

Estimación del Agua Disponible en los grupos CONEAT

Metodología empleada

Octubre 2009

Ing. Agr. Juan Horacio Molfino
juanh.molfino@gmail.com
099-624534

1 – Introducción

El objetivo del presente informe es presentar los procedimientos empleados para estimar la capacidad de almacenaje de agua de suelos representativos de la cartografía CONEAT a nivel Nacional.

Esta consultoría surge de un acuerdo de trabajo entre el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Grupo de Agricultura Satelital) y el Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (Dirección General de Recursos Naturales Renovables).

La síntesis de este trabajo se presenta en una planilla Excel donde se expresa el método de cálculo y, como resultado final, el valor en milímetros del Agua Potencialmente Disponible Neta (APDN) para cada Unidad cartográfica (Grupo CONEAT, en adelante GC).

En la bibliografía se presentan las fuentes utilizadas para seleccionar los perfiles seleccionados así como los antecedentes de trabajos similares.

La cartografía CONEAT fue creada con el fin de delimitar áreas homogéneas definidas por su capacidad productiva en términos de lana y carne bovina y ovina en pie (Artículo 65 de la ley N° 13.695 del 24/10/1968). Esta capacidad productiva del campo natural se expresa por un índice relativo a la capacidad productiva media del país (índice CONEAT-IC). De acuerdo a esta concepción, si bien el recurso suelo juega un papel preponderante en la definición y en el valor (IC) de los GC, éstos no son estrictamente unidades cartográficas básicas de suelos. A pesar de que la cartografía CONEAT, expresada a escala 1/20.000, se presenta superpuesta a los padrones rurales, esto no significa que se trate de un levantamiento de suelos a nivel de padrones a esa escala.

Para este trabajo se asigna a cada GC un perfil de suelo para calcular la capacidad de agua disponible pero no se pretende transformar, a través de la asignación de un suelo representativo a cada GC, a la cartografía CONEAT en una carta de suelos. No sería científico caracterizar con un perfil por GC varios miles de hectáreas, por lo que la información que surge de este trabajo no es aplicable directamente a nivel de padrón. Se puede utilizar como referencia pero siempre debe ser verificada con estudios de campo en cada caso según la variabilidad de los suelos existentes en cada padrón.

El producto final, expresado en milímetros de Agua Potencialmente Disponible Neta (APDN), será de utilidad para confeccionar el balance hídrico correspondiente a cada GC. En la medida en que se dispone la cartografía CONEAT a escala 1/20.000, el valor de APDN permitirá, por ejemplo, ajustar el balance y proponer políticas diferenciales según zonas ante eventos de déficit hídricos y, junto a interpretaciones de imágenes satelitales (índice verde entre otras), diseñar alternativas tecnológicas adecuadas con un interesante nivel de detalle. El respaldo legal que posee el CONEAT facilitaría orientar esas políticas.

Puesto que, a pesar de imperfecciones en algunos límites debidas a problemas de escala de trabajo del CONEAT, los GC son áreas relativamente homogéneas, es posible utilizar el dato de APDN en modelos de simulación para estimar cosechas, diseñar sistemas de producción sustentables, así como para prevenir o mitigar los efectos adversos de situaciones climáticas actuales y futuras. Estas simulaciones se podrán extender a nivel nacional pero no deberían aplicarse a nivel predial sin antes realizar verificaciones de campo para definir el padrón de suelos en cada caso.

