible en mm que un horizonte puede retener se calculó por la siguiente fórmula:

$$\text{mm H}_2\text{O disponible} = \frac{\text{porcentaje por volumen de humedad disponible} * \text{espesor en cm.}}{10}$$

Para llevar dicha información a los mm de agua disponible que un suelo puede retener, se usó el espesor de los horizontes y su densidad aparente. El primero se determinó en el campo para todos los suelos. La segunda solo se midió en algunos suelos, en el resto se usó la función de estimación obtenida por Fernández, citado por Kaplán et al. (1990) con un r<sup>2</sup> = 0,509.

Mediante el principio de desplazamiento de líquidos de Arquímedes, se determinó el porcentaje en volumen de elementos gruesos >2 mm sobre el total en los horizontes gravillosos y ó guijarrosos. Esto se usó como insumo para corregir los datos de agua disponible en el perfil del suelo. Se les restó el porcentaje de elementos gruesos a los datos de agua disponible en cada horizonte del perfil. Ya que, ese porcentaje de elementos gruesos (con su baja superficie específica) no aporta a la retención de agua.

Finalmente los resultados fueron clasificados según la clasificación de (APDN) que aparece en Molfino (2009).

d. Determinaciones químicas

Se determinó el contenido de materia orgánica por el método de Walkley-Black mediante oxidación del carbono orgánico por dicromato de potasio en medio ácido, y posterior determinación colorimétrica del  $\text{Cr}^{+3}$  (Nelson y Sommers, 1996). La acidez intercambiable fue determinada mediante extracción con una solución de KCl 1M y posterior valoración con NaOH 0.05M (Thomas Sims, 1996). Se realizó la determinación potenciométrica del pH en la suspensión de suelo con agua y KCl 1M, en una relación v/v 1:2.5 (Thomas Sims, 1996). La extracción de bases de intercambio se realizó mediante su extracción con una solución de acetato de amonio 1 M a pH 7. Calcio y Mg fueron determinados en el filtrado mediante espectrofotometría de absorción atómica, en tanto que K y Na se terminaron por espectrofotometría de emisión (Thomas, 1982). Las bases totales (BT) se calcularon mediante la suma de cada una de las bases de intercambio. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) a pH del suelo se calculó por la suma de las bases totales (BT) sumado a la acidez intercambiable (H + Al). El porcentaje de saturación en bases (SB%) a pH del suelo se calculó como las bases totales por cada cien unidades de CIC. La saturación en bases a pH 8.2 se estimó a partir de la saturación en bases a pH del suelo, con la ecuación de regresión ajustada por Durán y García (2007a)  $y = 9,9837^{e^{0,0172x}}$ .  
Siendo: "y" = saturación en bases a pH 8,2 y "x" = saturación en bases a pH del suelo.

3. Carta semidetallada de suelos

Cada perfil de suelo que tiene horizontes comparables, se dice que pertenece al mismo "suelo" (la misma serie de suelo). La unidad cartográfica de suelo (UCS) es el conjunto de individuos suelos (series) que se dan en un espacio común (USDA. NRCS, 1976).

A cada una de las (UCS) se le asignaron abreviaturas, que indican diferentes formas del paisaje y el material generador. Para facilitar el manejo de la información, cada una de ellas está definida por los perfiles de suelo clasificados de acuerdo a la Clasificación de Suelos del Uruguay de 1976.

4. Carta por capacidad de uso y propiedades inferidas de los perfiles de suelos

A partir de la carta básica de suelos, se realizó la clasificación por Capacidad de Uso del Departamento de Agricultura de los EEUU, desarrollada por Montgomery y Klingebiel (1961). Las clases fueron asignadas realizando una valoración cualitativa de propiedades inferidas de acuerdo a Kaplán et al. (1990).

5. Comparación de perfiles del predio con antecedentes disponibles de la unidad Tres Islas

Se llevó adelante la comparación de los datos de perfiles representativos del predio, con la información existente en el país relativa a suelos similares.

La información consultada fue la siguiente:

\* Información de Perfiles de suelo y sus variaciones de la Carta de Reconocimientos de Suelos del Uruguay (URUGUAY. MAP. DSF, 1979b).

\* Base de datos de perfiles descriptos correspondientes a la Unidad Tres Islas (URUGUAY. MGAP. DSA)<sup>2</sup>.

\* Base de datos de perfiles descriptos correspondientes a unidades afines como Aparicio Saravia y Manuel Oribe (URUGUAY. MGAP. DSA)<sup>2</sup>.

Los criterios utilizados para comparar los suelos fueron los siguientes: si el valor de la característica o propiedad considerada varía entre suelos en más o menos de 10 % en el horizonte "A" y en más o menos de 5 % en el "B" (por lo común este último al encontrarse más alejado de la superficie presenta valores relativamente más constantes o menos variables), se los considera como similares para la característica en cuestión.

---

<sup>2</sup>URUGUAY. MGAP. DSA. s.f. Perfiles de suelos (sin publicar)

## 6. Carta de aptitud para *Eucalyptus grandis*

A partir de la carta básica de suelos, y mediante consulta a técnicos forestales, junto a expertos en cartografía y evaluación de tierras, se pudo confeccionar la carta de aptitud del predio para *Eucalyptus grandis*.

Si bien no hay criterios específicos para determinar la aptitud forestal con *Eucalyptus grandis* en media, alta o baja, en esa zona. Se siguieron las pautas de la clasificación (semi-cuantitativa, sistema multiplicativo) del manual para la evaluación de tierras (Terzaghi et al., 1988) que sigue en líneas generales el esquema presentado por FAO (1976).

En dicho esquema se tuvieron en cuenta diversos aspectos.

- \* La aptitud forestal de los suelos del Uruguay (Sganga, 1983).
- \* Conocimientos de silvicultura, y de los requerimientos ecológicos que reporta Brussa (1994) de las especies forestales más plantadas en el país.
- \* Caracterización climática del lugar (URUGUAY. MDN. DNM, 2009).
- \* Otros factores físicos que intervienen en el proceso productivo, sin perjuicio de factores sociales, culturales técnicos y económicos, (vg. acceso a la saca de madera).

Las características de la tierra evaluadas según las pautas de Terzaghi et al. (1988) fueron la accesibilidad y ubicación del terreno, drenaje, riesgo de heladas, disponibilidad de agua y de oxígeno.

Luego de consulta con varios expertos forestales se determinó el siguiente tipo de utilización de la tierra.

Cultivo de *Eucalyptus grandis* en condiciones de secano, con un nivel de manejo medio, con moderado uso de fertilizantes, utilización de maquinarias para el laboreo de la tierra (rastra de discos, combate de malezas) y distanciamiento entre plantas en el entorno de los 3 x 3 m. En los bajos por ser más resistente a heladas se planta *E. dunnii*. El destino es para triturados (aglomerados) y aserrados en general, para el mercado interno y para exportación.

Hay que descartar el destino para pulpa de esos rodales por la lejanía a las plantas de celulosa con las que hoy cuenta el país. La más cercana (UPM) se encuentra en Fray Bentos a unos 400 KM de distancia aproximadamente. Según Andreoni (2010) a más de 250 KM de la planta un proyecto de plantación para pulpa en nuestro país es económicamente inviable hoy. Tampoco hay aserraderos de importancia cerca de esta zona, lo cual sumado a la inviabilidad pulpera, justificarían la aditividad de un proyecto

de venta de bonos de carbono enmarcado en el protocolo de Kyoto (existen experiencias en los alrededores).

Pese a esta última posibilidad, se optó por el primer tipo de utilización de la tierra por ser el predominante de la zona y por la hipótesis de instalación en los próximos años de un aserradero en Melo, ó una planta de celulosa en un radio de aproximadamente 300 KM.

Otra posible explicación de la existencia de plantaciones para aserrío o pulpa en ese paraje, es lo que en la planificación y gestión forestal llaman el manejo óptimo del conjunto de rodales de la empresa. Es decir, cuando se pasa a considerar la empresa (colección de rodales) se necesita optimizar el conjunto, aunque esto involucre trabajar con manejos sub-óptimos en los rodales individuales.

La diversidad de localizaciones tiene efecto sobre la distancia media de transporte la cual debe ser más o menos uniforme todos los años. Algo parecido ocurre con la accesibilidad de los sitios, debe haber buena distribución en los distintos años de cosecha Andreoni (2010).

En vistas de la discusión anterior, se concluye que en el tipo de utilización de la tierra influyen un conjunto intrincado de factores sociales, económicos, de mercado, distancias y estratégicos de las empresas. Además de la productividad del sitio.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### A. DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES DE LA CARTA DE SUELOS DEL PREDIO DON ROBERTO, CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS Y ANÁLISIS QUÍMICOS

La comprensión de la geomorfología de las distintas áreas resultó de fundamental importancia para desentrañar el padrón de los suelos de cada una de las unidades. A continuación se presenta la carta de suelos del predio Don Roberto (Figura 12).

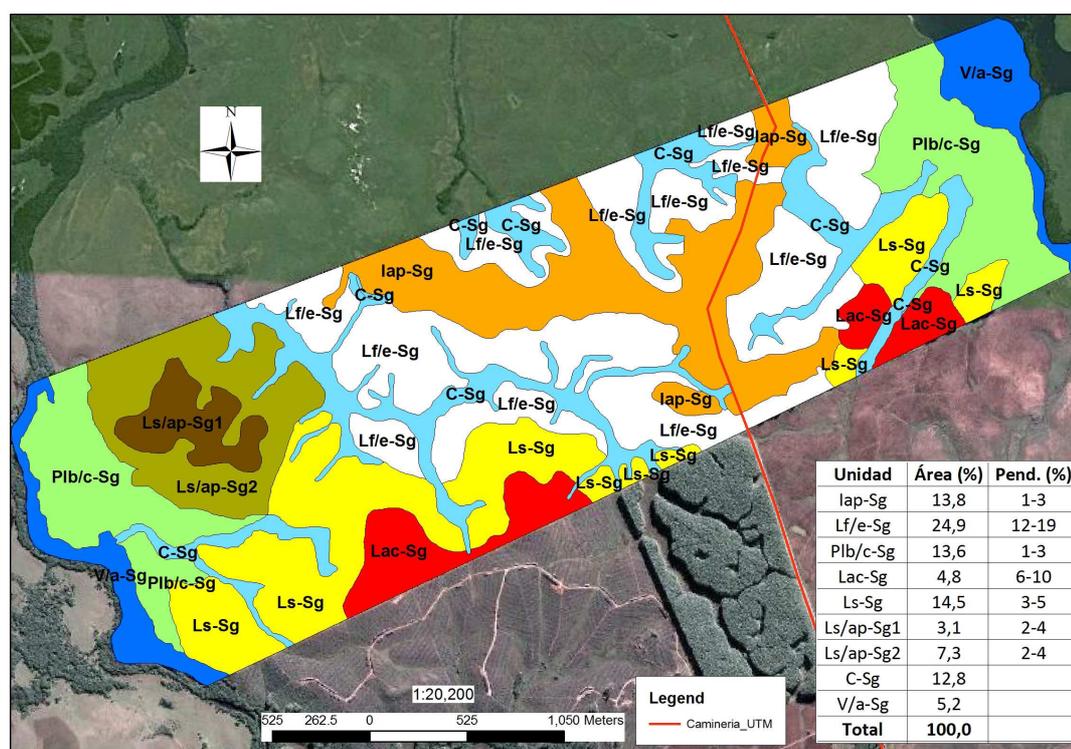


Figura 12. Carta de suelos del predio Don Roberto

\* **Geoformas:** Iap: Interfluvios ligeramente aplanados, Lf/e: Laderas fuertes y escarpas, Plb/c: Planicies bajas y concavidades, Lac: Laderas altas convexas, Ls: Laderas suaves, Ls/ap: Laderas suaves con partes altas aplanadas 1 y 2 respectivamente, C: Concavidades, V/a: Valles y aluviones.

\***Material madre:** -Sg: Formación San Gregorio.

Seguidamente se describen los distintos puntos de muestreo, en orden altimétrico decreciente para facilitar la comprensión y relación de las diferentes unidades con el paisaje.

#### 1. Unidad Interfluvios “ligeramente aplanados” de San Gregorio (Iap-Sg)

Las formas dominantes corresponden a partes altas ligeramente aplanadas de colinas fuertes sedimentarias de San Gregorio, con pendientes generales de 1 a 3 %. Se le otorgó ese nombre, por encontrarse en la cima de las colinas y presentar una forma aplanada que en general no supera el 3,5 % de pendiente (Figura 12).

En esta unidad predominan Acrisoles poco profundos (del entorno de los 50 a 80 cm.) y en menor medida Inceptisoles. La secuencia de horizontes de los Acrisoles es: A, BA, Bt, BC, y C. Frecuentemente presentan una línea de piedras de unos 5 - 15 cm. de espesor en la parte superior del Bt, que denota una discontinuidad litológica. Esta unidad comprende 133 Has. Lo que representa un 13.8 % de la superficie total del predio. Un ejemplo de este tipo de suelo lo constituye el perfil D1 que se describe seguidamente.

Cuadro 4. Caracteres asociados al perfil de suelo D1 de la unidad (Iap-Sg)

<b>Identificación de la descripción</b>	<u>D1</u>
<b>Coordenadas</b>	Latitud 32° 35' 31.2" S. Longitud 54° 57' 01.3" W
<b>Relieve general</b>	Colinas sedimentarias de San Gregorio (Carbonífero)
<b>Relieve local</b>	Alto plano
<b>Clase de pendiente</b>	B (1-3 %) pendiente suave.
<b>Drenaje externo</b>	Grado 2, suelos de lento escurrimiento.
<b>Erosión pasada</b>	1. Erosión ligera.
<b>Pedregosidad</b>	No se observaron piedras de más de 25 cm. de diámetro en o sobre el suelo.
<b>Rocosidad</b>	Grado 0.
<b>Inundaciones</b>	Clase 2 a 3.
<b>Clasificación del perfil **</b>	Desaturado lixiviado: Acrisol Ócrico Típico (Abrúptico), Ar.

\*\*Según clasificación de URUGUAY. MAP. DSF (1976).



Figura 13. Perfil de suelo de la Unidad (Iap-Sg) y relieve local

Cuadro 5. Descripción morfológica del perfil de suelo D1 de la unidad (Iap-Sg), y parámetros químicos asociados

Horizonte	A	BA	Bt	BC	C
<b>Profund.</b>	0-22	22-40	40-70	70-90	>90
<b>Transición</b>	gradual	gradual	clara	abrupta	
<b>Color (h)</b>	5YR3/4 rojo amarillento	2,5YR3/4 pardo rojizo oscuro	2,5YR3/3 pardo rojizo oscuro	2,5YR3/3 pardo rojizo oscuro	
<b>Color (s)</b>	5YR4,5/6 rojo amarillento	5YR3/4 rojo amarillento	5YR3/4 rojo amarillento		7,5YR3/3 (s) pardo oscuro
<b>Arena</b>	69,0	59,4	45,8		
<b>Limo</b>	19,4	19,1	21,5		
<b>Arcilla</b>	11,6	21,6	32,8		
<b>Clase textural</b>	FAr	FACAr	FACAr a FAC	FACAr a FAC	
<b>Estructura</b>			bloques angulares gruesos	se rompe en láminas lajosas	
<b>Concreciones</b>					Fe Mn, clastos 10YR5/7 (s)
<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	4,66	4,52	4,76		
<b>pH (KCl)</b>	3,83	3,85	3,95		
<b>M.O. (%)</b>	2,6	2,1	1,8		
<b>Ca(cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>	0,96	0,49	0,96		
<b>Mg(cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>	0,27	0,26	1,04		
<b>Na(cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>	0,33	0,36	0,4		
<b>K(cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>	0,08	0,08	0,29		
<b>Bases(cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup>)</b>	1,64	1,1	2,69		
<b>Al(cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>	4,68	2,98	3,07		
<b>CICe(cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup>)</b>	6,32	4,08	5,76		
<b>SBe(%)</b>	25,97	26,95	46,66		
<b>SB(%) (pH8,2)</b>	**16	16	22		

\*\*Estimado con la ecuación de regresión ajustada por Durán y García (2007a).

2. Unidad Laderas fuertes y escarpas de la formación San Gregorio (Lf/e-Sg)

Las formas dominantes corresponden a Lf/e-Sg, con un 9-16 % de pendiente. Muchas veces la unidad comienza en los límites de la unidad anterior.

En esta unidad (Figura 12) son muy frecuentes Inceptisoles generalmente guijosos en superficie. El horizonte A se desarrolla entre 20 a 30 cm. de espesor; seguido de un B cámbico bastante profundo. En menor proporción ocurren escarpas con presencia de Litosoles. La unidad (Lf/e-Sg) ocupa 239 Has, lo que representa un 24.9 % de la superficie total del predio. El perfil modal de esta unidad es D10.

Cuadro 6. Caracteres asociados al perfil de suelo D10 de la unidad (Lf/e-Sg)

<b>Ident. de la descripción</b>	<b>D10</b> Calicata
<b>Coordenadas</b>	Latitud 32° 35' 29.4" S. Longitud 54° 56' 36.4" W
<b>Relieve general</b>	Colinas sedimentarias de San Gregorio (Carbonífero)
<b>Relieve local</b>	Colinas
<b>Clase de pendiente</b>	E (13-16 %) escarpado.
<b>Drenaje externo</b>	Grado 5, suelos de escurrimiento muy rápido.
<b>Erosión pasada</b>	Clase 2. Erosión moderada.
<b>Pedregosidad</b>	Grado 2.
<b>Rociedad</b>	Grado 1.
<b>Inundaciones</b>	Clase 1.
<b>Clasificación**</b>	Poco desarrollado: Inceptisol Ócrico

\*\*Según clasificación de URUGUAY. MAP. DSF (1976).



Figura 14. Perfil de suelo de la Unidad (Lf/e-Sg) y relieve local

Cuadro 7. Descripción morfológica del perfil de suelo D10 de la unidad (Lf/e-Sg), y parámetros químicos asociados

Horizonte	1 A	2 Bw
Profundidad	0-25	>25
Transición	clara	
Color (h)	7,5YR3/4 pardo oscuro	
Color (s)	7,5YR3/3 pardo oscuro	7,5YR6/6 amarillo rojizo
Arena	46,2	30,5
Limo	28,7	35,9
Arcilla	25,1	33,6
Clase textural	Fgj	FAc
pH (H <sub>2</sub> O)	4,70	5,05
pH (KCl)	4,12	4,15
M.O. (%)	3,5	1,3
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,47	0,8
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,77	0,46
Na (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,36	0,33
K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,47	0,22
Bases (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,07	1,81
Al (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,23	1,83
CICe (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	4,3	3,64
SBe (%)	71,4	49,7
SB (%) (pH 8,2)***	34	23

\*\*\*Estimado con la ecuación de regresión ajustada por Duran y García (2007a).

3. Unidad Planicies bajas y concavidades pertenecientes a la formación San Gregorio (Plb/c-Sg)

Esta unidad (ver Figura 12) se desarrolla altimétricamente por debajo de la anterior. Está constituida principalmente por Gleysoles, ocupando 130 Has en el predio lo cual equivale al 13,6 % del total. El perfil modal de esta unidad es el Gleysol Lúvico Melánico Fr, pa. Identificación del perfil: H14-16 (URUGUAY. MGAP. DSA)<sup>2</sup> cuyos datos se presentan a continuación.

En esta unidad no se efectuaron descripciones ni muestreos porque sus suelos no poseen aptitud para usos con cultivos anuales que suponen la sustitución de vegetación natural. Por otra parte los suelos de planicies aluviales poseen gran variabilidad, ello supone efectuar un número significativo de estudios morfológicos y analíticos sin que por ello pueda cambiarse significativamente el destino de esas tierras.

Cuadro 8. Descripción morfológica del perfil de suelo modal de la unidad (Plb/c-Sg), y parámetros químicos asociados

Clasificación según URUGUAY. MAP. DSF (1976).					Gleysol Lúvico Melánico Fr, pa	
Horizonte	A1	A2	Bt1	Bt2	BC	Cgk
Profund.	0-17	17-30	30-47	47-65	65-80	80-92
Transición	g	g	g	g	c	
Color (h)	10YR3/2	10YR2/2	10YR2/1	10YR3/1	10YR4/1 y 2,5Y5/2	2,5Y6/2
Arena	47,2	47,4	44,1	36,8	41,2	40,6
Limo	32,3	30	28,2	23,1	26,6	29,3
Arcilla	20,5	22,6	27,7	40,1	34,2	30,1
Clase textural	F	F	F	Ac	FAC	FAC
Estructura	bs m d	bs g d	ba g m	ba G f	pr G m	pr m m
Concreciones			FeMn p 2 fr	FeMn c 3 fr	FeMn a 3 fr	FeMn a 3 fr y CaCO <sub>3</sub> p 4 si
Moteados	a 1 n d; 5YR4/6	a 1 n d; 5YR4/8	c 1 n c; 5YR4/6	c 1 n c; 10YR5/8		c 3 n c; 2,5Y5/4
Revestimientos			P 2 d	p 2 d	10YR3/1; P 1 d	10YR4/1; P 2 d
Consistencia	fr	fr	fi	mfi	fi	fi - fr
pH (H <sub>2</sub> O)	5,4	6	6,2	6,4	7	8
pH (KCl)	4,3	4,7	4,5	4,9	5,7	6,8
M.O. (%)	2,59	1,74	1,13	0,87	0,37	0,42
Ca(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	6,2	6,7	8,8	13,9	12,9	12,3
Mg(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	2,1	2	4,4	4	4,8	3,6
Na(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,2	0,2	0,4	0,8	0,6	0,9
K(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,1					
Bases(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	8,6	8,9	13,6	18,7	18,3	16,8
ACIDEZ7(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	4,9	3,9	2,6	3,1	1,5	0
CIC7(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	13,5	12,8	16,2	21,8	19,8	16,8
SB(°)(pH 7,0)	63,7	69,5	83,9	85,8	92,4	100
CACO <sub>3</sub> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )						0,7

#### 4. Unidad Laderas altas convexas de San Gregorio (Lac-Sg)

Las formas dominantes de esta unidad son laderas altas convexas en el entorno del 6-8 % de pendiente, perteneciente a formación San Gregorio. Generalmente alrededor de la cota 150 sobre el nivel del mar (Figura 12).

Aparecen Luvisoles Ócricos Típicos profundos, de color rojo, con la siguiente secuencia de horizontes A, AB, BA, Bt<sub>1</sub>, Bt<sub>2</sub>, BC. Se trata de unas 46 Has equivalentes al 4,8 % de la superficie total del predio. El perfil modal de esta unidad es el D12.

Cuadro 9. Caracteres asociados al perfil de suelo D12 de la unidad (Lac-Sg)

<b>Ident. de la descripción</b>	D12
<b>Coordenadas</b>	Lat. 32° 35' 36.3" S. Long. 54° 56' 23.5" W.
<b>Relieve general</b>	Colinas sedimentarias de San Gregorio
<b>Relieve local</b>	Ladera media
<b>Clase de pendiente</b>	D (6-12 %) pendiente fuerte a moderada.
<b>Drenaje externo</b>	Grado 4, suelos de escurrimiento rápido.
<b>Erosión pasada</b>	1. Erosión ligera.
<b>Pedregosidad</b>	No se observaron piedras de más de 25 cm. de diámetro en o sobre el suelo.
<b>Rocosidad</b>	Grado 0.
<b>Inundaciones</b>	Clase 1.
<b>Clasificación según URUGUAY. MAP. DSF (1976).</b>	Desaturado Lixiviado: Luvisol Ócrico Típico



Figura 15. Perfil de suelo de la Unidad (Lac-Sg) y relieve local

Cuadro 10. Descripción morfológica del perfil de suelo D12 de la unidad (Lac-Sg), y parámetros químicos asociados

Horizonte	A	AB	BA	Bt <sub>1</sub>	Bt <sub>2</sub>	BC
Profund.	0-47	47-65	65-77	77-110	110-140	140+
Transición	g	g	g	g	g	
Color (h)	2,5 YR 3,5/6 rojo a rojooscuro.	2,5 YR 3/6 rojo oscuro.	2,5 YR 3/6 rojo oscuro.	2,5 YR 3/6 rojo oscuro.	2,5 YR 3/6 rojo oscuro.	
Color (s)					2,5YR2.5/3	
Arena	56,7	53,7	47,4	44,8	45,0	43,7
Limo	26,9	18,8	18,7	18,9	20,0	21,9
Arcilla	16,4	27,4	33,9	36,3	35,0	34,4
Clase textural	FAR a FAcAr	FAcAr	FAcAr a AcAr	FAc a AcAr	FAcAr a AcAr	FAc a AcAr
Estructura	bloques subangular es débiles finos	bloques angulares débiles a medios	moderada, bloques angulares medianos.	bloques angulares moderados.	bloques angulares moderados.	
Revestimientos			películas de Ac	películas de Ac "p" algo más oscuras.	películas de Ac de hasta 0.5cm	
Concreciones				Fe Mn pequeñas < 2 mm friables, pocas.	Fe y Mn pocas.	
pH (H <sub>2</sub> O)	5,1	5,2	5,3	5,6	5,6	5,7
pH (KCl)	4,1	4,1	4,2	4,4	4,5	4,6
M.O. (%)	2,2	1,7	1,3	0,8	0,9	0,9
Ca(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,6	2,6	3,5	3,3	3,0	3,1
Mg(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,7	1,0	1,5	2,0	2,1	2,4
Na(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4
K(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Bases(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,2	4,3	5,6	6,0	5,8	6,1
Al(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,6	0,4	0,3	-	-	-
CICe(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,8	4,7	5,9	6,0	5,8	6,1
SBe (%)	84	91,4	94,9	100	100	100
SB(%)pH8,2	***42,4	48,1	51,1	55,8	55,8	55,8

\*\*\*Estimado con la ecuación de regresión ajustada por Durán y García (2007a).

5. Unidad Laderas suaves de la formación San Gregorio (Ls-Sg)

Las formas dominantes de la unidad son Ls-Sg., con pendientes del orden del 3 al 5 %. Muchas veces altiméricamente por debajo de la unidad anterior (Figura 12).

La unidad está compuesta por Luvisoles Melánicos Típicos con la siguiente secuencia de horizontes A, AB, Bt, BC, y C. El BC a veces con algunas gravas y cantos rodados. También aparecen Acrisoles Ócricos Típicos. Los perfiles modales de esta unidad son D11 y D9. Pero dicha unidad presenta variaciones, como la variante del anexo No. 4. Otra variante la constituye el perfil D6. La unidad ocupa 139 Has equivalentes al 14.5 % de la superficie total del predio.

Cuadro 11. Caracteres asociados al perfil de suelo D11 de la unidad (Ls-Sg)

<b>Ident. de la descripción</b>	D11 Calicata
<b>Coordenadas</b>	Latitud 32° 35' 21.4" S. Longitud 54° 56' 03.5" W.
<b>Relieve general</b>	Colinas sedimentarias de San Gregorio (Carbonífero)
<b>Relieve local</b>	Lomadas bajas
<b>Clase de pendiente</b>	C (3–6%) pendiente moderada.
<b>Drenaje externo</b>	Grado 3, suelos de escurrimiento medio.
<b>Erosión pasada</b>	1. Erosión ligera.
<b>Pedregosidad</b>	Sin piedras de más de 25 cm. en o sobre el suelo.
<b>Rocosisidad</b>	Grado 0.
<b>Inundaciones</b>	Clase 2.
<b>Clasificación según URUGUAY. MAP. DSF (1976).</b>	Desaturado Lixiviado: Luvisol Melánico Típico

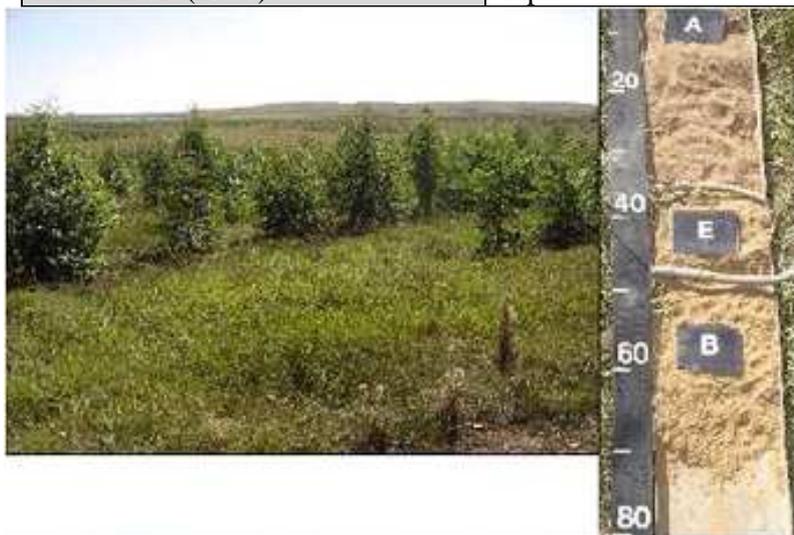


Figura 16. Perfil de suelo de la Unidad (Ls-Sg) y relieve local

Cuadro 12. Descripción morfológica del perfil de suelo D11 de la unidad (Ls-Sg), y parámetros químicos asociados

Horizonte	A	AB	Bt <sub>1</sub>	Bt <sub>2</sub>	BC
Profund.	0-27	27-48	48-57	57-90	90-100
Transición	g	g	g	g	
Color (h)	10YR 5/5 pardo amarillento	10 YR 5/2 pardo grisáceo	10YR 5/3 (h) pardo	10YR 5/4 pardo amarillento	2,5 YR 7/3, 2 pardo rojizo claro
Color (s)	10YR 7/2 gris claro				
Arena	65,1	62,8	57,6	53,0	34,9
Limo	20,4	18,3	17,2	11,8	22,5
Arcilla	14,5	18,9	25,2	35,2	42,6
Clase textural	FAR	FAR a FAcAr. Friable	FAcAr. friable	AcAr a FAcAr	Ac a FAc
Estructura	bs, 2, d o muy friable.	bs, d.	bs, m	bs, d.	bs, d
Moteados	7,5 YR 5/8 (h), c, 3 n, d. g (o)	10YR 3/3,5 (h) c, 4, n, d.	ab 4-5, n, d	ab 5, d; 5YR5/8.	s, d, 5YR 5/5 (h) p-c p t d
Concreciones		Fe Mn pocas.	Fe Mn 2-5 mm.	Fe Mn 2-5 mm.	Fe y Mn p-c l-s.
pH (H <sub>2</sub> O)	5,3	5,1	5,0	5,5	5,5
pH (KCl)	4,1	4,1	4,1	4,3	4,4
M.O. (%)	2,9	1,5	1,3	0,9	1,2
Ca(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,0	3,0	2,9	3,8	5,6
Mg(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,07	1,14	1,45	2,27	4,0
Na(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,67	0,46	0,52	0,58	0,93
K(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,15	0,13	0,15	0,2	0,31
Bases(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	4,9	4,7	5,0	6,9	10,8
Al(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,7	0,6	0,7	-	-
CICe(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	5,6	5,3	5,7	6,9	10,8
SBe(%)	87,5	88,7	87,8	100	100
SB(%) pH 8,2**	45	45,9	45,2	55,8	55,8

\*\*Estimado con la ecuación de regresión ajustada por Durán y García (2007a).

Cuadro 13. Caracteres asociados al perfil de suelo D9 de la unidad (Ls-Sg)

<b>Ident. de la descripción</b>	D9
<b>Coordenadas</b>	Latitud 32° 35' 56.0" S. Longitud 54° 57' 15.6" W
<b>Relieve general</b>	Colinas sedimentarias de San Gregorio (Carbonífero)
<b>Relieve local</b>	Lomada baja
<b>Pendiente</b>	3-4 %
<b>Clase de pendiente</b>	B (1-3%) pendiente suave.
<b>Drenaje externo</b>	Grado 3, suelos de escurrimiento medio.
<b>Erosión pasada</b>	1. Erosión ligera.
<b>Pedregosidad</b>	No se observaron piedras de más de 25 cm. de diámetro en o sobre el suelo.
<b>Rocosidad</b>	Grado 0.
<b>Inundaciones</b>	Clase 2.
<b>Clasificación según URUGUAY. MAP. DSF (1976).</b>	Desaturado Lixiviado: Acrisol Ocrico Típico

Cuadro 14. Descripción morfológica del perfil de suelo D9 de la unidad (Ls-Sg), y parámetros químicos asociados

Horizonte	Ap	AB	Bt	BC
Profund.	0-25	25-40	40-70	>70
Transición	gradual	clara	gradual	
Color (h)	10YR3/6 pardo amarillento oscuro	10YR3/6 pardo amarillento oscuro	10YR3,5/6 pardo amarillento oscuro	10YR3/6 pardo amarillento oscuro
Color (s)	10YR4.5/4 pardo amarillento a pardo amarillento oscuro	10YR4/4 pardo amarillento oscuro		
Clase textural	F a FAr	F	FACAr	AcAr
Moteados			pocos grandes borde claro contraste neto (h)2.5YR3,5/6	Ídem a Bt 2,5YR6/8
pH (H <sub>2</sub> O)	5,16	5,01	4,94	5,01
pH (KCl)	4,21	4,10	3,94	4,21
M.O. (%)	2,1	1,4	1,2	0,6
Ca(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,65	0,45	0,75	0,74
Mg(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,67	0,64	1,02	0,36
Na(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,39	0,35	0,38	0,33
K(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,3	0,18	0,18	0,09
Bases(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	2,01	1,62	2,33	1,52
Al(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,91	1,97	4,18	1,78
CICe(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	4,93	5,21	8,84	4,82
SBe (%)	68,8	35,8	15	46
SB(%) (pH 8,2)***	33	22	18	22

\*\*\*Estimado con la ecuación de regresión ajustada por Durán y García (2007a).

6. Unidad Laderas suaves con partes altas aplanadas de San Gregorio 1 (Ls/ap-Sg1)

Como su nombre lo dice se trata de Ls/ap y pendientes de entre 2-4 %. Formación San Gregorio con posibles recubrimientos de sedimentos de texturas finas de escasa potencia que darían lugar a los Brunosoles con Vertisoles asociados en menor proporción encontrados allí (Figura 12). Esta unidad ocupa 30 Has lo que equivale al 3,1 % de la superficie total del predio. Según la colección de perfiles de (URUGUAY. MGAP. DSA)<sup>2</sup> el perfil modal de esta unidad es el identificado como H 18-12 el cual se describe a continuación<sup>3</sup>.

La presencia de los Vertisoles se puede explicar por la existencia de algún material parental arcilloso en el lugar. Dicho material pueden ser las tillitas arcillosas que mencionan Bossi y Navarro (1991) en la base de la formación San Gregorio ó recubrimientos de algún material cuaternario arcilloso (lodolitas)<sup>1</sup>.

Los Vertisoles en el predio se encontraron sólo de forma accesoria en cuanto a su extensión, constituyendo apenas un 2,4 % de la superficie total del predio.

Cuadro 15. Caracteres asociados al perfil de suelo H 18 12 de la unidad (Ls/ap-Sg1)

<b>Ident. de la descripción</b>	H 18 12
<b>Relieve general</b>	Colinas sedimentarias de San Gregorio (Carbonífero)
<b>Clasificación</b> según URUGUAY. MAP. DSF (1976).	Suelos Melánicos: Brunosol Dístrico Lúvico ArFr, r

<sup>3</sup>Califra, A. 2010. Com. personal.