2 – Materiales y Métodos

2 a – Materiales

Se trabajó a partir de bases de datos de suelos correspondientes a las siguientes Cartas de Suelos, misiones internacionales y tesis:

- Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, escala 1/1 millón
- Compendio Actualizado de Información de Suelos del Uruguay
- Cartas de Reconocimiento de Suelos a escala 1/200 mil de los departamentos de Colonia, Soriano y Río Negro y de la Cuenca de la laguna Merín
- Cartas de Reconocimiento de Suelos a escala 1/100 mil del departamento de Canelones, del sur del departamento de San José, de la Cuenca del río Cuareim y ftoplano F 21 del departamento de Treinta y Tres.
- Cartas detalladas de suelos a escala 1/20.000 de las estaciones experimentales de INIA “Estanzuela”, “Glencoe”, “La Magnolia”
- Misión conjunta USDA – FAGRO (Cátedra Suelos) – MGAP (Dirección de Suelos y Aguas) con el objetivo de caracterizar 18 perfiles en zonas representativas del Uruguay.
- Tesis de grado de estudiantes de FAGRO realizadas en la DSA del MGAP.

Gracias a esa información básica se seleccionaron los perfiles representativos para caracterizar cada uno de los 188 GC. En la segunda columna de la planilla Excel se identifica el perfil según la denominación utilizada en la Dirección de Suelos y Aguas del MGAP.

De estos perfiles se extrajeron los siguientes datos morfológicos, físicos y químicos: el espesor de los horizontes (expresado en centímetros), el contenido porcentual de las fracciones granulométricas de la tierra fina (hasta 2mm), es decir porcentajes de arena, limo y arcilla, y el porcentaje de carbono orgánico, que se traduce también en la planilla en porcentaje de materia orgánica.

Se utilizaron ecuaciones (Fernández, 1979 y Silva et al., 1988) para calcular los contenidos de humedad en equilibrio con las tensiones correspondientes a 1/10 atmósfera (Capacidad de Campo - CC), a 15 atmósferas (Coeficiente de Marchitez Permanente - CMP) y densidad aparente (d_a), a partir de contenidos porcentuales en peso de arena, limo, arcilla y materia orgánica de los horizontes del suelo.

Las ecuaciones utilizadas fueron:

$$CC \text{ (Horizontes A no arenosos)} = 21,977 - 0,168 (\text{Ar } \%) + 2,601 (\text{M.O } \%) + 0,127 (\text{Ac } \%)$$

$$CC \text{ (Horizontes A arenosos)} = 8,658 + 2,571 (\text{M.O } \%) + 0,296 (\text{L } \%)$$

Se consideró “arenoso” valores mayores a 59,6 % de arena en el horizonte A

$$CC \text{ (Horizontes B)} = 18,448 - 0,125 (\text{Ar } \%) + 1,932 (\text{MO } \%) + 0,295 (\text{Ac } \%)$$

$$CMP \text{ (Horizontes A o B)} = - 58,1313 + 0,3718 (\text{M.O. } \%) + 0,5682 (\text{Ar } \%) + 0,6414 (\text{L } \%) + 0,9755 (\text{Ac } \%)$$

$$D_a \text{ (g/cc)} = 3,6725 - 0,0531 (\text{M.O. } \%) - 0,0210 (\text{Ar } \%) - 0,0228 (\text{L } \%) - 0,0221 (\text{Ac } \%)$$

Esta fórmula de densidad aparente es la misma para los horizontes A y B.

En estas fórmulas, la arena (Ar), el limo (L), la arcilla (Ac) y la materia orgánica (M.O.), se expresan en porcentajes.

Una vez obtenidos los parámetros CC y CMP, se restó a los valores de CC los correspondientes a CMP para obtener el contenido potencial de almacenamiento de agua en peso para los diversos horizontes ($ADH = CC - CMP$). Luego se multiplicaron esos valores por las respectivas densidades aparentes y espesores para transformar los contenidos de humedad potencial disponible en peso a volumen y milímetros de acuerdo a las fórmulas siguientes:

$$AD_H (\% \text{ agua en peso}) = CC (\% \text{ agua en peso}) - CMP (\% \text{ agua en peso})$$

$$AD_H (\% \text{ agua en volumen}) = CC (\% \text{ agua en peso}) - CMP (\% \text{ agua en peso})$$

$$AD_H (\text{mm}) = ADH (\% \text{ agua en volumen}) \times da_H \times \text{espesor}_H / 10 \text{ cm}$$

$$AD_S (\text{mm}) = \sum ADH (\text{mm})$$

siendo

AD_H :	Agua Disponible de Horizonte
CC:	Capacidad de Campo (1/10 atmósfera)
CMP:	Coefficiente de Marchitez Permanente (15 atmósferas)
H%:	Porcentaje de humedad
da_H :	densidad aparente del horizonte
espesor_H :	espesor del Horizonte
AD_S :	Agua disponible del Suelo

Estos cálculos se realizaron partiendo de la base de que la constitución granulométrica de los horizontes es tierra fina (menor a 2 mm) en su totalidad.

De la misma forma, hay que tener siempre en cuenta que el dato de agua disponible en el suelo se refiere a un punto en el territorio (calicata) y que en este estudio se extiende ese dato al espacio ocupado por varios miles de hectáreas que ocupa cada CG.

Para ello se ajustó el valor del Agua Potencialmente Disponible del Suelo (APDS) tomando en cuenta factores tales como la rocosidad, la pedregosidad, el relieve, la erosión así como las restricciones químicas para el crecimiento de las plantas (por ejemplo, la alcalinidad). El producto final, luego de corregir el valor del APDS por los factores mencionados, constituye el APDN del GC.

2 b – Metodología

Se procedió a aplicar las fórmulas mencionadas para cada perfil seleccionado para cada GC.

A continuación se detallan las propiedades que se consideraron en los perfiles y en la superficie de los GC.

➤ Espesor del suelo y de cada horizonte

Al considerar el espesor del suelo se tuvo en cuenta la profundidad de arraigamiento de las especies de mayor valor forrajero (pasturas naturales y cultivadas) y de los cultivos agrícolas anuales (cerealeros y oleaginosos). Se excluyeron los cultivos hortícolas y

frutícolas por los movimientos de suelo (camellones) que implica su implantación, así como los forestales pues los árboles son capaces de arraigar en suelos moderadamente profundos apoyados sobre rocas fragmentadas. Estas situaciones no están contempladas en las fórmulas utilizadas.

En cuanto al espesor de los horizontes, no se siguió puntualmente un criterio morfológico. Para el espesor del horizonte A no se diferenciaron los diferentes sub horizontes (A_p , A_{u1} , A_{u2} , E, A/B e incluso en algunos casos algún B/A). Se sumaron esos sub horizontes hasta que apareciera una clara diferencia textural. Se procedió de esa forma pues se entendió que, al no existir importante concentración de arcilla, se daban condiciones favorables para el crecimiento de las raíces. Al efecto de los cálculos, los valores de arena, limo, arcilla y materia orgánica se ponderaron de acuerdo al espesor de cada sub horizonte. Hay que tener en cuenta, además, que los perfiles seleccionados fueron muestreados entre los años 1965 y 1985, en general en zonas prístinas bajo uso pastoril, por lo que el horizonte A puede ser según esos datos más espeso de lo que es actualmente.

En cuanto al horizonte B, se consideró un espesor tal que el perfil alcanzara entre 60 y 100 cm, profundidad que se estima alcanzan las plantas y cultivos considerados. En muchos casos los perfiles seleccionados no llegan a ese espesor. Eso se debe a la existencia de un contacto lítico y ausencia de B (roca dura - Litosoles), o al hecho de tratarse de un horizonte con alta proporción de gravas o rocas fragmentadas (Inceptisoles o Brunosoles gravillosos), o de un horizonte con alto porcentaje de arcilla expansiva (mayor a 45 %) o una transición abrupta del A al B (muchos Argisoles o Brunosoles Lúvicos), o de un horizonte con alto contenido de sodio en el complejo de intercambio (Solonetz, Solods o Brunosoles sódicos cuando la mayor concentración de Na ocurre en el B o tienen un pH alcalino desde la superficie).

➤ Rocosidad y pedregosidad

Se consideró la pedregosidad al interior del perfil pues las gravas, los cantos y otros fragmentos gruesos no constituyen tierra fina, y la que se encuentra sobre la superficie (trozos de rocas sueltas) pues ésta no permite almacenar agua.