Cuadro 16. Descripción morfológica del perfil de suelo H 18 12 de la unidad (Ls/ap-Sg1), y parámetros químicos asociados

Horizonte	A	(B)	Bt1(línea de piedras)	Bt2	C
Profund.	0 - 32	32 - 51	51 - 69	69 - 90	90 - 120
Transición	g	a o	c o	a	
Color (h)	5YR3/4	5YR3/3	5YR3/3	2,5YR2/4	10R4/6
Arena	62,4	56,3	55,8	58,6	68,2
Limo	23,6	20,1	19,8	9,1	6,8
Arcilla	14	23,6	24,4	32,3	25
Clase textural	FAr	FACAr	FACAr	FACAr	FACAr
Estructura	bs 3 d	ba 4 d			
Moteados			2,5YR4/8; a 2 n c	10R3/6; a 3 t d	5YR5/8; p 3 n
Revestimientos		P 3 d	P 2 g y R	P 2 m y R	R
Consistencia	fr	fr - fi	fr - fi	fr	fr
Concreciones			FeMn c	FeMn c	FeMn c
Raíces	a	a	c	p	
pH (H <sub>2</sub> O)	5,4	5,3	5,5	5,5	5,7
pH (KCl)	4,3	4,15	4,5	4,5	4,6
M.O. (%)	2,1	1,6	1,5	1,2	0,4
Ca(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,9	2,7	3,9	4,6	2,4
Mg(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,1	1,2	1,7	2,2	1,7
Na(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
K(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3
Bases(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,7	4,6	6,3	7,5	4,6
Al(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,4	0,5	-	-	-
CIC7(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	6,5	7,7	9,9	11,3	6,5
SB(%) (PH 7,0)	56,9	59,7	63,6	66,4	70,8
SB (%) (pH 8,2)	32,2	35,9	38,4	45,5	46,9

7. Unidad Laderas, a veces ligeramente aplanadas de San Gregorio 2 (Ls/ap-Sg2)

La siguiente unidad consta de laderas, a veces ligeramente aplanadas de San Gregorio (Ls/ap-Sg2.), altiméricamente un poco inferiores a la unidad anterior, y pendientes entre 2-4 % (Figura 12). Compuesta principalmente por Argisoles, ocupa 70 Has en el predio lo que equivale al 7.3 % del total de la superficie. El perfil modal de esta unidad es el Argisol G 18 07 que se indica a continuación, otro perfil que puede representar esta unidad es el Brunosol Éútrico Dístrico H 18 12, (descrito para la unidad anterior). Ambos perfiles pertenecen a la colección de perfiles de (URUGUAY. MGAP. DSA)<sup>2</sup>.

Cuadro 17. Caracteres asociados al perfil de suelo G18 07 de la unidad (Ls/ap-Sg2)

<b>Ident. de la descripción</b>	G18 07
<b>Relieve general</b>	Colinas sedimentarias de San Gregorio (Carbonífero)
<b>Clasificación</b> según URUGUAY. MAP. DSF (1976).	Argisol Subéútrico Melánico Abrúptico Fr

Cuadro 18. Descripción morfológica del perfil de suelo G 18 07 de la unidad (Ls/ap-Sg2), y parámetros químicos asociados

Horizonte	A1	A2	Bt1	Bt2	Ck: lodolitas /silt. Arenosos amarillos
Profund. (cm.)	0 - 16	16 - 38	38 - 63	63 - 87	87 - 95
Transición	g	a	c	c	
Color (h)	10YR3/3, 5	10YR3/4	10YR3,5/4	10YR3/2	10YR5/4
Arena	49,0	48,4	31,5	30,5	29,2
Limo	29,4	31,0	24,0	23,0	29,1
Arcilla	21,6	20,6	44,5	46,5	41,7
Clase textural	F(Guic)	F	Ac(Gvc)	Ac(Gva)	Ac(Gvc)
Estructura	bs m d	ba m d	ba g f	ba g f	
Moteados			7,5YR5/6; a l n d		
Revestimientos			10YR3/2; P l g	P y D l g	P 2 m
Consistencia	fr	fr	fi	efi	mfi
Concreciones				FeMn c 2 fr	CaCO <sub>3</sub> a 3 si y polvoriento
Raíces	a	a	c	p	
pH (H <sub>2</sub> O)	5,6	5,6	6,3	7,6	8,3
pH (KCl)	4,7	4,2	4,4	5,9	7,0
M.O. (%)	2,4	1,8	1,5	0,9	0,3
Ca(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	5,6	4,7	14,8	20,3	16,1
Mg(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,6	1,6	5,0	6,8	6,1
Na(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,2	0,4	1,1	1,6	0,6
K(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3
Bases(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	7,7	7	21,3	29,1	24,2
Acidez <sup>7</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,2	3	4,4	0	0
CIC <sup>7</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	10,9	10	25,7	29,1	24,2
SB(%) (PH7,0)	71	70	83	100	100
SB(%) (pH8,2)	44,8	44	62,1	77,6	100

8. Unidad Concavidades de San Gregorio (C-Sg)

Son concavidades en las que se instalan vías de drenaje con agua temporaria (Figura 12). La unidad ocupa 123 Has equivalentes al 12.8 % de la superficie total del predio.

No se consideró necesario realizar un estudio de sus suelos, ya que: a) no tienen una extensión de importancia significativa, b) comúnmente presentan suelos muy heterogéneos, de baja utilidad con un costo asociado elevado y c) a priori se entiende que es necesario conservarlas con vegetación natural para que los excesos de agua fluyan por ellas y se disipe el potencial erosivo de su energía cinética.

9. Unidad Valles y aluviones sedimentarios “con sedimentos de la formación San Gregorio” (V/a-Sg)

Son V/a-Sg con vegetación de monte de galería y pajonal. Dicha unidad se encuentra en las zonas más bajas del paisaje, compuesta por Gleysoles y Fluvisoles, ocupando unas 50 Has o sea el 5.2 % de la superficie total del predio (Figura 12).

Se consideró que no era necesario realizar un estudio de los suelos de esta UCS, por las mismas razones alegadas para la unidad anterior.

**B. PROPIEDADES INFERIDAS Y PROPIEDADES COMPLEJAS DE LAS DISTINTAS UNIDADES DE LA CARTA DE SUELOS DEL PREDIO DON ROBERTO**

De forma resumida a continuación se muestran las propiedades inferidas y las complejas de cada unidad cartográfica de suelo.

1. Propiedades inferidas

a. Aireación

La macro porosidad le da al suelo, por lo general, una buena aireación, una rápida infiltración así como una baja capacidad de retención de agua. La disposición o agregación general de las fracciones iniciales del suelo, influyen de manera considerable la aireación, circulación del agua, densidad aparente y porosidad (Prichett, 1986). Teniendo en cuenta estas características y siguiendo las pautas de Kaplán et al. (1990) en el cuadro 21 se procedió a clasificar la aireación del suelo en las distintas UCS.

Cuadro 19. Aireación en las distintas UCS

<b>UCS</b>	<b>Aireación</b>
Iap-Sg	Satisfactoria
Lf/e-Sg	Satisfactoria
Lac-Sg	Satisfactoria
Ls-Sg	Satisfactoria
Ls/ap-Sg1	Satisfactoria
Ls/ap-Sg2	Satisfactoria
Plb/c-Sg	Moderada a pobre

Fuente: elaboración propia, según pautas de Kaplán et al. (1990).

En términos generales la aireación es satisfactoria en todas las UCS, excepto en Plb/c, C y V/a de San Gregorio.

En general y sobre todo en los primeros 30-60 centímetros, la textura de las UCS y la estructura determinan una considerable proporción de macro poros (15-20 %), hecho que determina una aireación aceptable manifestada en los colores (rojizos y pardos amarillentos) y en la ausencia de moteados. La zona mejor aireada de estos suelos llega hasta los 30-65 cm, luego comienza a incrementarse el contenido de arcilla con la consiguiente disminución de macro porosidad y en la mayoría de los casos presencia de moteados. Lo cual es un síntoma claro de condiciones de reducción temporaria. Esto se acentúa más en suelos que ocupan las laderas bajas en el paisaje.

La unidad Lac-Sg es la que presenta mejor aireación con una importante proporción de macro poros en los primeros 65 cm de suelo. En contraposición a este escenario está la unidad Plb/c-Sg donde a más de 30 cm de profundidad se reportan concreciones de hierro y manganeso (síntomas de gleización), que evidencian una baja aireación, sobre todo cuando el suelo permanece saturado en gran parte del período invernal.

b. Capacidad de retener agua en forma disponible

A continuación se muestra el APDN de cada unidad cartográfica de suelo. En los anexos de este trabajo se reportan datos de APDN, porosidad y densidad aparente para los horizontes de los distintos perfiles de suelo muestreados.

Cuadro 20. Agua potencialmente disponible para las plantas (promedio por cada diez centímetros y total) en las distintas UCS

UNIDAD	APDN (mm 10cm <sup>-1</sup> )	APDN (mm)	Clase APDN (Molfino, 2009)
Iap-Sg	15.0	74.8	Moderadamente Alta (71 a 120 mm)
Lf/e-Sg	14.8	74.0	Moderadamente Alta (71 a 120 mm)
Lac-Sg	14.12	233.0	Muy alta (Mayor a 161 mm)
Ls-Sg	14.2	141.6	Alta (121 a 160 mm)
Ls/ap-Sg1	13.9	167.0	Muy alta (Mayor a 161 mm)
Ls/ap-Sg2	11.6	110.0	Moderadamente Alta (71 a 120 mm)
Plb/c-Sg	13.9	128.0	Alta (121 a 160 mm)

En las UCS Iap-Sg, Lf/e-Sg y Lac-Sg se observaron líneas de piedra, por tal motivo se corrigió el APDN por el porcentaje de elementos gruesos según se explicó en la metodología.

En términos generales las UCS del predio retienen entre 11,6 y 15 mm de APDN por cada 10 cm de suelo. Dependiendo del espesor de los perfiles, poseen una cantidad de APDN total que va de moderada a alta y muy alta según la clasificación de Molfino (2009).

Las UCS Iap-Sg, Lf/e-Sg, Lac-Sg y Ls-Sg poseen suelos con cantidades importantes de arena, por lo tanto predominan poros gruesos, y una baja capacidad de campo por unidad de volumen. Las principales diferencias en el APDN entre ellas están dadas por el espesor de los perfiles modales, siendo Iap-Sg la unidad con suelos menos profundos y por ende con menor retención de APDN total.

Se encontró que el APDN de las UCS Iap-Sg, Ls/ap2-Sg fue coincidente con la clasificación que hace Molfino (2009) para los Grupos CONEAT a los cuales pertenecen dichas UCS. En otros casos el APDN de las UCS no coincide con el APDN de sus Grupos CONEAT como es el caso de las UCS Lf/e-Sg, Pl/b-Sg, Lac-Sg, Ls-Sg y Ls/ap1-Sg. Las diferencias pueden deberse principalmente a que se está comparando el agua potencial disponible neta de un perfil (suelo) con la del Grupo CONEAT (asociación de suelos) al que pertenece el perfil. Otra explicación para dichas diferencias puede deberse al diferente espesor de los perfiles considerados en ambos trabajos.

### c. Permeabilidad

A continuación se presenta la permeabilidad de las UCS según la clasificación propuesta por Kaplán et al. (1990).

Cuadro 21. Permeabilidad de las UCS

<b>UNIDAD</b>	<b>Permeabilidad</b>
Iap-Sg	Moderada
Lf/e-Sg	Moderada
Lac-Sg	Moderada
Ls-Sg	Moderada
Ls/ap-Sg1	Moderada
Ls/ap-Sg2	Moderadamente lenta
Plb/c-Sg	Moderadamente lenta

Las unidades Iap-Sg, Lf/e-Sg, Lac-Sg, Ls-Sg, Ls/ap-Sg1 exhiben texturas medias (Franco y Franco Arcillosas) y estructura de bloques, por lo cual pertenecen a la clase moderada según la clasificación de permeabilidad natural propuesta por Kaplán et al. (1990).

En las unidades Ls/ap-Sg2 y Pl/b-Sg el horizonte Bt presenta textura Ac y el grado de diferenciación textural obtenido a través de la relación entre el contenido de arcilla del horizonte Bt respecto al del Horizonte A es de 2,1 y 1,8 para cada unidad respectivamente. Por este motivo se infiere que la clase de permeabilidad es moderadamente lenta para ambas. Además la unidad Plb/c-Sg tiene estructura de bloques.

d. Velocidad de infiltración

El siguiente cuadro muestra la velocidad de infiltración de cada UCS según la clasificación de Kaplán et al. (1990).

Cuadro 22. Velocidad de infiltración de las distintas UCS

<b>UNIDAD</b>	<b>Velocidad de infiltración</b>
Iap-Sg	Alta
Lf/e-Sg	Media a alta
Lac-Sg	Alta a media
Ls-Sg	Alta
Ls/ap-Sg1	Alta a media
Ls/ap-Sg2	Alta a media
Plb/c-Sg	Media

En las unidades Iap-Sg y Ls-Sg su textura media y las características estructurales determinan una alta velocidad de infiltración.

Las unidades Ls/ap-Sg2, Ls/ap-Sg1 y Lac-Sg tienen textura media y estructura débil a nivel superficial. En el caso de Lac-Sg el suelo además tiene un gran espacio poroso, por tanto es necesario que llueva mucho para que se complete la porosidad del mismo.

En todos los casos luego de saturados los primeros horizontes la infiltración dependerá de la permeabilidad del horizonte Bt y se verá sensiblemente reducida por el aumento de la fracción fina.

e. Desarrollo radicular

Seguidamente se ponen a la vista los datos de desarrollo radicular de las UCS según la pauta de Kaplán et al. (1990).

Cuadro 23. Profundidades efectiva y de arraigamiento de las UCS

UNIDAD	Desarrollo radicular	
	Profundidad efectiva	Profundidad de arraigamiento
Iap-Sg	Moderadamente profunda	Profunda
Lf/e-Sg	Profunda	Profunda
Lac-Sg	Profunda	Profunda
Ls-Sg	Moderadamente Profunda	Profunda
Ls/ap-Sg1	Profunda	Profunda
Ls/ap-Sg2	Moderadamente Profunda	Profunda
Plb/c-Sg	Moderadamente Profunda	Profunda

En todas las UCS la profundidad de arraigamiento califica como de arraigamiento profundo (más de 30 cm).

En las unidades Iap-Sg, Lf/e-Sg y Lac-Sg existe una línea de piedras (casi siempre en la parte superior del horizonte B) que dificulta el normal desarrollo radicular de plantas en general. En el caso de cultivos forestales el efecto sería menor por la gran presión que pueden llegar a ejercer las raíces (Prichett, 1986).

Con respecto a la profundidad efectiva no parecen haber inconvenientes para el cultivo forestal, excepto en algunas zonas con afloramientos rocosos que aparecen de forma accesoria en la unidad Lf/e-Sg.

Si bien esta pauta no fue elaborada para árboles, diversos (expertos en el rubro forestal)<sup>4</sup> así como Prichett (1986) señalan que: Para lograr un desarrollo satisfactorio en plantaciones forestales con *Eucalyptus*, por lo menos se necesitan 50 cm de suelo seguidos de un manto de alteración. Este requerimiento mínimo se encontró en todas las unidades de suelo del predio, excepto en zonas accesorias donde afloran escarpas rocosas dentro de la unidad (Lf/e).

<sup>4</sup> Herbert, M. 2011. Com. personal (consultor internacional de la empresa Fractal Forest experto en suelos e índices de sitio forestal).

2. Propiedades complejas

Cuadro 24. Propiedades complejas y clase por capacidad de uso de las UCS

<b>UNIDAD</b>	<b>Riesgo de sequía</b>	<b>Riesgo de erosión</b>	<b>Fertilidad Natural</b>	<b>Drenaje natural</b>
<b>Iap-Sg</b>	Medio a bajo	Medio	Baja	Moderadamente bien drenado
<b>Lf/e-Sg</b>	Alto	Alto	Baja	Bien drenado a excesivamente drenado
<b>Lac-Sg</b>	Bajo	Alto	Baja	Bien drenado a moderadamente bien drenado
<b>Ls-Sg</b>	Bajo	Medio	Baja	Bien drenado a moderadamente bien drenado
<b>Ls/ap-Sg1</b>	Bajo	Medio a alto	Alta	Moderadamente bien drenado
<b>Ls/ap-Sg2</b>	Bajo	Bajo a medio	Media	Moderadamente bien drenado
<b>Plb/c-Sg</b>	Bajo	Bajo a medio	Media	Imperfecto a pobremente drenado
<b>V/a-Sg</b>	Bajo	Bajo	Media	Pobremente drenado

a. Riesgo de sequía

En general el riesgo de sequía es bajo en casi todas las UCS, por tener profundidad de arraigamiento profunda y una APDN generalmente alta. Esto último se explica por las texturas en el entorno de (FACAr). Es importante mencionar que texturas arenosas (franco arenoso) retienen casi toda el agua disponible a succiones bajas. La posibilidad de captar agua en relación a la velocidad de infiltración y la imposibilidad de perderla porque no hay problemas de agrietamiento son elementos que contribuyen a disminuir el riesgo de sequía.

La unidad Lf/e-Sg, es la única que tiene un alto riesgo de sequía, principalmente por la elevada pendiente que determina un alto porcentaje de escurrimiento superficial y por tanto baja infiltración.

b. Riesgo de erosión

Las unidades Lac-Sg y Lf/e-Sg tienen riesgo de erosión alto. Pese a que la velocidad de infiltración es media a alta, las grandes pendientes aumentan el escurrimiento superficial y con ello el riesgo de erosión. Además en ambos casos la estructura del horizonte A es débil (bloques angulares débiles).

En el resto de las UCS las pendientes son menores y en general la velocidad de infiltración alta (explicada por una clase textural Franca o Franco arenoso) disminuyendo el escurrimiento superficial y con ello el riesgo de erosión. Por el contrario, la estructura generalmente débil (bloques angulares o subangulares débiles) aumenta el riesgo de erosión del suelo. Cuando el perfil de suelo se satura de agua, la infiltración se ve limitada por la permeabilidad del horizonte Bt. En estas circunstancias se da el natural desprendimiento de las partículas de suelo producto de la acción de la lluvia.

c. Fertilidad natural

Teniendo en cuenta la capacidad de retener cationes del suelo evaluada a través de la CIC a pH 7, se considera que la fertilidad natural de la mayoría de las UCS y de los suelos que representan es baja, calificando como suelos Subéutricos  $10-20 \text{ cmol}_{(c)} \text{ kg}^{-1}$  o Dístricos  $<10 \text{ cmol}_{(c)} \text{ kg}^{-1}$ . Estos datos confirman las estimaciones cualitativas realizadas en el campo. En la mayoría de los casos la ausencia de tonalidades oscuras, lo cual es un indicador de bajos contenidos de materia orgánica, así como el bajo porcentaje de arcilla (clase textural Franco arenosa, en el horizonte A), hacían suponer una baja fertilidad natural. Además en las unidades (Iap-Sg, Lac-Sg, Ls-Sg) hay aluminio ocupando parte de las posiciones de intercambio catiónico con la importancia negativa que esto tiene desde el punto de vista de la fertilidad.