De la misma forma, la rocosidad (afloramientos) tampoco permite retener el agua.

Estos son atributos vinculados al espacio delimitado por el GC y están fuertemente asociados entre sí. Por este motivo, se utilizaron los siguientes factores de corrección para ajustar el valor del ADS según estas características:

<u>Pedregosidad (P) y Rocosidad (R)</u>	<u>Factor de corrección</u>
Nulas (P y R < 5 %)	Valor de ADS x 1
Moderadas (P y R de 5 a 20 %)	Valor x 0.8
Altas (P y R alrededor de 40 %)	Valor X 0.75

Los porcentajes se refieren a volumen del suelo ocupado por gravas o cantos y a superficie del GC ocupada por afloramientos o piedras sueltas.

El resultado de la corrección por el factor es el APDN del GC.

A pesar de las variaciones que pueden presentar los afloramientos (por ejemplo, los que ocurren en Basalto y en Cristalino son claramente diferentes), esta forma de proceder tiene la ventaja de estandarizar las características mencionadas y permite evaluar con pautas comunes estos atributos asociados al terreno.

Cabe aclarar que expresamente no se quiso utilizar factores específicos para cada material generador (Basalto, Cristalino, San Gregorio, Tres Islas, Cretáceo, etc.) pues se perdería la visión de conjunto.

➤ **Relieve y topografía**

Estas características son también atributos asociados al espacio delimitado por cada GC. Su importancia es obvia pues, según la posición que ocupa el GC en el paisaje, es diferente el escurrimiento que afecta la infiltración en el perfil y por lo tanto la capacidad de almacenar agua del suelo.

Se utilizaron los siguientes factores de corrección para ajustar el valor del ADS según el relieve:

<u>Relieve- Topografía</u>	<u>Factor de corrección</u>
Zonas altas planas. Altiplanicies con pendientes entre 0 y 2 %.	Valor de ADS X 1
Laderas de lomadas, colinas y sierras, de forma en general convexa, de largo variable y con amplio rango de pendiente, desde 3 hasta 25 % y +.	Valor de ADS X 0.95
Planicies y valles, de forma general plano – cóncava y pendientes menores a 5 %.	Valor de ADS X 1.05

El producto final de la corrección por el factor es el APDN del GC.

Al igual que en el caso anterior, de lo que se trata es de estandarizar la característica del relieve de los GC.

La definición de la categoría “Laderas de lomadas, colinas y sierras” es, sin duda muy amplia. Se evitó subdividir esta categoría para simplificar las posibles situaciones. Es cierto también que a cada GC se le asignó una categoría en función de la descripción de la publicación CONEAT, pero el relieve que se puede observar en el campo en la mayoría de los GC es mucho más complejo que la definición que aparece en esa publicación.

➤ **Grado de erosión**

Para evaluar este atributo asociado al espacio delimitado por cada GC se utilizó la definición que se ofrece en la publicación CONEAT. En ella algunos pocos GC presentan “fases” por erosión, por ejemplo 10.6 a y b, 10.8 a y b, 9.6, 9.42, 9.42.

La presencia de cárcavas, aunque generadas tiempo atrás y a veces estabilizadas, deja en el terreno heridas que disminuyen sensiblemente la capacidad de almacenar el agua en el suelo. Lo mismo cabe señalar en relación a la presencia de surcos y suelos con pérdida de horizonte A.

La consideración de la erosión actual escapa a los objetivos de este trabajo. En todo caso debería ser un objetivo en cualquier plan de mejoramiento del CONEAT que conduciría a una nueva cartografía y elaboración de nuevos ÍC.

Hay que tener en cuenta, además, que dada la intensificación del uso de la tierra desde que se muestrearon las calicatas que se usan en esta base de datos, es posible que haya existido al menos cierta erosión laminar lo que no se traduce en la medición del espesor

del horizonte A de los perfiles seleccionados, salvo en los casos en que existía erosión en el momento de la descripción de la calicata.

Se utilizaron los siguientes factores de corrección para ajustar los valores de ADS según el grado de erosión y obtener el APDN del GC:

<u>Erosión</u>	<u>Factor de corrección</u>
Nula	Valor de ADS X 1
Ligera y Moderada	Valor de ADS X 0,85
Severa y Grave	Valor de ADS X 0,75

➤ Alcalinidad

Esta característica afecta el almacenamiento de agua en los suelos por la dispersión que provoca el sodio, lo que ocasiona pérdida de estructura con porosidad muy baja y permeabilidad extremadamente lenta; restringe además el crecimiento de algunas plantas y cultivos lo que se traduce en menores aportes de materia orgánica al perfil. Esta característica afecta en mayor medida al orden de suelos Halomórficos (Solonetz, Solods), pero también a algunos Brunosoles fase sódica con alto contenido de sodio en los horizontes inferiores.

Se asignaron los siguientes factores de corrección para ajustar los valores de ADS según alcalinidad:

<u>Alcalinidad</u>	<u>Factor de corrección</u>
Ausencia	Valor de ADS X 1
Áreas con alcalinidad que representan más del 30 % de la superficie del GC	Valor de ADS X 0,7

El producto final de la corrección por el factor es el APDN del GC.

➤ Arenas y cordones arenosos

Se refiere a GC ubicados en las cercanías del Río de la Plata, del Océano Atlántico o del Río Negro, con alta proporción de suelos poco desarrollados correspondientes al Gran Grupo de los Arenosotes u otros tipos de suelos que presentan un espesor significativo de arena sobre el perfil.

La presencia de arena en altas proporciones no está contemplada por las fórmulas utilizadas; además, disminuye sensiblemente la capacidad de almacenar agua.

Se utilizaron los siguientes factores:

<u>Arenas</u>	<u>Factor de corrección</u>
Ausencia	Valor de ADS X 1
Presencia	Valor de ADS X 0,75

El producto final de la corrección por el factor es el APDN del GC.

3 – Resultados

En la planilla Excel que se anexa queda documentada la información generada.

Una vez calculado el ADS de cada GC, a los efectos de extrapolar el dato al área global del GC, ese dato se corrigió por alguno de los factores mencionados (rocosidad-pedregosidad, relieve, erosión, alcalinidad, arenas). A pesar de que existen GC que pueden estar afectados por más de un factor, se introdujo sólo uno en cada caso, aquél que se consideró más importante.

En amarillo se resalta el factor por el cual se corrigió. El producto resultante genera el valor de Agua Potencialmente Disponible Neta (APDN) en milímetros del GC. En la penúltima columna de la planilla Excel se redondea el dato de APDN para cada GC.

En la columna “Fundamentación” se menciona la característica por la cual se corrigió por ser la más significativa o distintiva y, en algunos casos, se agregan otras características que posee el GC aunque no fueron utilizadas.

En la propuesta original estaba previsto contemplar más de un perfil en los GC muy heterogéneos y, por ese motivo, en la tercera columna de la planilla Excel se incluyó el % de ocupación de diferentes perfiles en el GC. En la medida en que se fue desarrollando el trabajo de consultoría y se profundizó en el tema de los factores de corrección explicados, no pareció necesario utilizar más de un perfil. Algunos ejemplos para fundamentar esta decisión:

- un GC que se desarrolla sobre Cristalino y presenta suelos profundos y superficiales; normalmente, los suelos profundos se desarrollan sobre sedimentos más o menos espesos, en tanto que los superficiales están asociados en general a rocosidad y pedregosidad. Al ajustar a ese GC por rocosidad (por ejemplo factor 0.8), indirectamente se está contemplando la existencia de los suelos superficiales.
- un GC que está compuesto por áreas menores con zonas altas aplanadas con suelos profundos (Planosoles) y laderas largas suavemente convexas con suelos moderadamente profundos (Brunosoles); en la medida en que en el conjunto del paisaje de ese GC dominan las laderas, el factor de corrección será por la posición de laderas (factor 0.95) pues, para el conjunto del GC, el APDN va a estar afectado en mayor grado por el escurrimiento que por el mayor espesor de los suelos de las zonas altas.
- en el caso de los GC con suelos halomórficos ocurre algo similar: si los Solonetz están asociados a un GC donde dominan los Planosoles, se calcula el ADS para los Planosoles y luego se corrige por el factor 0.7 de alcalinidad, sin necesidad de hacer correr la fórmula para los Solonetz.