Por otro lado se encuentran en el predio unidades con fertilidad natural media y alta, (Ls/ap-Sg1 y Ls/ap-Sg2), con suelos formados a partir de sedimentos arcillosos, y (Plb/c-Sg y V/a-Sg), estas últimas en las partes bajas del paisaje, recibiendo aportes de suelo rico en materia orgánica de zonas más altas.

d. Drenaje natural

Los problemas de drenaje natural aparecen en las unidades Plb/c-Sg y V/a-Sg, donde el escurrimiento superficial es limitado por la escasa pendiente, mientras que la percolación a través del suelo se ve dificultada por la presencia de un horizonte Bt. En estas unidades además existen síntomas de gleización, como lo es la presencia de moteados en casi todo el perfil.

En términos generales el resto de las UCS no presentan dificultades para el cultivo forestal en cuanto a su drenaje natural, debido principalmente a que se asocian a un paisaje de lomadas y colinas, mostrando un buen drenaje externo o escurrimiento superficial y aireación aceptable. Estas unidades tampoco presentan síntomas de hidromorfismo en los primeros 50 cm de suelo, que según Prichett (1986) es un requisito necesario para el desarrollo del cultivo forestal. Por otra parte, la percolación a través del suelo se ve ligeramente enlentecida por el horizonte B.

## C. COMPARACIÓN DE LAS UNIDADES DE LA CARTA DE SUELOS DEL PREDIO CON LOS ANTECEDENTES EXISTENTES EN EL PAÍS

Al comienzo de este capítulo se compararán en forma general las unidades cartográficas de suelo resultantes, respecto a unidades preexistentes. Luego se harán comparaciones de diferentes parámetros químicos de las mismas, para finalmente hacer una comparación particular de cada unidad con los antecedentes que se indican en la metodología de este trabajo.

### 1. Introducción

Los suelos encontrados en el predio corresponden a los reportados para la unidad Tres Islas (URUGUAY. MAP. DSF, 1976). Lo que no concuerda con este antecedente es la proporción en la que aparecen los mismos. Dicho antecedente clasifica a los suelos como dominantes si ocupa más de un 50 %, si ocupa entre un 10 y 49 % es asociado y si ocupa menos de un 10 % de la unidad es accesorio.

Utilizando ese criterio en el predio Don Roberto no hay suelos dominantes, como suelos asociados tenemos Acrisoles, Luvisoles, e Inceptisoles, mientras que accesorios son Argisoles, Brunosoles y suelos aluviales. Las diferencias con la Unidad Tres Islas descrita en la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay responden a la escala mucho más detallada de este trabajo, y fundamentalmente porque el predio tiene un área muy pequeña para lo que abarca la unidad Tres Islas en nuestro país.

La composición de los Grupos CONEAT no es exactamente igual a la de las unidades de la cartografía realizada en esta tesis, por un tema lógico de escala. Con respecto a los Grupos CONEAT se encontraron los siguientes resultados:

Dentro del Grupo CONEAT 8.3 se encuentran la unidad (Iap-Sg) con Acrisoles poco profundos y la unidad (Lf/e-Sg), con Inceptisoles, predominando esta última. Los suelos de (Lf/e-Sg) se condicen con los reportados para el Grupo CONEAT 8.3 donde dominan Inceptisoles.

Dentro del Grupo CONEAT 8.12 que reporta Luvisoles, se encuentran las unidades (Iap-Sg) con Acrisoles poco profundos, la unidad (Lac-Sg) con Luvisoles rojo intenso, profundos, y la unidad (Ls-Sg) con Luvisoles y Acrisoles pardos y pardo amarillentos.

En el Grupo CONEAT G10.6 b se encuentran las unidades (Ls/ap-Sg1) y (Ls/ap-Sg2) mapeadas en el predio, lo cual está de acuerdo con el antecedente CONEAT que reporta Argisoles con algunos Vertisoles de forma accesoria.

El CONEAT, reporta Gleysoles y Fluvisoles en el Grupo G03.11. Allí aparecen parte de la unidad (Plb/c-Sg) con Gleysoles y la unidad (V/a-Sg), esta última unidad también concuerda con el CONEAT en cuanto a tipos de suelo con mayor presencia de Fluvisoles.

a. Materia orgánica

En los suelos estudiados, los valores de materia orgánica para el horizonte A varían entre 2.1 y 3.5 %, siendo el promedio de 2.5 %, mientras que para el horizonte B los valores oscilan entre 0.85 y 1.8 % con un promedio de 1.2 %.

Los resultados concuerdan con los datos de materia orgánica reportados para los suelos de la unidad millón Tres Islas cuyos suelos dominantes son Luvisoles Ocricos (URUGUAY. MAP. DSF 1979a, URUGUAY. MGAP. DGRNR 2008).

Si bien estos valores resultan más bajos que los valores promedio de materia orgánica de los suelos del país, los datos reportados en este trabajo se encuentran en el entorno de lo que es el promedio de los suelos Desaturados Lixiviados del país según Durán (s.f.) quien reporta valores medios de 1,97 % para el horizonte A y 1,23 % en el B.

Los suelos a medida que son más arenosos presentan menor actividad química, propiedades coloidales y reservas de nutrientes.

Conforme a esto, en los suelos de texturas más arenosas se encuentran los menores valores de materia orgánica.

La materia orgánica también varió dentro de cada suelo a distintas profundidades. Encontrando una lógica disminución en profundidad dada por la disminución de la actividad radicular y por lo tanto, de aporte de restos orgánicos.

Cabrera y Cal, citados por Durán y García (2007b) expresan que en los suelos Desaturados Lixiviados generalmente el contenido de materia orgánica es bajo y la distribución de la misma dentro del perfil se caracteriza por la presencia de dos máximos, uno en el horizonte superficial, y otro en la parte superior del horizonte argilúvico. La existencia de este segundo máximo se debe a la translocación desde horizontes superiores de humus. Un ejemplo de lo antedicho es la variante del suelo D11

(Luvisol), en el cual el contenido de materia orgánica aumenta de 0.8 a 0.9 al pasar del horizonte B al Bt.

b. pH

Los suelos Desaturados Lixiviados relevados presentan valores promedio de pH en agua de 5,00 en el horizonte A y 5,16 en los subsuperficiales, lo cual es concordante con valores reportados por (Durán, s.f.) para suelos Desaturados Lixiviados, siendo valores más bajos que los suelos promedio del Uruguay registrados por el mismo autor. Los suelos Desaturados Lixiviados según Durán (s.f.) presentan los siguientes valores medios: Horizonte A, pH 5,34. Horizonte B, pH 5,26.

Estos bajos valores de pH en los suelos Desaturados Lixiviados, según URUGUAY. MAP. DSF. (1979a) se atribuyen a una intensa lixiviación de bases y un fuerte proceso de acidificación sufrido en todo el perfil, con valores de pH entre 4 y 5,5, así como un alto contenido de aluminio intercambiable sobre todo en horizontes inferiores.

El pH es una propiedad química que influye también en la disponibilidad de nutrientes en el suelo, por tanto hay que tener en cuenta los valores de pH en conjunto con los de bases intercambiables obtenidas.

c. Bases de intercambio

En los suelos Desaturados Lixiviados relevados en el predio, el contenido de bases intercambiables es bajo, y la relación calcio: magnesio estrecha. Lo cual concuerda con URUGUAY. MAP. DSF (1976) donde se le atribuye esto a la desaturación provocada por la lixiviación favorecida por las texturas livianas predominantes. A su vez la pérdida de bases no logra ser compensada por la reposición de cationes a partir de la alteración de minerales primarios según Duran (1991b).

Los suelos del establecimiento Don Roberto, pertenecen a la formación geológica San Gregorio, el cual se trata de un material parental antiguo, con predominio de la fracción arena (cuarzosa), lo que determina bajo contenido de nutrientes importantes para las plantas. Por esta razón da lugar a suelos pobres, con pocas bases totales y baja CIC como es el caso de los suelos de las unidades (Iap-Sg), (Lac\_Sg.) y (Ls-Sg.) que ocupan la mayor parte del predio. En general son Luvisoles y Acrisoles, los

que tienen pH al H<sub>2</sub>O menor a 5.2, lo cual significa que poseen acidez intercambiable, constituida principalmente por Al.

Los suelos del predio son de texturas medias a livianas, y cabe esperar que tengan una baja capacidad de intercambio. En suelos arenosos esa pequeña capacidad es sumamente importante en la nutrición del árbol y en el reciclaje eficiente de los nutrientes (Prichett, 1986).

## 2. Interfluvios “ligeramente aplanados” de San Gregorio (Iap-Sg)

Los suelos de la unidad (Iap-Sg) son Acrisoles poco profundos, (en el orden de los 60-70 cm.) que hasta pueden parecer a primera vista, por su escaso espesor, Inceptisoles. La secuencia típica de horizontes es A, AB, Bt, BC y C, con colores rojo amarillento y pardo rojizo oscuro (ambos en húmedo). Son de textura media, muchas veces presentan una línea de piedra en la parte superior del Bt, y/o concreciones de manganeso, con clastos en el horizonte C. Presentan los siguientes valores promedio para los horizontes A y B respectivamente: arcilla 11,6 y 32%, materia orgánica 2,6 y 1,8 %, aluminio intercambiable 4,7 y 3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, bases totales 1,6 y 2,7 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, saturación a pH 8,2 16 y 22%, pH<sub>(H<sub>2</sub>O)</sub> 4,7 y - 4,8, pH<sub>(KCl)</sub> 3,8 y 4. El perfil modal de esta unidad es D1 (Figura 12), siendo una unidad asociada en el predio que ocupa casi el 14 % del mismo.

Según URUGUAY. MAP. DSF (1979b) los suelos dominantes de las unidades Tres Islas y Aparicio Saravia son (Luvisoles) y (Acrisoles) respectivamente. Ambos perfiles de suelo mostraron similitudes con los Acrisoles de la unidad (Iap-Sg) en secuencia de horizontes, color, presencia de concreciones de Fe y Mn revistiendo las areniscas, textura, pH en agua, KCl y contenido de materia orgánica en el horizonte Bt.

En los sitios donde aparecen estos Luvisoles poco desarrollados de (Iap-Sg), la información CONEAT reporta la presencia de los Grupos 8.12, con Luvisoles, aunque más profundos que el perfil D1, así como el Grupo CONEAT 8.3 con Inceptisoles. Parece lógico encontrar tales diferencias debidas a las distintas escalas de trabajo, siendo la presente más detallada.

Los valores de arcilla en los distintos horizontes de la unidad (Iap-Sg) están en el entorno de los valores medios reportados por (Durán, s.f.) para suelos Desaturados Lixiviados. También hay coincidencia entre el contenido de Arcilla del horizonte A de D1 y el reportado por (Durán, s.f.) en el horizonte A de suelos del Uruguay derivados de areniscas no calcáreas y varias rocas ígneas ácidas, bien diferenciados.

El perfil modal de la unidad (Iap-Sg) difiere bastante de los registrados para el fotoplano F 17 al cual pertenece (URUGUAY. MGAP. DSA)<sup>2</sup>.

Sin embargo, se encontraron suelos similares a los de la unidad (Iap-Sg), con igual profundidad, secuencias de horizontes, familia textural, colores, contenidos de materia orgánica y pH (URUGUAY. MGAP. DSA)<sup>2</sup>. No obstante, presentan menor contenido de aluminio, más bases totales y mayor saturación en bases.

En los distintos antecedentes consultados, fue difícil encontrar suelos de la unidad Tres Islas o de unidades vecinas como Aparicio Saravia con contenidos tan altos de aluminio y tan desaturados a pH 8,2. Dicha diferencia se explica en parte por diferencias entre los perfiles (en sus contenidos de bases y aluminio intercambiable). O debido a que en el caso de este trabajo se estimó el valor con la ecuación de (Durán y García, 2007b) y en los otros casos el valor se determinó en el laboratorio.

### 3. Laderas fuertes y escarpas de la formación San Gregorio (Lf/e-Sg)

Los suelos de la unidad (Lf/e-Sg) son principalmente Inceptisoles (alrededor del 80 %), aunque en menor proporción y en las escarpas también hay Litosoles. Los Inceptisoles muestran secuencias de horizontes del tipo A- Bw, con transiciones claras, muchas veces con una línea de piedras en los primeros 10 cm. Tienen colores pardo oscuros, textura F y FAc. Presentan los siguientes valores para los horizontes A y Bw respectivamente: materia orgánica 3,5 y 1,3 %, aluminio intercambiable 1,2 y 1,8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, bases totales 3,1 y 1,8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, saturación a pH 8,2 34 y 23%, pH<sub>(H2O)</sub> 4,7 y 5,1 pH<sub>(KCl)</sub> 4,1 y 4,2. El perfil modal de esta unidad es el Inceptisol D10 (Figura 12).

Con respecto a los grupos CONEAT, la zona de la unidad (Lf/e-Sg) está mapeada como 8.3 con Inceptisoles. Esto es coincidente con la descripción del perfil modal de la unidad (Lf/e-Sg). Dicha unidad también abarca una porción reducida del Grupo 8,12, esto último debido al mayor detalle en el trabajo de campo en relación al CONEAT.

Los suelos de la unidad (Iap-Sg) mostraron similitudes con otros Inceptisoles de unidades vecinas de la Carta de Reconocimiento de Suelos a escala 1:1.000.000 y con perfiles de (URUGUAY. MGAP. DSA)<sup>2</sup>.

4. Planicies bajas y concavidades pertenecientes a la formación San Gregorio (Plb/c-Sg)

Los suelos de la unidad (Plb/c-Sg) son Gleysoles, y el perfil modal de esta unidad es el Gleysol Lúvico Melánico Fr, pa H14 16 (Figura 12).

La unidad (Plb/c-Sg) abarca parte de los Grupos CONEAT G 03.11 con Gleysoles y Fluvisoles y en menor proporción el Grupo 8.3 con Inceptisoles.

En esta unidad no se efectuaron descripciones ni muestreos porque sus suelos no poseen aptitud para usos intensivos que suponen la sustitución de vegetación natural. Por otra parte los suelos de planicies aluviales poseen gran variabilidad, ello supone efectuar un número significativo de estudios morfológicos y analíticos sin que por ello pueda cambiarse significativamente el destino de esas tierras.

Como no se efectuaron muestreos para esta unidad, no se realizará comparación con antecedentes.

5. Laderas altas convexas de San Gregorio (Lac-Sg)

Los suelos son Luvisoles Ocrícos Típicos profundos (>140cm.), de color rojo, con la siguiente secuencia de horizontes A, AB, BA, Bt<sub>1</sub>, Bt<sub>2</sub>, BC, y de texturas medias. Presentan los siguientes valores para los horizontes A y Bt respectivamente: materia orgánica 2 y 0,9 %, pH en agua 5,2 y 5,6, pH en KCl 4,1 y 4,5, bases totales 3,8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> y 5,9 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, aluminio intercambiable 0,5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> y 0,1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. El perfil modal de esta unidad es D12 y su variante (ver anexo 4).

Estos resultados son coincidentes con la base de datos de URUGUAY. MAP. DSF (1979a), ya que dicho antecedente tiene como suelos dominantes de la unidad Tres Islas la presencia de Luvisoles Ócrícos Típicos muy similares, aunque un poco menos rojos, que el mapeado en este trabajo. Este suelo dominante de la unidad Tres Islas equivale dentro del predio, a la unidad (Lac-Sg) cartografiada la cual es accesoria en cuanto a superficie.

Los suelos de la unidad (Lac-Sg) son equivalentes a la descripción del Grupo CONEAT 8.12 que reporta Luvisoles Melánicos Típicos muy profundos de color pardo rojizo oscuro, textura franco arcillo arenosa, bien drenados y fertilidad extremadamente baja, entre otros atributos.

Según URUGUAY. MAP. DSF (1979a) el Grupo 8.12 integra la unidad Aparicio Saravia de la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay a escala 1:1.000.000 (DSF).

Los suelos de la unidad (Lac-Sg) mostraron similitudes con perfiles de la base de datos consultada (URUGUAY. MGAP. DSA)<sup>2</sup>, pertenecientes a su mismo fotoplano y otros que no, en cuanto a secuencia y profundidad de horizontes, color, textura, pH en agua, en KCl, materia orgánica y bases, siendo un poco más ricos en aluminio en varios casos.

#### 6. Laderas suaves de la formación San Gregorio (Ls-Sg)

Los suelos de la unidad (Ls.-Sg) son Luvisoles Melánicos Típicos con la siguiente secuencia de horizontes A, AB, Bt, BC, y C. El BC a veces con algunas gravas y cantos rodados. También aparecen Acrisoles Ócricos Típicos. Los perfiles modales de esta unidad son D11 y D9. Pero dicha unidad presenta variaciones, como la variante del anexo No. 2. Otra variante la constituye el perfil D6. La unidad ocupa 139 Has equivalentes al 14.5 % de la superficie total del predio.

Según la base de datos consultada URUGUAY. MAP. DSF (1979a) los suelos dominantes de la unidad Tres Islas son Luvisoles Ócricos (Melánicos) Típicos (Abrúpticos) muy similares al perfil D 11.

Los suelos de la unidad (Ls-Sg) son coincidentes con la descripción del Grupo CONEAT 8.12 que reporta Luvisoles Melánicos Típicos (Praderas Arenosas) muy profundos de color pardo rojizo oscuro, textura franco arcillo arenosa, bien drenados y fertilidad extremadamente baja, entre otros atributos. Aunque debe recordarse que el perfil modal de la unidad, D11, es un Luvisol Ócrico Típico.