A los efectos de facilitar el manejo de la información generada, se agruparon los valores de APDN en las siguientes clases:

<u>APDN (mm)</u>	<u>Clase</u>
Menor a 30	Extremadamente Baja
31 a 50	Baja
51 a 70	Media
71 a 120	Moderadamente Alta
121 a 160	Alta
Mayor a 161	Muy Alta

Algunas precisiones:

En algunos pocos GC de las Zonas CONEAT 3 y S09, al no existir calicatas representativas o porque la definición del GC en la publicación CONEAT no es muy clara o es muy similar a grupos vecinos, se extendió y/o asimiló el APDN de grupos similares. Tal es el caso de los GC 3.12, 3.13, 3.15, 3.30, 3.41, S09.11 y S09.22, que se colorearon en azul en la columna de APDN para distinguirlos de los APDN de los GC calculados que aparecen en amarillo.

En el anexo se presenta el APDN (mm) de cada GC.

4 – Discusión

La metodología empleada no se diferencia significativamente de los cálculos realizados para las Unidades de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay en trabajos precedentes, por lo que, salvo las diferentes escalas de trabajo si se agrupan los GC según las Unidades 1/1 M, la tendencia en los datos debería mantenerse, sobre todo si se compara a nivel del agrupamiento por clases. Esto se podría verificar analizando al azar, a través de un Sistema de Información Geográfica, repeticiones de cuadrados de 30 X 30 km en las 13 Zonas CIDE. Para ello debería seleccionarse un cierto número de cuadrados en cada zona y determinar en cada uno de ellos, el APDN en las Unidades 1/1 M y en los GC respectivamente; calculando el promedio de estos datos, ponderando según el área que ocupa cada Unidad o Grupo en la Zona, se podrían comparar los resultados en los valores de AD.

El trabajo realizado en esta consultoría tiene las ventajas de:

- asignar un perfil representativo a cada GC;
- transparentar las fórmulas para los diferentes parámetros que permiten el cálculo del APDN;
- conocer los espesores considerados para cada perfil;
- cuantificar los factores de conversión ya que, si bien es posible que se hayan simplificado situaciones muy complejas, al conocerse el procedimiento empleado, los valores se pueden afinar;
- fundamentar la aplicación de los factores de corrección para llevar el dato puntual (calicata) al área total ocupada por el GC;
- utilizar la escala de la cartografía CONEAT, que ofrece un nivel de detalle interesante para fijar políticas diferenciales apoyándose en el marco legal que tiene la estructura CONEAT.