Según URUGUAY. MGAP. DGRNR (1994) el Grupo 8.12 integra la unidad Aparicio Saravia de la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay a escala 1:1.000.000 (DSF).

El perfil modal de la unidad (Ls-Sg) mostró similitudes con algunos de (URUGUAY. MGAP. DSA)<sup>2</sup>; algunos de ellos pertenecientes al mismo fotoplano que el perfil D11, sobre todo en el color, secuencia y profundidad de horizontes, textura, estructura, moteados y concreciones de Fe y Mn. También se parecen en los valores de pH en agua, pH en KCl, bases y materia orgánica. Siendo algunos un poco más ácidos y por tanto presentan una menor saturación en bases a pH 8.2 estimada con la ecuación de

Durán y García (2007a). No obstante esto, algunos suelos de su mismo fotoplano dieron valores opuestos en este sentido, o sea mayor saturación en bases y menor acidez.

Muchos de los suelos con los cuales se comparó el perfil D11 presentan discontinuidades litológicas generalmente en la parte superior del horizonte B. Aunque en este caso no se observó dicha discontinuidad, no se descarta la probable existencia de la misma. Para confirmar esta hipótesis hubiera sido necesario realizar estudios más minuciosos y costosos (separación de arenas, estudio de minerales densos dentro de ellas, micro-morfología, difracción por rayos x).

El otro perfil modal de esta unidad es el identificado como D9, el cual resultó tener similitudes con los perfiles G17 23 Acrisol Ócrico y Luvisol Ócrico G17 17. Estos últimos son dominantes en la unidad Aparicio Saravia de la carta de suelos del Uruguay a escala millón según URUGUAY. MGAP. DGRNR (2008). El perfil D9 también se parece con el perfil Luvisol Ócrico G17 13, el cual es dominante de la unidad Tres Islas según el mismo antecedente. Dichas similitudes se dan en secuencia y profundidad de horizontes, ambos presentan moteados, similar textura, pH en agua, KCl y contenido de materia orgánica.

Además, el perfil D9 se parece con muchos perfiles de la base de datos consultada (URUGUAY. MGAP. DSA)<sup>2</sup> en secuencia y profundidad de horizontes, color, presencia de moteados, similar textura, contenido de materia orgánica, pH en agua y KCl, aunque los de la base de datos son más ricos en bases y de menor acidez intercambiable.

7. Unidad Laderas suaves con partes altas aplanadas de San Gregorio 1 (Ls/ap-Sg1) y unidad Laderas, a veces ligeramente aplanadas de San Gregorio (Ls/ap-Sg2)

La unidad (Ls/ap-Sg1) (Figura 12) ocupa 30 Has lo que equivale al 3,1 % de la superficie total del predio. El perfil modal de esta unidad según la base de datos consultada (URUGUAY. MGAP. DSA)<sup>2</sup> es H18 12.<sup>3</sup>

La unidad (Ls/ap-Sg2) es altiméricamente un poco inferior a la unidad anterior, está compuesta principalmente por Argisoles y ocupa 70 Has lo que equivale al 7,3 % del total de la superficie del predio. El perfil modal de esta unidad en la base de datos (URUGUAY. MGAP. DSA)<sup>2</sup> es G18 07.<sup>3</sup>

En ambas unidades no se efectuaron muestreos y por tanto, no se realizará comparación con antecedentes.

8. Unidad Concavidades de San Gregorio (C-Sg) y unidad Valles y aluviones con sedimentos de la formación San Gregorio (V/a-Sg)

Como ya se mencionó estas unidades presentan Gleysoles y Fluvisoles que ocupan las partes bajas del paisaje. En conjunto, las dos unidades abarcan un 18 % de la superficie total del predio.

Estas unidades no se usarán con fines forestales debido a sus severas limitantes productivas fundamentalmente de drenaje. Además poseen gran variabilidad, ello supone efectuar un número significativo de estudios morfológicos y analíticos sin que por ello pueda cambiarse significativamente el destino de estas tierras.

En virtud de lo antedicho no se realizaron estudios de perfiles específicos de estas unidades. Por tal motivo no se hará la comparación con antecedentes.

#### D. CARTA INTERPRETATIVA POR CAPACIDAD DE USO (USDA)

Desde el punto de vista edáfico el predio presenta diferentes situaciones en cuanto a su desarrollo genético, profundidad efectiva, textura, drenaje, pendiente, acidez, etc. Tales cualidades han generado ambientes diferenciales, respecto a la capacidad de uso de la tierra. La distribución y la superficie de las clases por capacidad de uso de los suelos del predio se muestran en el mapa de la Figura 17.

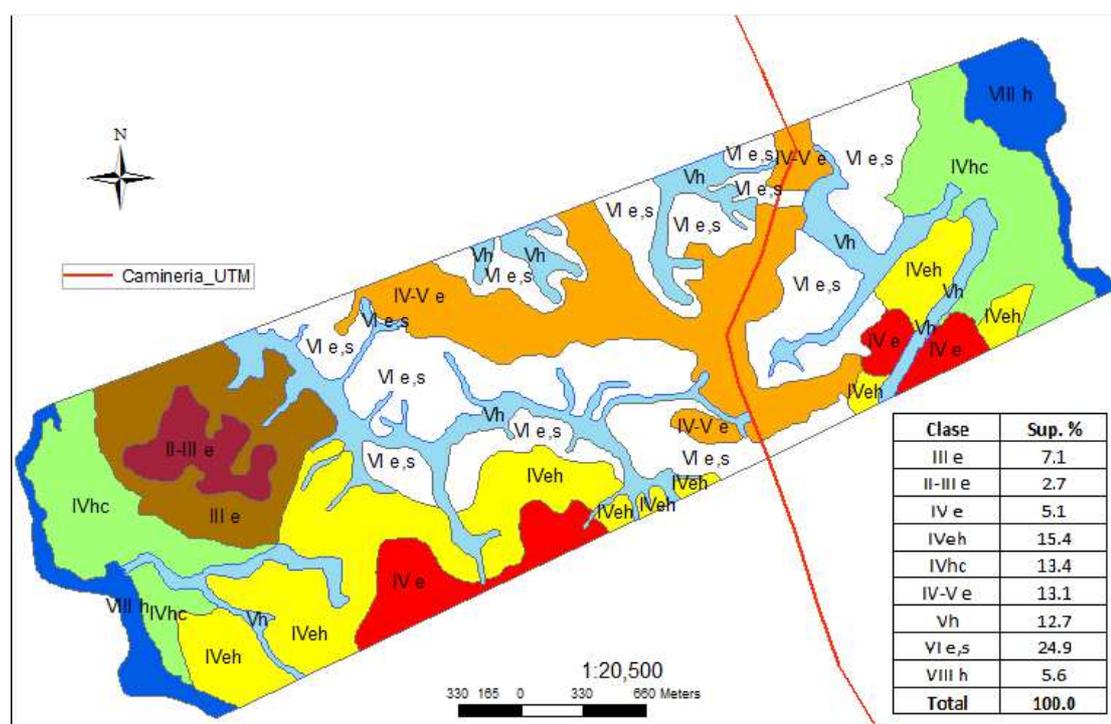


Figura 17. Carta de capacidad de uso (USDA)

Nota: subclases - e: erosión, s: limitaciones al arraigamiento, h: hidromorfismo, c: limitantes climáticas.

En la carta por capacidad de uso (USDA) se aprecia que aproximadamente el 60% del área es laboreable y el resto no. Dicha carta es una evaluación fácilmente comprensible y se ajusta a un sinnúmero de situaciones, pero presenta determinado alcance y limitaciones en su uso.

En primer lugar, fue desarrollada con el propósito de constituir una guía, una herramienta para conservar las tierras, previniendo su erosión y degradación.

Según dice Terzaghi et al. (1988) la clasificación fue desarrollada con el objetivo principal de controlar la erosión que iba en aumento progresivo y es así que considera el agrupamiento de unidades en base al grado relativo en que ellas sean o no arables.

Es de carácter general, es decir que propone por ejemplo: Apta para cultivos, sin especificarlos, sin mencionar las exigencias eco-fisiológicas de sus variedades y biotipos, etc. En fin no fue elaborada con un criterio de uso forestal.

## F. CARTA INTERPRETATIVA DE APTITUD PARA *EUCALYPTUS GRANDIS*

Con el fin de obtener una evaluación más específica, y con el apoyo de expertos en el área forestal, se procedió a clasificar las tierras del predio “Don Roberto” de forma particular para la utilización y aprovechamiento con *Eucalyptus grandis*.

Para esto se usaron las pautas de Terzaghi et al. (1988) que sigue en líneas generales el esquema presentado por FAO (1976), como fue indicado en la metodología.

A continuación se presentan las definiciones que supone el sistema aplicado.

### 1. Definición del tipo de utilización de la tierra

En este caso se cuenta con datos suficientes como para trabajar en mayor grado de detalle, con un uso del suelo definido más precisamente. De ahí que se encara esta nueva clasificación, que permite un mejor aprovechamiento de los datos disponibles. En esta evaluación de tierras se toma en cuenta sólo determinado tipo de utilización de la tierra definido previamente (Terzaghi et al., 1988).

Luego de consulta con expertos forestales<sup>5</sup> se determinó el siguiente tipo de utilización de la tierra a ser evaluado.

Cultivo de *Eucalyptus grandis* en condiciones de secano, con un nivel de manejo medio, con moderado uso de fertilizantes, utilización de maquinarias para el laboreo de la tierra (rastra de discos, combate de malezas) y distanciamiento entre plantas en el entorno de los 3 x 3 m. En los bajos por ser más resistente a heladas se planta *E. dunnii*. El destino es para triturados (aglomerados) y aserrados en general, para el mercado interno y para exportación.

Dicho tipo de utilización de la tierra está bien discutido en el capítulo de materiales y métodos.

---

<sup>5</sup>Escudero, R. 2010. Com. personal

2. Definición de los requerimientos del uso de la Tierra

Luego de consultar a técnicos especialistas forestales (Ing. Agr. Rafael Escudero) se establecieron los requerimientos del Uso de la Tierra que son más influyentes en el resultado productivo del uso con *E. grandis* especificado anteriormente. Dichos (RUT) son:

- \*Temperatura      \*Disponibilidad de agua
- \*Drenaje            \*Facilidad para la saca de madera

3. Cuantificación de las cualidades de la tierra a través de características medibles y/o estimables

a. Disponibilidad de agua

Esta cualidad se refiere a la cantidad de agua disponible para las plantas. Siguiendo la pauta de Terzaghi et al. (1988) se construyó el cuadro 29.

Cuadro 25. Evaluación del Agua Disponible para las plantas

Clase de Aptitud	Clase de agua disponible total	**Agua disponible total (mm)	Clase de pendiente (%)	Velocidad de infiltración	Posición topográfica
S <sub>1</sub>	Alta	110-167	2-4	Alta-Media	Media
S <sub>2</sub>	Alta	142-233	2-7	De Alta a Alta-Media	Media
S <sub>3</sub>	Media-Baja	74,8	1-3	Alta	Alta
S <sub>4</sub>	Baja	74	11-15	Media-Alta	Media-Alta
N <sub>1</sub>	Alta	128	1-3	Media	Baja
N <sub>2</sub>	Alta	-	1-2	Media	Baja

Fuente: elaboración propia en base a pautas de Terzaghi et al. (1988)

\*\*Agua disponible total (descontado el porcentaje de elementos gruesos) estimada con ecuaciones de Silva y Fernández, citados por Kaplán et al. (1990).

b. Accesibilidad del terreno para la plantación y cosecha de árboles

En esta cualidad se evalúan las dificultades que se pueden presentar para la implantación de *Eucalyptus*, por circunstancias que afectan la entrada de equipos al terreno y/o reducen el espacio apto del suelo para la plantación. Se pauta en base a rocosidad y/o pedregosidad, vegetación arbórea natural, inundaciones, grado de pendiente y valor n (sustentabilidad del suelo) (Terzaghi et al., 1988).

Cuadro 26. Accesibilidad del terreno para la plantación y cosecha de árboles

<b>Aptitud</b>	<b>Accesibilidad</b>	<b>Rocosisdad en superficie</b>	<b>Vegetación arbórea</b>	<b>Pendiente (%)</b>	<b>Inundaciones</b>
<b>S<sub>1</sub></b>	<b>Accesible</b>	< 2%	Rala	2-4	muy cortas a cortas
<b>S<sub>2</sub></b>	<b>Accesible con ligeras limitaciones</b>	< 2%	Rala	2-7	cortas a largas
<b>S<sub>3</sub></b>	<b>Accesible</b>	< 2%	Rala	1-3	libres de inundaciones
<b>S<sub>4</sub></b>	<b>Accesible con severas limitaciones</b>	1-10%	Rala	11-15	libres de inundaciones
<b>N<sub>1</sub></b>	<b>Accesible con moderadas limitaciones</b>	< 2%	Ligeramente rala	1-3	largas
<b>N<sub>2</sub></b>	<b>No accesible</b>	< 2%	Densa a muy densa	1-2	muy largas o permanentes

Fuente: elaboración propia, en base a pautas de Terzaghi et al. (1988).

c. Ubicación

Para evaluar esta cualidad, según pautas de Terzaghi et al. (1988) se tienen en cuenta dos características: distancia a los mercados y suministros, y transitabilidad de los caminos de acceso.

Considerando el primer aspecto, hay que descartar el destino para pulpa de esos rodales por la lejanía a las plantas de celulosa Andreoni (2010). Tampoco hay aserraderos de importancia cerca de esta zona.

Por otro lado la transitabilidad de los caminos de acceso no es la mejor. Si bien en estas tierras no hay grandes pendientes, el suelo presenta una gran fragilidad quedando comprometida su sustentabilidad en tareas como la cosecha en los momentos en que el suelo presenta altos contenidos de humedad. Además hay 32 km de camino de muy mala calidad (toscas) y en mal estado. Esto es importante, pues influye en el costo del transporte de los insumos hacia la explotación y de los productos al mercado.

Considerando estas características, según las pautas de Terzaghi et al. (1988) se concluye que la ubicación es mala.

d. Riesgo de heladas

Según los datos de URUGUAY. MDN. DNM (2009) en Melo para un período de 35 años, el período libre de heladas (PLH) es de 248 días. La clasificación de riesgo de heladas de Terzaghi et al. (1988) indica que esa localidad presenta riesgo de heladas clase 3 **Alto**, por tener un período libre de heladas menor a 290 días.

La posición topográfica también fue considerada. Si se trata de un bajo, automáticamente se sube un punto en el rango (de 1 pasa a 2, o de 2 pasa a 3). Con respecto a esto cabe mencionar que la clase de aptitud  $N_1$  y las partes bajas de la  $S_2$  presentan mayor riesgo de ocurrencia de heladas que el resto de los sitios del predio. Por lo cual se recomienda plantar en época adecuada; mientras que en las partes bajas de la clase de aptitud  $S_2$  se puede utilizar alguna especie más resistente como *E. dunnii*.

Dadas las características topográficas en el paisaje de este establecimiento: cerros relativamente planos, con escarpas y valles profundos. El drenaje de aire frío se ve enlentecido, aumentando su estratificación y dificultándose durante el día la reversión del fenómeno de las heladas, acentuando así su efecto.

## e. Drenaje

Cuadro 27. Evaluación del drenaje

<b>Clase de Aptitud</b>	<b>Drenaje</b>	<b>Drenaje externo ó escurrimiento superficial</b>	<b>Drenaje natural</b>
<b>S<sub>1</sub></b>	<b>1</b>	De escurrimiento medio	Moderadamente bien drenado
<b>S<sub>2</sub></b>	<b>1</b>	De escurrimiento medio a rápido	Moderadamente bien drenado
<b>S<sub>3</sub></b>	<b>2</b>	De lento escurrimiento	Moderadamente bien drenado
<b>S<sub>4</sub></b>	<b>1</b>	De escurrimiento muy rápido	Bien drenado a excesivamente drenado
<b>N<sub>1</sub></b>	<b>3</b>	Escurrecimiento lento	Imperfecto a pobremente drenado
<b>N<sub>2</sub></b>	<b>3</b>	-	-

Fuente: elaboración propia en base a pautas de Terzaghi et al. (1988).

El drenaje se evaluó en base al drenaje externo y al drenaje natural. En general en el predio el drenaje no constituye una limitante para el crecimiento de *E. grandis*. Excepto en las unidades N1 y N2 donde aparecen problemas de hidromorfismo ya en los primeros 50 cm del perfil del suelo.

## f. Disponibilidad de oxígeno

Se refiere a las limitaciones en la aireación del suelo, que determinan las posibilidades de desarrollo para *E. grandis*. La cualidad se estimó siguiendo la pauta de evaluación de oxígeno disponible de Terzaghi et al. (1988), como se presenta en el cuadro 28.

Cuadro 28. Evaluación de la disponibilidad de oxígeno

Clase De Aptitud	Disponibilidad De Oxígeno	Macro-poros (%)	Escorrentamiento Superficial	Permeabilidad	Velocidad de Infiltración**	Hidromorfismo***
S <sub>1</sub>	Moderadamente alta a moderada	16-20 en los 1° 60 cm.	Moderado	Moderada a moderadamente lenta	Alta-Media	Evidencias claras entre 50-100 cm.
S <sub>2</sub>	Moderadamente alta a moderada	20 en los 1° 50 cm.	Rápido a moderado	Moderada (2-6 cm día <sup>-1</sup> )	De Alta a Alta-Media	Evidencias claras entre 50-100 cm.
S <sub>3</sub>	Moderada	20 en los 1° 30 cm.	Lento	Moderada	Alta	Evidencias claras entre 50-100 cm.
S <sub>4</sub>	Moderadamente alta	15 en los 1° 25 cm.	Rápido	Moderada	Media-Alta	no
N <sub>1</sub>	Baja	15 en los 1° 30 cm.	Lento	Moderadamente lenta (0,5-2 cm día <sup>-1</sup> )	Media	Evidencias claras a menos de 20 cm.
N <sub>2</sub>	-	-	-	-	Media	-

Fuente: elaboración propia en base a pautas de Terzaghi et al. (1988)

Nota:

\*\* Estimado con las ecuaciones de Silva, citado por Kaplán et al. (1990).

\*\*\* Moteados, concreciones de Fe y Mn, grises gleicos.

## g. Ranking de requerimientos del uso de la tierra

Los sistemas multiplicativos asignan “ratings” separadamente a cada uno de las varias características o factores, luego toman el producto de todos los ratings de factores, como el índice de rating final. De esta manera, como se aprecia en el cuadro 33, indicaremos con números crecientes, los grados crecientes de limitación.

Nota: Los valores para rankear los requerimiento del uso de la tierra son: (Alto = 1; Medio = 2; Bajo = 3)

Cuadro 29. Ranking de los Requerimientos del uso de la tierra evaluados

Clases De Aptitud	Drenaje	Accesibilidad del terreno para plantación y cosecha	Heladas	Oxígeno o Disponible	Agua Disponible	Multiplicación del ranking o puntaje
<b>S<sub>1</sub></b>	1	1	2	2	1	<b>4</b>
<b>S<sub>2</sub></b>	1	2	2-3	2	1	<b>10</b>
<b>S<sub>3</sub></b>	2	1	1-2	2	2-3	<b>8-24</b>
<b>S<sub>4</sub></b>	1	3	2	1-2	3	<b>18-36</b>
<b>N<sub>1</sub></b>	3	2-3	3	3	1	<b>68-81</b>
<b>N<sub>2</sub></b>	3	3	3	3	1	<b>81</b>

Fuente: elaboración propia en base a pautas de Terzaghi et al. (1988).

La multiplicación del ranking de las cualidades de cada clase de aptitud, sirve para visualizar la aptitud de las distintas unidades de suelo. No obstante esto, la metodología empleada no tuvo en cuenta que hay cualidades de la tierra que influyen más que otras en el resultado productivo. No se aplica ninguna ponderación en el puntaje asignado. Por tanto, deberían utilizarse coeficientes para ponderar las diferentes cualidades según su importancia.

Otras cualidades de la tierra a evaluar serían la fertilidad natural y la erosión, pero con coeficientes menores que el drenaje, las heladas y el agua disponible.

#### 4. Carta de aptitud para *E. grandis*

De la evaluación de las cualidades de la tierra hecha anteriormente se concluye que los suelos del predio presentan diferentes situaciones en cuanto a su desarrollo genético, profundidad efectiva, textura, drenaje, pendiente, acidez, etc. Las limitaciones de estas cualidades edáficas han generado ambientes diferenciales, con diferente aptitud de la tierra para el uso con *E. grandis* lo cual se exhibe en la Figura 18.

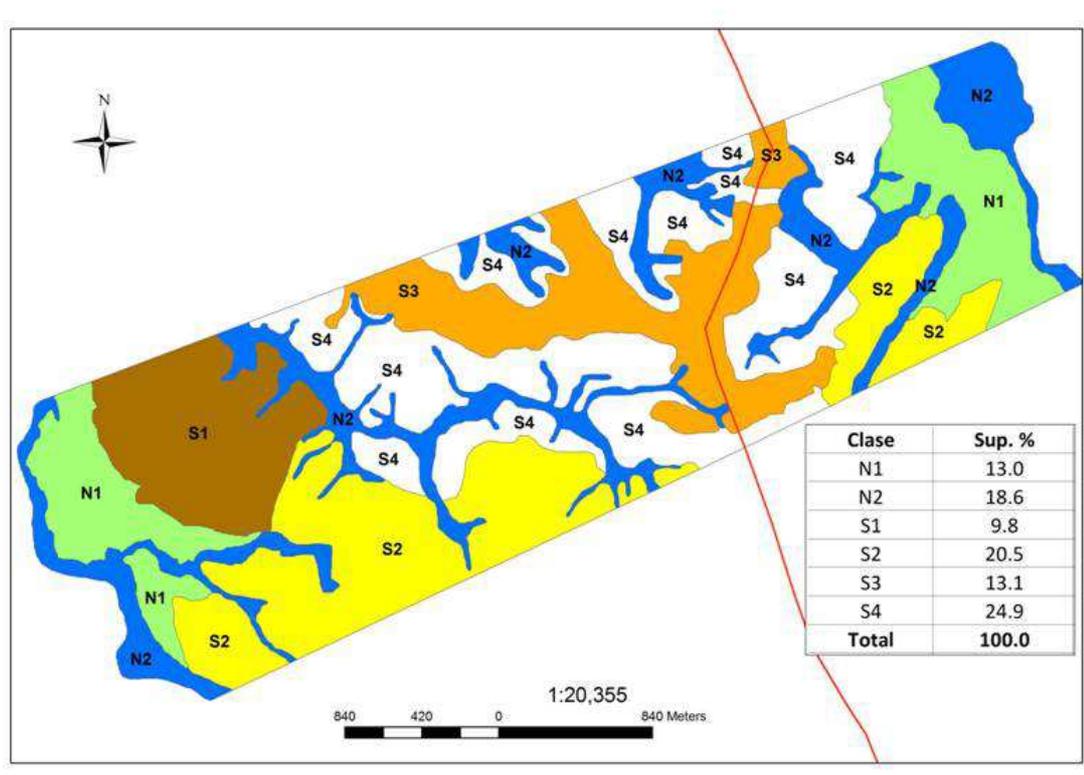


Figura 18. Carta de aptitud para *Eucalyptus*

#### **Clase S1** Muy apta para *Eucalyptus*

Esta clase comprende las unidades Ls/ap-Sg1 y Ls/ap-Sg2 de la carta de suelos del predio con Argisoles, Brunosoles y Vertisoles. Son tierras cultivables aptas para una amplia gama de producción de pasturas y forestales. Muy aptas para *Eucalyptus* ya que carecen de limitantes significativas para ese uso o solamente presentan limitantes menores, que no reducirán significativamente la productividad y/o los beneficios.

La clase pertenece al Grupo CONEAT G10.6 b. Dicho Grupo no es de prioridad forestal, obedeciendo esto a criterios económicos y sociales, ya que en esta tierra se obtiene un mayor flujo del capital y empleo con la agricultura en comparación de la forestación. En esto incide la diferente duración de los ciclos de ambas producciones.

### **Clase S2** Aptas con escasas limitaciones

Comprende las unidades Lac-Sg y Ls-Sg de la carta de suelos del predio con Luvisoles y Acrisoles, dichas unidades pertenecen al CONEAT 8.12. Son tierras cultivables en condiciones especiales, aptas para una amplia gama de producción de pasturas y forestales.

Las principales limitantes que presenta esta clase son el riesgo de erosión en la unidad Lac-Sg por ser laderas convexas con pendientes fuertes, mientras que en la unidad Ls-Sg se pueden presentar problemas de hidromorfismo por su posición topográfica. Dichas limitaciones provocarán un descenso en la productividad y/o en los beneficios, por este motivo esta clase califica como menos ventajosa que S1 para *Eucalyptus*.

### **Clase S3** Apta con moderadas limitaciones

Se corresponde con la unidad Iap-Sg de la carta de suelos del predio con Acrisoles y algunos Inceptisoles asociados. Son tierras cultivables en condiciones especiales, aptas para producción de pasturas pero con muy severas limitaciones para otros cultivos. Pueden o no ser tierras para cultivos forestales.

Las principales limitantes para la producción de *Eucalyptus* parecen ser la escasa profundidad del solum en algunos lugares y como factor secundario la baja fertilidad.

### **Clase S4** Apta con severas limitaciones

Se corresponde con la unidad Lf/e-Sg de la carta de suelos del predio, compuesta por Inceptisoles pertenecientes al CONEAT 8.3. Son tierras no cultivables, aptas para la producción de pasturas y muy limitada para los forestales.

Estas tierras son de baja aptitud para *Eucalyptus*. Principalmente por las pendientes escarpadas que determinan un alto riesgo de erosión. Y en algunas zonas además hay afloramientos rocosos que limitan la producción forestal. Lo cual reducirá la

productividad y/o los beneficios o incrementarán de tal modo la inversión de insumos, que sólo será ocasionalmente justificable su uso forestal.

**Clase N1** No apto levantable

Se corresponde con la unidad Plb/c-Sg de la carta de suelos del predio, ocupada por Gleysoles que pertenecen al CONEAT G03.11.

No es apta en las condiciones actuales y por tanto no conviene sustituir la vegetación natural. Su principal limitante es el exceso de agua con frecuentes inundaciones en ciertos meses del año, (con la consiguiente disminución en la disponibilidad de oxígeno). Esto la excluye para su utilización con *Eucalyptus*, en el momento, ya sea por carencias económicas y/o de tecnología pero que pueden ser superadas en el futuro con medidas especiales.

**Clase N2** No apto permanente

Comprende las unidades C-Sg y V/a-Sg de la carta de suelos del predio. Se trata de desagües, concavidades y valles aluviales. Debido a sus severas limitaciones esta tierra no ofrece ninguna posibilidad de uso con *Eucalyptus*.

Dicha zona de desagües no puede ser laboreada, y según una de las normas técnicas que actualmente se fiscalizan en la ley de uso y conservación de suelos No. 15.239, los desagües naturales deberán permanecer con la superficie adecuadamente empastada para que se realice un escurrimiento no erosivo del agua. Recordemos que las causas potenciales de formación de las cárcavas son principalmente antrópicas las cuales pueden deberse a la eliminación del tapiz, labranza en el sentido de la máxima pendiente, sobre pastoreo y aplicación de herbicidas en desagües naturales.

## V. CONCLUSIONES

Se pudo cumplir el objetivo de aportar al conocimiento de los suelos de la unidad millón Tres Islas pertenecientes a los Grupos CONEAT 8.3 y 8.12, ya que no existía otra carta para esa área más allá de la escala millón.

El padrón de suelos es el siguiente, en las partes más altas hay planicies a veces con pequeñas convexidades donde predominan Luvisoles muy cortos (50-70 cm.) o a veces Inceptisoles. Estos son interfluvios de laderas fuertes con escarpas donde predominan Inceptisoles lo cual está de acuerdo con la descripción reportada en URUGUAY. MGAP. DGRNR (1994) para el Grupo CONEAT 8.3. También hay convexidades altimétricamente un poco inferiores a las planicies altas, donde predominan Luvisoles y Acrisoles al igual que en las laderas de estas convexidades (que son bastante suaves) dichos suelos son pardos rojizos y otros más amarillentos.

Las técnicas de cartografía sirvieron para saber como son los suelos actualmente. Esto permitiría comparar estas propiedades más adelante para ver su evolución, o sea son un insumo para el posterior monitoreo. En base al monitoreo se podrán hacer recomendaciones para el uso sustentable del recurso suelo.

A partir de la carta básica de suelos, se realizó la carta por Capacidad de Uso del Departamento de Agricultura de los EEUU, donde se aprecia que aproximadamente el 60% del área es laboreable y el resto no. Y su principal limitante es el riesgo de erosión. Estas tierras, son en su mayoría muy erodables. Debido principalmente a la débil estructura y pendientes pronunciadas.

Con el fin de obtener algo más específico, se clasificaron las tierras según su aptitud potencial, para *Eucalyptus grandis* en el ámbito del predio Don Roberto. Si bien no hay criterios específicos para esto, se siguió la clasificación de Terzaghi et al. (1988) que se basa en el esquema presentado por FAO (1976).

Considerando exclusivamente las tierras muy aptas y aptas, la superficie posible de implantar con *Eucalyptus grandis* es lo suficientemente extensa como para cumplimentar el desarrollo de la actividad a escala comercial en el lugar.

La evaluación del (USDA) es fácilmente comprensible y se ajusta a un sinnúmero de situaciones, pero presenta determinado alcance y limitaciones en su uso.

En primer lugar, fue desarrollada con el propósito de constituir una guía, una herramienta para conservar las tierras, previniendo su erosión y degradación. Es de carácter general, es decir que propone por ejemplo: Apta para cultivos, sin

especificarlos, sin mencionar las exigencias eco-fisiológicas de sus variedades y biotipos, etc. (Terzaghi et al., 1988). En fin no fue elaborada con un criterio de uso forestal.

Además dicho sistema está visto desde el punto de vista del suelo, excluyendo del análisis las distancias a los mercados, la clase de caminos, la ubicación de los campos, etc.

Este trabajo brinda datos como para trabajar en mayor grado de detalle.

La evaluación de tierras del esquema FAO es mejor para este caso porque hace un mejor aprovechamiento de los datos recabados viendo las cosas desde el punto de vista del cultivo y teniendo en cuenta un conjunto intrincado de factores sociales, económicos, de mercado, distancias, estratégicos de las empresas así como factores influyentes en la productividad del sitio.

Es sabido que la mejor manera de evaluar la aptitud de un cultivo es midiendo su rendimiento Terzaghi et al. (1988). Pero en este trabajo no se usaron datos de rendimiento de madera. Porque por diferentes razones (variaciones de especies, edades, marcos de plantación, etc.) los mismos no fueron de la calidad deseada como para comparar y respaldar los resultados de la evaluación. Lo que imposibilitó el análisis y comparación de las parcelas de inventario.

Con respecto a la evaluación FAO, la multiplicación del ranking de las cualidades de cada clase de aptitud, sirve para visualizar la aptitud de las distintas unidades de suelo. No obstante esto, la metodología empleada no tuvo en cuenta que hay cualidades de la tierra que influyen más que otras en el resultado productivo. No se aplica ninguna ponderación en el puntaje asignado. Por tanto, podrían utilizarse coeficientes para ponderar las diferentes cualidades según su importancia o tener más clases de modo que refleje mejor las diferencias entre las clases de aptitud.

Otras cualidades de la tierra a evaluar serían la fertilidad natural y la erosión, pero con coeficientes menores que el drenaje, las heladas y el agua disponible.

Este esquema no es perfecto y no creo que exista un sistema perfecto para evaluar tierras, lo que el evaluador debe hacer es conocer bien toda la información disponible y manejarla con mucho sentido común. El uso del esquema FAO debe entenderse como una guía, que es ajustable a cada situación particular. Y solo de esta forma se podrá realizar una evaluación correcta.

## VI. RESUMEN

En nuestro país, los suelos destinados a la forestación, en la medida de ser marginales para la agricultura, han sido escasamente estudiados. Con el objetivo de contribuir al conocimiento de suelos destinados a la producción forestal. Se estudió un caso particular de suelos de la unidad Tres Islas Grupos CONEAT 8.3 y 8.12 en el predio Don Roberto (padrón No. E-500) al nor-oeste de Cerro Largo. En dicho estudio se relevaron 960 has siguiendo la metodología clásica de relevamiento de Suelos. El padrón de suelos es el siguiente, en las partes más altas hay planicies a veces con pequeñas convexidades donde predominan Luvisoles muy cortos (50-70 cm.) o a veces Inceptisoles. Estos son interfluvios de laderas fuertes con escarpas donde predominan Inceptisoles lo cual está de acuerdo con la descripción oficial reportada para el Grupo CONEAT 8.3. También hay convexidades altimétricamente un poco inferiores a las planicies altas, donde predominan Luvisoles y Acrisoles al igual que en las laderas de estas convexidades (que son bastante suaves) dichos suelos son pardos rojizos y otros más amarillentos. En definitiva se logró establecer una base cartográfica y muchos de los parámetros medidos constituirán un punto de apoyo para monitorear en el tiempo el recurso suelo. También se compararon los datos obtenidos, con la información existente en el país relativa a suelos de la Unidad Tres Islas. A partir de la carta de suelos y luego de discutir las propiedades inferidas y complejas de los perfiles de cada unidad, se ensayaron dos sistemas de evaluación de tierras: el de capacidad de uso del USDA, y la carta de aptitud para *E. grandis* del predio que sigue los lineamientos del esquema presentado por FAO en 1976. Se vieron los defectos y bondades de ambos sistemas. La clasificación del USDA demostró ser más general y fácilmente comprensible dando que el 60 % del predio es arable, el resto no y la principal limitante de estas tierras es el riesgo de erosión. Por otro lado el esquema FAO permitió hacer un mejor uso de la información generada para esa zona. Según dicho esquema el 70 % del predio es apto para forestar con *E. grandis* y es un área lo suficientemente extensa como para cumplimentar el desarrollo de la actividad a escala comercial en el lugar. En definitiva se vio que el esquema FAO no es un sistema de evaluación de tierras en sí mismo sino que constituye una guía, que es ajustable a cada situación particular.

Palabras clave: Suelo; *Eucalyptus*; Aptitud; Evaluación de tierras; Propiedades químicas de suelo; Propiedades físicas de suelo.

## VII. SUMMARY

In our country, the land for afforestation, as to be marginal for agriculture, have been poorly studied. With the aim of contributing to the knowledge of soils for forest production. We studied a particular case of the unit floor Tres Islas CONEAT Groups 8.3 and 8.12 In the farm Don Roberto (standard No. E-500) north-west of Cerro Largo. The study surveyed 960 have followed the classical methodology of surveying soils. The pattern of soils is the next in the upper parts there are sometimes small plains dominated Luvisols convexities very short (50-70 cm.) Or sometimes Inceptisols. These are strong slope interfluves dominated Inceptisols with scarps which agrees with the official description for the Group reported CONEAT 8.3. There is also a little convex below altimetric the high plains, predominantly Luvisols and purified as in the slopes of these convexities (which are quite soft) these soils are reddish brown and more yellow. In short, it succeeded in establishing a map base and many of the measured parameters will be a foothold to monitor over time the soil resource. We also compared the data with existing information in the country on Unit Three floors Islands. A letter from the soil and then discuss the inferred properties and complex profiles of each unit tested two systems of land evaluation: the usability of the USDA, and the letter of release to *E. grandis* of the property that follows the guidelines of the scheme presented by FAO in 1976. They were the faults and virtues of both systems. The USDA classification proved to be more general and easily understandable given that 60% of the land is arable, the rest and the main limitation of these lands is the risk of erosion. On the other hand, the scheme allowed FAO to make better use of information generated for this area. Under this scheme 70% of the land is suitable for afforestation with *E. grandis* and is an area sufficiently large to complete the development of commercial scale activity at the site. In short, the FAO found <sup>that</sup> the scheme is not a land evaluation system in itself but is a guide that is adjustable to each individual situation.