5 – Bibliografía

- Álvarez, C., Cayssials, R. y Molfino, J.H. “Estimación del almacenaje de agua en las tierras de Uruguay - Primera aproximación”, in *II Seminario Nacional de Campo Natural*, Tacuarembó, Uruguay. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria-Sociedad Uruguaya de Pasturas Naturales-Facultad de Agronomía-Plan Agropecuario. Ed. Hemisferio Sur, Montevideo, 1990.
- Álvarez, C., May, H. Molfino, J.H. “Carta detallada de suelos de la Estación Experimental Glencoe INIA Tacuarembó”. MAP/DSF, Montevideo, 1974.
- Corsi, W. “Regionalización agroclimática de Uruguay para cultivos”. CIAAB-EELE-MAP, Montevideo, 1982.
- FAO – MGAP/DSA. “Zonificación de Tierras de la Cuenca del Río Cuareim. Carta digital de suelos a escala 1/100.000”. FAO, Santiago de Chile, 2001.
- Fernández, J.C. “Estimaciones de densidad aparente, retención de agua a tensiones de $-1/3$ y -25 bar y agua disponible en el suelo a partir de la composición granulométrica y porcentaje de materia orgánica”. Facultad de Agronomía (Universidad de la República), 2da. Reunión Técnica, Montevideo, 1979.
- Fernández, J.C., Corsi, W. y Sacco, G. “Capacidad de almacenamiento de agua de los suelos del Uruguay”. Facultad de Agronomía/CIAAB/Dirección de Suelos. Facultad de Agronomía (Universidad de la República). 2da. Reunión Técnica, Montevideo, 1979.
- Hofstadter, R. “Influencia de la composición mecánica y del contenido de materia orgánica sobre la disponibilidad de agua de los suelos”. Tesis Ing. Agrónomo. Facultad de Agronomía (Universidad de la República), Montevideo, 1973.
- MGAP/DGRNR/CONEAT. “Grupos de Suelos e Índices de Productividad”. MGAP, Montevideo, 1979.
- MGAP/DGRNR/DSA - INIA/FPTA. “Carta de suelos digital a escala 1/200.000 del departamento de Soriano”. MGAP, Montevideo, 1993.
- MGAP/DGRNR/DSA. “Carta de suelos a escala 1/100.000 de fotoplano F 21 del departamento de Treinta y Tres” (Base de datos). MGAP, Montevideo, 1992.
- MGAP/DGRNR/DSA – INIA/FPTA. “Carta de suelos digital a escala 1/ 200.000 del departamento de Colonia”. MGAP, Montevideo, 1996.
- MGAP/DGRNR/DSA – INIA/FPTA. “Carta de suelos digital a escala 1/200.000 del departamento de Río Negro”. MGAP, Montevideo, 2001.
- MGAP/DS. “Carta de Reconocimiento de suelos de los departamentos de Canelones y Montevideo a escala 1/100.000”. MGAP, Montevideo, 1982.
- MGAP/DS. “Carta de Reconocimiento de Suelos a escala 1/100.000 del sur del departamento de San José” (Base de Datos). MGAP, Montevideo, 1990.
- MGAP/DSA. “Compendio Actualizado de Información de Suelos del Uruguay” (Programa y Base de Datos en formato CD). MGAP, Montevideo, 2001.
- MGAP/DSA – IMT. “Carta de Reconocimiento de Suelos a escala 1/100.000 del departamento de Tacuarembó” (Carta digital con Base de Datos). MGAP, Montevideo, 2002.
- MGAP/DSF. “Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1/1.000.000”. MGAP, Montevideo, 1976.
- MGAP/DSF. “Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, Tomo III. Apéndice: Descripciones, datos físicos y Químicos de los suelos dominantes”. Dirección de Suelos y Fertilizantes. Montevideo, 1979.
- Molfino, J.H., Califra, A. “Agua disponible de las Tierras del Uruguay. 2da. Aproximación”. In página web MGAP/DGRNR/DSA/Depto. Estudios Básicos de Suelos, Montevideo, 2001.
- Proyecto SOTER – GLASOD, ISRIC - MGAP/DS. MGAP, Montevideo, 1988.
- Sganga, J.C. y Terzaghi, A. “Características físicas de los principales suelos agrícolas de Canelones – Montevideo; su interpretación agronómica. Parte II. Agua disponible

del suelo. Uruguay. Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos. Boletín Técnico N° 8. 1982

- Silva, A.; Ponce de León, J.; García, F.; y Durán, A. "Aspectos Metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua en los suelos del Uruguay". Facultad de Agronomía Boletín de Investigación N° 10, Montevideo, Uruguay, 1988.
- Sombroek, W. G. "Soil Studies in the Merim Lagoon Basin". Informe CLM/PNUD/FAO. Treinta y Tres, 1969.
- Tesis de grado de Ingeniero Agrónomo sobre caracterización de suelos: Sciarra y Uría, Cayota, Freiría y Petraglia, Califra y Taro. Facultad de Agronomía, Montevideo, 1980, 1981, 1982.