Keywords: Soil; *Eucalyptus*; Aptitude; Land evaluation; Soil chemical properties; Physical properties of soil.

### VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. ACEVEDO, D. C.; ÁLVAREZ SÁNCHEZ, M. E.; HERNÁNDEZ ACOSTA, E.; MALDONADO TORRES, R.; PÉREZ GRAJALES, M.; CASTRO BRINDIS, R. 2008. Variabilidad espacial de propiedades químicas del suelo y su uso en el diseño de experimentos. *TERRA Latinoamericana*. 26(4): 317-324.
2. ACUÑA, E.; POCH, R. M. 2001. Variabilidad de propiedades físicas de suelos forestales aplicación a la cuenca rasa de Cogulers. *El Solsonés, Prepirineo Catalán. Edafología*. 8(3): 11-23.
3. ANDREONI, I. 2010. Evaluación del incremento generado, en la cadena forestoindustrial, por el uso de materiales genéticos mejorados de *Eucalyptus grandis* para producción de celulosa. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 86 p.
4. BLACK, C. A. 1965. Organic carbon. *In*: Sparks, D. L. ed. *Methods of soil analysis*. Madison, WI, American Society of Agronomy. pt. 2, s.p. (ASA. Agronomy no.9).
5. BOSSI, J. 1966. *Geología del Uruguay*. Montevideo, Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República. 450 p. (Ciencias no. 2).
6. \_\_\_\_\_; NAVARRO, R. 1991. *Geología del Uruguay*. Montevideo, Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República. t. 2. 966 p.
7. \_\_\_\_\_; FERRANDO, L.; MONTAÑA, J.; CAMPAL, N.; MORALES, H.; GANCIO, F.; SCHIPILOV, A.; PIÑEYRO, D.; SPRECHMAN, P. 1998. *Carta geológica del Uruguay*. Montevideo, MGAP. DSF. 1 disco compacto.
8. BRUSSA, C. 1994. *Eucalyptus*; especies de cultivos más frecuente en Uruguay y regiones de clima templado. Montevideo, Hemisferio Sur. 325 p.
9. CABRERA, M.; CAL, A. 2007. Cambios en propiedades físicas y químicas de suelos de la unidad Rivera al pasar de uso pastoril a forestal con *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) y *Pinus taeda* L. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 96 p.

10. CAFFERA, R.; CÉSPEDES, C.; GONZÁLEZ, A.; GUTIÉRREZ, O.; PANARIO, D. 1991. Hacia una evaluación de efectos ambientales de la forestación en Uruguay con especies introducidas. Montevideo, CIEDUR. 102 p. (Investigaciones no. 85).
11. CALIFRA, A.; RUIZ, A. s.f. Relevamiento de suelos. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. 13 p. Consultado 30 jul. 2009. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/>
12. \_\_\_\_\_; TARO, G. 1982. Caracterización de una toposecuencia de suelos representativos de la cuenca de Aceguá (Dpto. cerro Largo). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 261 p.
13. CAORSI, J.; GOÑI, J. 1958. Geología uruguaya. Montevideo, Ibid. v. 38, 70 p.
14. CASANOVA, M. s.f. Materia orgánica. (en línea). Concepción, Universidad de Chile. 6 p. Consultado 28 may. 2010. Disponible en [http://agronomia.uchile.cl/web/manuel\\_casanova/mat\\_orgf.pdf](http://agronomia.uchile.cl/web/manuel_casanova/mat_orgf.pdf)
15. CÉSPEDES, C. 2007. Dinámica de la materia orgánica en relación con algunos parámetros fisicoquímicos de un Mollisol, en la conversión de praderas a cultivo forestal en la zona de Piedras Coloradas - Algorta (Uruguay). Tesis de doctorado. Toulouse, France. Institut National Polytechnique de Toulouse. 287 p.
16. COX, F.; PETERS, R.; PRODAN, M.; REAL, P. 1997. Mensura forestal, proyecto IICA/GTZ sobre agricultura, recursos naturales y desarrollo sostenible. San José, Costa Rica, IICA. 561 p.
17. CUETO, G. 2005. Estudio de las relaciones sitio-especie para *E. globulus ssp. globulus* en parada Arteaga, departamento de Florida. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 106 p.
18. CURSO INTERNACIONAL MANEJO DE AGUA EN FRUTALES (1990, Chillán). 1990. Textos. Concepción, Universidad de Concepción Chillán. Facultad de Ciencias Agronómicas, Veterinarias y Forestales. Departamento de Ingeniería Agrícola. v. 2, 197 p.
19. DELGADO, S.; ALLIAUME, F.; GARCÍA PRÉCHAC, F.; HERNÁNDEZ, J. 2006. Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus* sp. sobre el recurso suelo en Uruguay. *Agrociencia* (Montevideo). 10(2): 95-107.

20. DIESTE, A. 1999. Caracterización de suelos de los departamentos de Río Negro y Rivera y evolución de sus propiedades al pasar del uso pastoril al forestal. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 102 p.
21. DURÁN, A.; ZAMALVIDE, J.; GARCÍA PRÉCHAC, F.; HILL, M. s.f. Propiedades físico-químicas de los suelos. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. 60 p. Consultado 30 jun. 2009. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/>
22. \_\_\_\_\_. s.f. Suelos del Uruguay. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p. Consultado 20 nov. 2009. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/>
23. \_\_\_\_\_. 1991. Los suelos del Uruguay. 1991. 2a. ed. Montevideo, Hemisferio Sur. 397 p.
24. \_\_\_\_\_.; GARCÍA, F.; LABELLA, S. 1992. Propiedades hídricas de los suelos. Montevideo, Facultad de Agronomía. 119 p.
25. \_\_\_\_\_.; CALIFRA, A.; MOLFINO, J. H. 1993. Suelos del Uruguay según Soil Taxonomy. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. 14 p. Consultado 30 jun. 2009. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/>
26. \_\_\_\_\_. ; IPPOLITI, G. 1997a. Composición mineral del suelo. Meteorización de minerales y rocas. Montevideo, Facultad de Agronomía. 27 p.
27. \_\_\_\_\_. 1997b. Factores y procesos de formación del suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 44 p.
28. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; ZAMALVIDE, P.; GARCÍA, F. 1997c. Propiedades físico químicas de los suelos. Montevideo, Facultad de Agronomía. 109 p.
29. \_\_\_\_\_. 1998. Contenido y distribución geográfica de carbono orgánico en suelos del Uruguay. Agrociencia (Montevideo). 2(1): 37-47.
30. \_\_\_\_\_. 2000. La cartografía de suelos CONEAT y sus posibilidades de utilización. Montevideo, Facultad de Agronomía. 14 p.
31. \_\_\_\_\_. 2003. Formación de suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 63 p.

32. \_\_\_\_\_. 2004a. Composición de suelo. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p. Consultado 28 jul. 2009. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/>
33. \_\_\_\_\_. 2004b. Morfología del suelo. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. 19 p. Consultado 29 jul. 2009. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/>
34. \_\_\_\_\_. ; GARCÍA, F. 2007a. Suelos del Uruguay; origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Hemisferio Sur. t.1, 334 p.
35. \_\_\_\_\_. ; \_\_\_\_\_. 2007b. Suelos del Uruguay; origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Hemisferio Sur. t. 2, 358 p.
36. FAO. 1976. A framework for land evaluation; soil resources development and conservation service. (en línea). Rome. 88 p. (F A O Soils Bulletin no. 32). Consultado 20 nov. 2009. Disponible en <http://www2.alterra.wur.nl/Internet/webdocs/ilripublicaties/publicaties/Pub22/pub22.pdf>
37. FERREIRA, A. 2001. Proyecto fortalecimiento de las capacidades para la implementación del sistema de áreas protegidas del Uruguay DINAMA/PNUD GEF 2005. Importancia global de la biodiversidad del Uruguay. Montevideo, DINAMA. p. 1.
38. FORSYTHE, W. 1975. Física de suelos; manual de laboratorio. San José, Costa Rica, IICA. 212 p.
39. GARCÍA, F.; DURÁN, A.; CALIFRA, A.; HILL, M. s.f. Propiedades hídricas. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. 122 p. Consultado 20 jul. 2009. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/>
40. \_\_\_\_\_. 1992. Conservación de suelos. Montevideo, INIA. 63 p. (Serie Técnica no. 26).
41. \_\_\_\_\_. ; PÉREZ BIDEGAIN, M.; CHISTIE, S. ; SANTINI, P. 2001a. Efecto de la intensidad de laboreo en el crecimiento aéreo y radicular de *Eucalyptus dunnii* y sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo. *Agrociencia* (Montevideo). 5 (1): 1-9.
42. \_\_\_\_\_. ; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2001b. Efecto de la intensidad de laboreo para la plantación de *Eucalyptus dunnii* sobre la acumulación de

biomasa aérea, el crecimiento radicular y algunas propiedades físicas y químicas del suelo. *Agrociencia* (Montevideo).1: 1-9.

43. GARMIN. 2007. Map source versión 6.13.4 ; world map. s.l. 1 disco compacto.
44. GEE, W.; BAUDER, J.W. 1979. Particle size analysis by hydrometer: a simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measurements of parameters. *Soil Science Society of American Journal*. 43:1004-1007.
45. GOOGLE. 2008. Imagen satelital del predio Don Roberto y alrededores. (en línea). s.l. Consultado 15 jul. 2009. Disponible en <http://www.googleEarth.com>
46. GRAF MÜLER, E. 1985. Comportamiento de un rodal de *Pinus radiata* en relación a factores de sitio (Aguas Blancas, departamento de Lavalleja). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 183 p.
47. GUROVICH, L. 1985. Fundamentos y diseño de sistema de riego. San José, Costa Rica, IICA. cap. 6, pp. 143-168.
48. JOBBÁGY, E. G.; JACKSON, R. B. 2003. Patterns and mechanisms of soil acidification in the conversion of grasslands to forests. *Biogeochemistry*. 64: 205-229.
49. JORNADAS DE ACTUALIZACIÓN TÉCNICA 10 AÑOS DE INVESTIGACIÓN EN PRODUCCIÓN FORESTAL (2010, Montevideo). 2010. Textos. Montevideo, Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Agronomía. Departamento de Suelos y Aguas. 59 p.
50. KAPLÁN, A.; LABELLA, S.; RUCKS, L.; DURÁN, A. 1990. Manual para la descripción e interpretación del perfil del suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 71 p.
51. MANRIQUE, L.A.; JONES, C.A.; DYKE, P.T. 1991. Predicting cation exchange capacity from soil physical and chemical properties. *Soil Science Society of American Journal*. 55:787-794
52. MARTINO, D.; BENNADJI, Z.; FOSSATI, A.; PAGLIANO, D.; VAN HOFF, E. 1997. La forestación con eucaliptos en Uruguay; su impacto sobre los recursos naturales y el ambiente. Montevideo, INIA. 24 p. (Serie Técnica no. 88).

53. MÉNDEZ, A. 2003. Evaluación del estado nutricional en plantaciones de *Eucalyptus globulus*, Labill, ssp. *globulus*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 87 p.
54. MOLFINO, J. H. 2009. Estimación del agua disponible en los grupos CONEAT. (en línea). Montevideo, MGAP. DGRNR. 15 p. Consultado 05 nov. 2009. Disponible en <http://www.cebra.com.uy/renare/adjuntos/2009/12/Memoria-Explicativa-AD1.pdf>
55. MONTGOMERY, P. H.; KLINGEBIEL, A. A. 1961. Land capability classification. Washington, D.C., USDA. 115 p.
56. NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Sparks, D. L. ed. Methods of soil analysis; chemical methods. Madison, WI, American Society of Agronomy. pt.3, pp. 961-1010.
57. NOTARO, J.; PALLOZZI, S. 1983. Determinación del crecimiento medio anual en diámetro y altura de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden en función de variables de suelo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 218 p.
58. PERDOMO, H.; RONCAGLIO, P. 2000. Estudio de la correlación entre características y cualidades de sitio y crecimiento en altura de algunos clones de Álamos. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 47 p.
59. PORTA CASANELAS, J.; LÓPEZ-ACEVEDO REGUERÍN, M.; ROQUERO DE LABURU, C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2º. ed. Madrid, Mundi-Prensa. 849 p.
60. PRICHETT, W. 1986. Suelos forestales ; propiedades, conservación y mejoramiento. México, D.F., Limusa. 634 p.
61. RAVERA, G. 2002. Crecimiento de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* en diferentes sitios y en relación al desarrollo radicular en el valle serrano del arroyo El Soldado, departamento de Lavalleja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 106 p.
62. SALVO, L.; DELGADO, S.; GARCÍA PRÉCHAC, F.; HERNÁNDEZ, J.; AMARANTE, P.; HILL, M. 2005. Régimen hídrico de un Ultisol arenoso

del noreste del Uruguay bajo plantaciones de *Eucalyptus grandis* vs. pasturas. In: Lobo, D.; Gabriela, D.; Soto, S. eds. Evaluación de parámetros y procesos hidrológicos en el suelo. Montevideo, UNESCO. pp. 65-70 (Documentos Técnicos en Hidrología no.74).

63. SGANGA, J. C. 1979. La forestación en la conservación de suelos. Montevideo, Ministerio de Agricultura y Pesca. 32 p.
64. \_\_\_\_\_. 1983. La aptitud forestal de los suelos del Uruguay. Revista de la AIA (Montevideo). 1(1): 44-54.
65. \_\_\_\_\_. 1994. Contribución de los estudios edafológicos al conocimiento de la vegetación en la R.O.U. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección General de Recursos Renovables. Dirección de Suelos. Boletín Técnico no. 13. 79 p.
66. SILVA, A. 2006. La materia orgánica del suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 39 p.
67. TERZAGHI, A.; SGANGA, J. C.; SZOGI, A. 1988. Manual para la evaluación de tierras. (en línea). Montevideo, MGAP. DGRNR. DSA. 66 p. Consultado 30 jun. 2010. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/renare/SuelosyAguas/Evaluaci%C3%B3n%20de%20Tierras.pdf>
68. THOMAS, G. W. 1982. Exchangeable cations. In: Page, A.L. ed. Methods of soil analysis; chemical and microbiologic properties. Madison, WI, American Society of Agronomy. pt. 2, pp. 159-165 (Agronomy Monograph no. 9).
69. \_\_\_\_\_. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D. L. ed. Methods of soil analysis; chemical methods. Madison, WI, American Society of Agronomy. pt. 3, pp. 475-490 (ASA. Agronomy no.9).
70. THOMAS SIMS, J. 1996. Lime requirements. In: Sparks, D. L. ed. Methods of soil analysis; chemical methods. Madison, WI, American Society of Agronomy. pt. 3, pp. 491-515 (ASA. Agronomy no.9).
71. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURA. NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. 1976. Soil survey manual. (en línea). Washington, D.C. s.p. Consultado 16 set. 2010. Disponible en <http://soils.usda.gov/technical/manual/contents/chapter2.html>

72. UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA (URUGUAY). FACULTAD DE AGRONOMIA. 1994. Relevamiento de suelos. Montevideo. 14 p.
73. URUGUAY. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. OFICINA DE PROGRAMACIÓN Y POLÍTICA AGROPECUARIA. COMISIÓN INTERMINISTERIAL DE DESARROLLO ECONÓMICO. SECTOR AGROPECUARIO. 1967. Plan nacional de desarrollo económico y social. Montevideo. v. 5, t. 1, 381 p.
74. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. COMISION NACIONAL DE ESTUDIO AGROECONOMICO DE LA TIERRA. 1979. Índices de productividad grupos CONEAT. Montevideo. 167 p.
75. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. DIRECCIÓN DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay; clasificación de suelos. Montevideo. t.1, 83 p.
76. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 1979a. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Montevideo. t. 2, 80 p.
77. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 1979b. Carta de reconocimiento de suelos el Uruguay. Montevideo. t. 3, 95 p.
78. \_\_\_\_\_. MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL. DIRECCIÓN NACIONAL DE METEOROLOGÍA. 2009. Estadísticas mensuales, para el periodo 1961-1990 de temperaturas, lluvias, días con lluvia, presión, humedad relativa, presión de vapor, velocidad de viento, etc., según Estación Meteorológica Melo. (en línea). Montevideo. Consultado 04 oct. 2009. Disponible en [http://www.meteorologia.com.uy/estadistica\\_climat.htm](http://www.meteorologia.com.uy/estadistica_climat.htm)
79. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. SERVICIO GEOGRÁFICO MILITAR. 1967. Fotografías aéreas a escala 1:20.000, no. 248-086, 248-087, 248-088, 248-037, 248-036. Montevideo. s.p.
80. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 1982. Carta topográfica a escala 1:50.000 F-17 Quebracho. Montevideo. s.p.
81. \_\_\_\_\_. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES. 1994. Índice de productividad grupos CONEAT. Montevideo. 182 p.

82. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2004. Croquis CONEAT del predio Don Roberto. (en línea). Montevideo. Consultado 11 jul. 2009. Disponible en <http://www.prenader/consultaconeat>
83. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2006. Actualización de la carta forestal del Uruguay con imágenes del año 2004. Montevideo. 27 p.
84. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2008. Compendio actualizado de suelos del Uruguay. Montevideo. 1 disco compacto.
85. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2010. Carta aptitud general de uso de la tierra. (en línea). Montevideo. 1 p. Consultado 30 jun. 2010. Disponible en [http://www.renare.gub.uy/suelos/map\\_separate-legend.phtml](http://www.renare.gub.uy/suelos/map_separate-legend.phtml)

IX. ANEXOS1. Anexo 1

Cuadro 30. Datos climáticos de estación Melo (1961-1990)

LATITUD: 32°22,1'S      LONGITUD: 54°11,6'W      ALTITUD: 100.36 m														
	PER.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TMED	61-90	23,2	22,8	20,8	17,2	13,9	11,1	11,5	12,4	14,1	16,9	18,9	21,7	17
TX	61-90	40,4	40	40,4	35,8	32,3	29,6	30	31,2	31,8	34,2	38,4	39,5	40,4
TN	61-90	1	3,6	0	-5	-5,9	-11	-7,8	-3,6	-4	-1,8	0,8	4	-11
TXM	61-90	30,5	29,7	27,3	23,6	19,9	17,2	17,1	18,3	20	23	25,9	28,4	23,4
TNM	61-90	16,5	16,6	14,6	10,6	7,1	5,3	6,2	7,1	8,7	11	13,2	14,8	11
HR	61-90	64	68	72	74	76	86	83	80	78	71	75	67	74
P	61-90	1011,1	1011,9	1013,7	1015,8	1016,9	1017,9	1018,6	1018,1	1017,5	1015,2	1012,9	1011,6	1015,1
HS	81-90	264,1	206	236,6	192,1	175,9	140,3	152,2	165,5	172,1	232,1	235,8	288,7	2461,4
PV	61-90	18,2	18,8	17,7	14,5	12	11,3	11,2	11,5	12,5	13,7	16,3	17,4	14,6
VEL	61-90	4,4	4,1	3,7	3,4	3,3	3,5	3,4	4	4,5	4,8	4,6	4,7	4
RR	61-90	105	115	96	79	99	95	129	112	121	102	103	83	1238
FRR	61-90	5	6	5	5	5	6	6	5	6	6	5	4	65
TME														
D	Temperatura Media, mensual o anual												grados Celsius (°C)	
TX	Temperatura Máxima absoluta del período, Mensual o anual												grados Celsius (°C)	
TN	Temperatura Mínima absoluta del período, Mensual o anual												grados Celsius (°C)	
TXM	Temperatura Máxima Media, mensual o anual												grados Celsius (°C)	
TNM	Temperatura Mínima Media, mensual o anual												grados Celsius (°C)	
HR	Humedad Relativa, media mensual o anual												porcentaje	
P	Presión atmosférica (al nivel medio del mar), media mensual o anual												Hectopascales (hPa)	
HS	Tiempo de insolación directa, acumulada por mes, media mensual o anual del período												horas (y décimas)	
PV	Presión de vapor, media mensual o anual												Hectopascales (hPa)	
VEL	Velocidad (del viento horizontal), media mensual o anual												Metros por segundo	
RR	Precipitación acumulada por mes, media mensual o anual del período												milímetros(mm)	
FRR	Días con precipitación >= 1 mm, media mensual o anual												número de días	

Fuente: URUGUAY. MDN. DNM (2009).

2. Anexo 2

Cuadro 31. Datos de textura y carbono orgánico del perfil D 12

Hori-zonte	espesor (cm)	Arena %	Limo %	Arcilla %	Carbono orgánico
A	27	65.1	20.4	14.5	1.3
AB	21	62.8	18.3	18.9	0.5
Bt	42	55.3	14.5	30.2	0.5
BC	10	34.9	22.5	42.6	0.5
Total	100				

Cuadro 32. Datos de capacidad de retención de agua disponible, textura, densidad aparente, porosidad del perfil D 12

Hori-zonte	CC peso	CMP peso	da	mm de agua en el espesor	Porosi-dad total %	Micro porosidad %	Macro Porosidad %
A	20.4	6.9	1.4	50.9	47.1	28.6	18.5
AB	16.2	7.7	1.5	26.2	44.3	23.9	20.4
Bt	20.4	12.1	1.5	51.6	44.8	29.9	14.8
BC	26.7	17.7	1.4	12.9	45.8	38.3	7.6
Total				141.6			

3. Anexo 3

Cuadro 33. Datos de textura y carbono orgánico del perfil D 11

Hori-zonte	espesor (cm)	Arena %	Limo %	Arcilla %	Carbono orgánico
A	47	56.7	26.9	16.4	1.3
AB	18	53.7	18.8	27.4	0.8
BA	12	47.4	18.7	33.9	0.6
Bt1	33	44.8	18.9	36.3	0.6
Bt2	30	45.0	20.0	35.0	0.5
BC	25	43.7	21.9	34.4	0.5
Total	165				

Cuadro 34. Datos de capacidad de retención de agua disponible, textura, densidad aparente, porosidad del perfil D 11

Hori-zonte	CC peso	CMP peso	da	mm de agua en el espesor	Porosi-dad total %	Micro porosidad %	Macro Porosidad %
A	22.3	8.2	1.4	92.2	47.6	30.9	16.6
AB	17.6	11.7	1.4	15.3	45.6	25.3	20.3
BA	22.5	13.9	1.4	15.0	45.5	32.5	13.0
Bt1	23.6	14.9	1.4	41.3	45.7	33.9	11.7
Bt2	23.1	14.4	1.5	38.2	45.1	33.7	11.4
BC	23.1	14.3	1.5	32.1	45.2	33.6	11.6
Total				234.1			

#### 4. Anexo 4

A continuación se presentan datos de una variante de la unidad Laderas altas convexas de San Gregorio (Lac\_Sg).

Cuadro35. Datos analíticos del perfil. Luvisol Ocrico Típico

Hori-zonte	Profundi-dad (cm)	pH		Materia orgánica %	Complejo de intercambio $\text{cmol}_c\text{Kg}^{-1}$				
		Agua	KCl		Ca	Mg	K	Na	Bases Totales
A	0-18	5.24	4.20	2.2	0.69	0.6	0.38	0.29	1.96
AB	18-50	4.85	4.04	1.6	0.91	0.39	0.21	0.30	1.81
BA	50-65	5.15	4.13	1.3	2.7	0.87	0.21	0.34	4.12
Bt	65-100	5.45	4.26	1.1	2.3	1.12	0.32	0.43	4.17
BC	>100	4.95	4.20	0.8	4.1	1.95	0.39	0.47	6.91

Cuadro 36. Complejo de intercambio del perfil Luvisol Ocrico Típico

Hori-zonte	Profundi-dad (cm)	Complejo de intercambio $\text{cmol}_c\text{Kg}^{-1}$			
		Al+H	CICs	SBpHs	SBpH8.2
A	0-18	0.66	4.58	74.89	36
AB	18-50	1.16	4.78	60.93	28
BA	50-65	0.73	8.97	85.02	43
Bt	65-100	0.43	8.77	90.73	48
BC	>100	0.68	14.5	90.98	48

5. Anexo 5

A continuación se presentan datos de una variante de la unidad Laderas suaves de la formación San Gregorio (Ls-Sg).

Cuadro 37. Datos analíticos del perfil Acrisol Ocrico típico

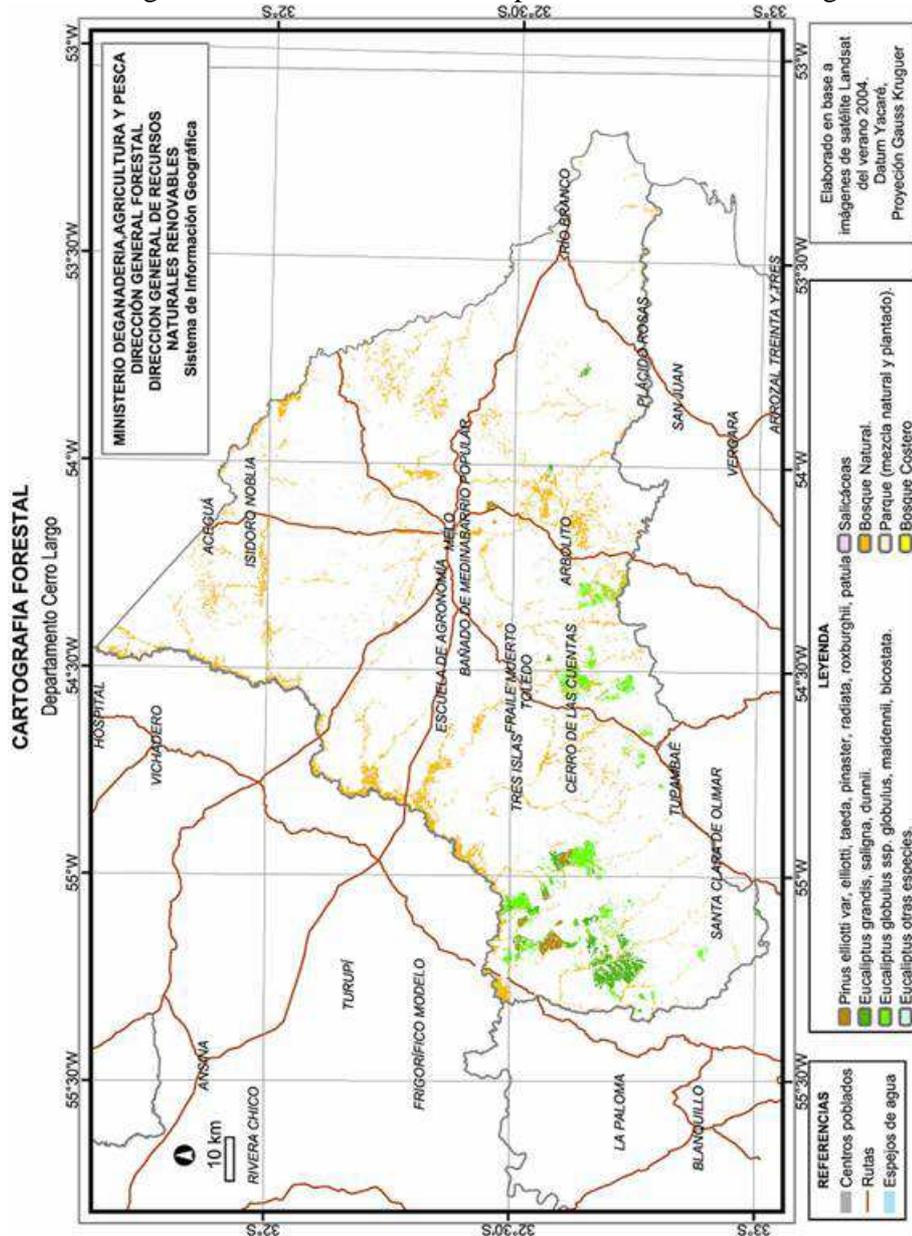
Horizonte	Profundidad (cm)	pH		Materia orgánica %	Complejo de intercambio $\text{cmol}_c\text{Kg}^{-1}$				
		Agua	KCl		Ca	Mg	K	Na	Bases Totales
A	0-38	5.08	4.07	2.2	1.6	0.5	0.22	0.31	2.63
B	38-48	5.42	4.06	0.8	1.38	0.58	0.12	0.44	2.52
Bt	>48	5.35	4.1	0.9	1.17	0.55	0.10	0.46	2.28

Cuadro 38. Complejo de intercambio del perfil Acrisol Ocrico típico

Horizonte	Profundidad (cm)	$\text{cmol}_c\text{Kg}^{-1}$			
		Al+H	CICs	SBpHs	SBpH8.2
A	0-38	1.23	3.86	68.1	32
B	38-48	1.52	4.04	62.3	29
Bt	>48	1.60	3.88	58.8	27

6. Anexo 6

Figura 18. Carta forestal del Departamento de Cerro Largo



Fuente: URUGUAY. MGAP. DGRNR (2006)

7. Anexo 7

- a. Capacidad de retener agua de forma disponible en los perfiles modales de las distintas unidades de suelo

Cuadro39. Estimación de Agua potencialmente disponible para las plantas en el perfil de suelo D\_1, porosidad, y densidad aparente

Horizonte	Esp. (cm)	CC peso	CMP peso	da*	mm de agua /10cm	mm de agua/horizonte	PT (%)	Microp. (%)	Macro p. (%)
A	20	21,1	5,8	1,39	21,2	42,5	48	29	18
BA	10	17,4	8,9	1,40	11,9	11,9	47	24	23
Bt	20	22,4	13,7	1,40	12,2	24,4	47	31	16
<b>Total</b>	<b>50</b>					<b>78,8</b>			

\*da: densidad aparente según ecuación de Fernández, citado por Kaplán et al. (1990)

El horizonte Bt presenta un 16.3 % en volumen y un 32.8 % en peso de elementos gruesos (2-10 mm) gi, a. Estos elementos le estarían restando 3.98 mm de capacidad de retención de agua al horizonte Bt. Por tanto el perfil retendrá 74.78 mm de (APDN).

Cuadro40. Estimación de Agua potencialmente disponible para las plantas en el perfil D\_10, porosidad, y densidad aparente

Horizonte	Esp. (cm)	CC peso	CMP peso	da*	mm de agua/ 10cm	mm de agua/horizonte	PT (%)	Microp. (%)	Macro p. (%)
A	25	26,3	12,3	1,31	18,2	45,4	51	34	17
Bw	25	24,6	15,0	1,40	13,4	33,5	47	34	13
<b>Total</b>	<b>50</b>					<b>78,9</b>			

\*da: densidad aparente según ecuación de Fernández, citado por Kaplán et al. (1990)

El horizonte A presenta un 11.5 % en volumen y un 18 % en peso de fracciones más gruesas que arena gruesa (2mm) de gi - c (2-10mm), también tiene un 65.5 % en volumen y un 61.7 % en peso de gj. (10-50mm). Estos elementos gruesos le estarían quitando 5.23 mm de capacidad de retención de agua al horizonte A. Por tanto el perfil retendrá 74 mm de agua disponible.

Cuadro 41. Estimación de Agua potencialmente disponible para las plantas en el perfil Id H14-16, porosidad, y densidad aparente

Horizonte	Esp. (cm)	CC peso	CMP peso	da*	mm de agua/10cm	mm de agua/horizonte	PT (%)	Microp. (%)	Macroop. (%)
Au1	17	25	10	1	20	33	49	34	15
Au2	13	22	11	1	16	21	47	31	16
Btu1	17	20	12	1	11	18	46	28	17
Btu2	18	26	17	1	13	23	46	37	9
BC	15	23	16	1	11	16	46	33	13
Cgk	12	22	13	1	13	16	45	33	12
<b>Total</b>	<b>92</b>					<b>128</b>			

\*da: densidad aparente según ecuación de Fernández, citado por Kaplán et al. (1990)

Este perfil en 92 cm es capaz de retener 128 mm de (APDN) para las plantas, clasificándose como una retención alta según la clasificación de Molfino (2009).

Cuadro 42. Estimación de Agua potencialmente disponible para las plantas en el perfil D\_12, porosidad, y densidad aparente

Horizonte	Esp. (cm)	CC peso	CMP peso	Da*	mm de agua/10cm	mm de agua/horizonte	PT (%)	Microp. (%)	Macrop. (%)
A	47	22,3	8,2	1,4	19,6	92,2	47,6	30,9	16,6
AB	18	17,6	11,7	1,4	8,5	15,3	45,6	25,3	20,3
BA	12	22,5	13,9	1,4	12,5	15,0	45,5	32,5	13,0
Bt <sub>1</sub>	33	23,6	14,9	1,4	12,5	41,3	45,7	33,9	11,7
Bt <sub>2</sub>	30	23,1	14,4	1,5	12,7	38,2	45,1	33,7	11,4
BC	25	23,1	14,3	1,5	12,8	32,1	45,2	33,6	11,6
<b>Total</b>	<b>165</b>					<b>234,1</b>			

\*da: densidad aparente según ecuación de Fernández, citado por Kaplán et al. (1990)

El horizonte BC presenta un 3.2 % en volumen y un 3.9 % en peso de elementos gruesos (2-10 mm) gi, c - p. Estos elementos le estarían restando 1.03 mm de (APDN) al horizonte BC. Por tanto el perfil retendrá 233 mm de (APDN).

El resultado, según la clasificación de (APDN) de Molfino (2009), se califica como muy alta.

Cuadro43. Estimación de Agua potencialmente disponible para las plantas en el perfil D-11, porosidad, y densidad aparente

Horizonte	Esp. (cm)	CC peso	CMP peso	Da*	mm de agua /10cm	mm de agua/horizonte	PT (%)	Microp. (%)	Macrop. (%)
A	27	20,4	6,9	1,4	18,9	50,9	47,1	28,6	18,5
AB	21	16,2	7,7	1,5	12,5	26,2	44,3	23,9	20,4
Bt	42	20,4	12,1	1,5	12,3	51,6	44,8	29,9	14,8
BC	10	26,7	17,7	1,4	12,9	12,9	45,8	38,3	7,6
<b>Total</b>	<b>100</b>					<b>141,6</b>			

\*Da: densidad aparente estimada con la ecuación de Fernández, citado por Kaplán et al. (1990).

Con 141,6 mm el (APDN) es alta según la clasificación de Molfino (2009).

Cuadro 44. Estimación de Agua potencialmente disponible para las plantas en el perfil H 18-12, porosidad, y densidad aparente

Horizonte	Esp. (cm)	CC peso	CMP peso	Da*	mm de agua/10cm	mm de agua/horizonte	PT (%)	Microp. (%)	Macrop. (%)
A	32	21	7	1	20	64	47	30	18
(B)	19	19	10	1	12	23	46	27	20
Bt1(línea de piedras)	18	18	11	1	11	20	46	26	20
Bt2	21	21	13	1	12	25	45	30	15
C	30	17	9	2	12	36	43	26	17
<b>Total</b>						<b>167</b>			

\*Da: densidad aparente estimada con la ecuación de Fernández, citado por Kaplán et al. (1990).

El (APDN) es muy alta (>160mm) según la clasificación de Molfino (2009).

Cuadro 45. Estimación de Agua potencialmente disponible para las plantas en el perfil G18 07, porosidad, y densidad aparente

Horizonte	Esp. (cm)	CC peso	CMP peso	Da*	Mm de agua /10cm	mm de agua /horizonte	PT (%)	Microp. (%)	Macro p. (%)
<b>A1</b>	16	24	11	1	18	28	48	32	16
<b>A2</b>	22	22	10	1	17	38	47	31	16
<b>Bt<sub>1</sub></b>	25	20	19	1	1	2	47	27	20
<b>Bt<sub>2</sub></b>	24	28	19	1	13	31	46	41	5
<b>Ck:lodolitas/silt. Arenosos amarillos</b>	8	27	18	1	14	11	45	40	5
<b>Total</b>	<b>95</b>					<b>110</b>			

\*Da: densidad aparente estimada con la ecuación de Fernández, citado por Kaplán et al. (1990).

El agua potencial disponible neta es moderadamente alta (71-120) según la clasificación de Molfino (2009).