6 – Anexos

1) Se adjunta Planilla Excel con el cálculo realizado para cada GC en los perfiles seleccionados.

2) APDN expresada en milímetros de los GC ordenados según las clases definidas:

Extremadamente Baja (0 a 30 mm)

GC	APDN
1.10 b	18
2.10	19
1.12	25
8.15	26
1.11 a	28
1.11 b	29

Baja (31 a 50 mm)

GC	APDN
8.02 a	33
1.10 a	34
2.11 b	35
6.1/1	42
8.02 a	44
1.23	44
0.72	45
1.20	50

Media (51 a 70 mm)

GC	APDN	GC	APDN
9.8	52	1.22	63
5.01 a	55	9.7	65
9.42	56	09.5	65
09.2	56	8.3	65
2.11 a	57	5.01 c	65
5.01 b	58	11.1	66
5.02 a	58	9.9	66
07.1	59	S09.10	67
G03.22	59	1.25	68
S09.11	60	10.10	69
8.16	60	1.21	69
1.24	62	G10.1	70

Moderadamente Alta (71 a 120 mm)

GC	APDN	GC	APDN	GC	APDN
11.10	72	9.6	94	6.10 b	108
9.1	72	8.6	94	G10.10	109
3.50	73	6.2	95	11.2	109
2.12	73	6.8	95	6.9	109
10.14	74	6.17	95	6.16	109
7.1	74	7.41	97	2.21	109
03.52	74	4.2	97	12.22	109
09.1	75	10.13	98	S09.21	110
6.1/2	76	D10.1	99	03.6	110
D10.2	77	6.15	99	G10.5	112
9.41	78	5.4	100	5.3	112
S09.20	79	8.1	101	2.14	112
S09.22	80	6.12	101	G10.6 a	113
3.51	81	7.2	101	10.4	115
6.5	82	13.5	101	10.7	116
3.40	83	G10.6 b	102	6.6	116
10.6 b	84	6.4	102	8.10	117
6.1/3	84	6.7	102	12.10	117
10.8 a	86	11.4	104	S10.21	118
S10.11	86	09.4	104	3.53	118
11.3	86	6.13	104	4.1	118
12.20	86	6.14	104	13.1	118
8.7	88	D10.3	105	10.6 a	119
6.3	88	9.5	105	8.9	120
2.13	88	G10.7	106	8.12	120
5.02 b	89	9.2	106	6.11	120
G10.3	92	8.14	106		
S10.20	94	6.10 a	108		

Alta (121 a 60 mm)

GC	APDN	GC	APDN	GC	APDN
G10.4	121	8.8	129	G03.3	151
5.5	121	G10.2	130	13.4	151
13.31	121	3.52	133	7.33	154
8.4	122	03.3	136	13.32	154
10.9	123	9.3	137	10.1	156
10.15	125	12.21	137	G10.8	156
G10.9	125	11.7	139	11.5	156
S10.10	125	8.5	140	13.2	156
12.12	125	3.54	141	G03.21	158
10.3	126	11.8	142	12.11	158
09.3	126	10.16	143	S10.12	159
8.11	126	10.2	145	11.6	159
8.13	127	11.9	145	G03.10	160
2.20	127	10.12	150	2.22	160
10.8 b	129	7.32	150		

Muy alta (mayor a 161 mm)

GC	APDN	GC	APDN
B03.1	161	3.31	189
10.11	162	3.41	189
03.41	162	3.13	190
03.51	162	3.15	190
G03.11	165	3.10	201
03.2	167	3.14	201
10.5	169	03.10	204
S10.13	169	3.11	220
03.40	169	3.2	225
12.13	171		
3.12	180		
03.11	182		
3.30	185		
7.31	188		
7.42	188		