

911.-

# BIBLIOTECA FACULTAD DE AGRONOMIA

INFLUENCIA DE LA COMPOSICION MECANICA Y DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA  
SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA DE LOS SUELOS

Tesis

por Raúl Hofstadter

Facultad de Agronomía

Universidad de la República Oriental del Uruguay

1972

Este trabajo constituye el requisito final para la obtención del título  
de Ingeniero Agrónomo, orientación agrícola ganadera.

27 JUL 1973

# BIBLIOTECA FACULTAD DE AGRONOMIA

| INDICE                                                                                                                     | Página |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| INTRODUCCION .....                                                                                                         | 4      |
| Revisión bibliográfica.....                                                                                                | 4      |
| MATERIALES Y METODOS .....                                                                                                 | 8      |
| RESULTADOS Y DISCUSION .....                                                                                               | 9      |
| Características de los suelos.....                                                                                         | 9      |
| Influencia de la composición mecánica sobre el contenido de<br>agua a diferentes tensiones.....                            | 10     |
| Valor medio, rango de variación, y coeficiente de variación de<br>los valores de agua disponible determinados.....         | 13     |
| Comparación en la disponibilidad de agua entre suelos desarro-<br>llados sobre diferentes materiales madres.....           | 14     |
| Variación del agua disponible, agua fácilmente disponible y<br>cociente A.F.D./A.D. a través del perfil de los suelos..... | 15     |
| Efectos de la composición mecánica sobre la disponibilidad de<br>agua.....                                                 | 16     |
| Predicción del agua disponible a partir de la composición me-<br>cánica y contenido de materia orgánica de los suelos..... | 21     |
| CONCLUSIONES .....                                                                                                         | 22     |
| RESUMEN.....                                                                                                               | 23     |
| BIBLIOGRAFIA CITADA.....                                                                                                   | 24     |
| APENDICE.....                                                                                                              | 26     |

**Influencia de la composición mecánica y del contenido de materia orgánica sobre la disponibilidad de agua de los suelos.**

#### INTRODUCCION

El conocimiento de las diferentes constantes hidrológicas de los suelos, tal como la capacidad de agua disponible, es de importancia como información básica para la caracterización de suelos desde el punto de vista de su comportamiento como reservorio de agua para el crecimiento de las plantas.

La determinación de la capacidad de agua disponible de un suelo, requiere el conocimiento de la capacidad de campo y del coeficiente de marchitez permanente, los cuales son generalmente aceptados como el límite superior e inferior de agua disponible para las plantas.

Las determinaciones en el laboratorio del volumen de agua a capacidad de campo y en el punto de marchitez permanente exigen, aparte de una técnica algo engorrosa, cierto equipo no disponible generalmente en los laboratorios de suelos de nuestro país.

El propósito de este trabajo es cuantificar la relación que existe entre la composición mecánica y contenido de materia orgánica del suelo, con el agua disponible y otras constantes hidrológicas. También se intentó elaborar una ecuación de predicción que permita estimar la capacidad de agua disponible a partir de los datos de análisis mecánicos y de humus. Con este fin fueron seleccionados suelos que exhibieran un amplio rango de composiciones granulométricas y contenidos de humus, en los cuales se determinó el contenido de agua a diferentes presiones de succión.

#### REVISION BIBLIOGRAFICA

**Agua a capacidad de campo.**

Muchas tentativas se han realizado con el fin de determinar la capacidad de campo en el laboratorio, simulando el potencial del agua en el suelo y los valores que desarrolla en condiciones de campo.

Para muestras no perturbadas, con estructura natural, el contenido de agua retenido a 0.1 bars de presión, ha sido a menudo usado para este propósito, Slatyer (1967).

U.S.D.A. (1954), recomienda 0.3 bars como valor a usar con muestras secas y tamizadas.

Si bien es evidente que el dato de succión es de considerable valor en sí mismo, no hay una relación simple entre tales determinaciones y la determinación

de la capacidad de campo, por complicaciones debidas a diferenciación textural, zonas de impedimento de drenaje, etc., Slatyer (1967).

**Coefficiente de marchitez permanente.**

Briggs y Shantz citados por Slatyer (1967), condujeron un número grande de medidas en una gran variedad de plantas, y encontraron una variación pequeña en el contenido de agua del suelo al cual el marchitamiento ocurría.

Richards y Wadleigh citados por Slatyer (1967), han determinado que el potencial del agua en el suelo durante el marchitamiento se aproxima a valores entre -10 y -20 bars, con un valor promedio de -15 bars. En consecuencia el porcentaje de agua retenido a 15 bars, se ha identificado como el coeficiente de marchitez permanente y es frecuentemente usado como una guía de su estimación.

Slatyer citado por Slatyer (1967), ha criticado duramente el concepto del coeficiente de marchitez como una constante del suelo. El ha puntualizado que básicamente el marchitamiento ocurre debido a la pérdida de turgencia en las hojas, y que el punto de presión de turgencia asociado con la marchitez es dependiente con las características osmóticas de los jugos celulares en las hojas. En consecuencia, el marchitamiento ocurre cuando hay un balance dinámico entre el potencial del agua en el suelo, el potencial del agua en las hojas y la presión osmótica de los jugos celulares en las hojas. Este último valor puede variar entre 5 y 200 bars en las diferentes plantas, por lo que, puede ser esperado que el valor del potencial del agua en el suelo al cual el marchitamiento ocurre varíe en un rango similar, aunque para las plantas de cultivo en su mayoría el rango será más estrecho, correspondiendo a un valor entre -10 y -20 bars.

A pesar que las consideraciones anteriores enfatizan la debilidad de considerar el coeficiente de marchitez permanente como una constante del suelo, dos factores son los que ayudan a considerar su uso con propósitos prácticos:

- 1) En la mayoría de las plantas de cultivo el rango de presión osmótica de las hojas es sólo del orden de 10 a 20 bars, comparado con el rango más amplio si se considera el resto de las especies vegetales.
- 2) Debido a la forma de la curva potencial agua/contenido de agua, donde marcadas reducciones en el potencial del agua en el suelo debajo de -15 bars, se asocian con pequeños cambios en el contenido de agua.

### Agua disponible del suelo

Slatyer (1967), destaca que debe evitarse una interpretación literal de los datos de agua disponible. Esto se debe a que en un suelo cualquiera el incremento de la profundidad de arraigamiento en el perfil como un todo, puede compensar un estrecho rango de agua disponible de cada horizonte, o por el contrario, un impedimento en la distribución de raíces puede llevar a un suelo con amplio rango de agua disponible a presentar una pobre oferta de agua.

Asimismo, Jamison (1956), y Gardner (1960), citan varios factores que modifican el aprovechamiento por parte de la planta del agua disponible del suelo como ser, condiciones de la planta en cuanto a estado de crecimiento y nutrientes presentes en ella, concentración de oxígeno y anhídrido carbónico y temperatura que modifican la permeabilidad de las raíces.

**Influencia de la composición mecánica sobre el agua disponible.**

Todos los autores coinciden en destacar la correlación negativa existente entre el porcentaje de arena y el agua disponible. Así, Lund (1959), encuentra valores de  $-0.73$ , Abrol et al. (1967), de  $-0.91$  y Labella y Alvarez (1969), de  $-0.54$ .

Lund (1959), explica este hecho, diciendo que las partículas de arena forman poros demasiados grandes para que la tensión superficial pueda vencer la fuerza gravitacional y por lo tanto la capacidad de agua disponible es baja.

Similar acuerdo entre los autores ocurre respecto a la correlación entre la fracción limo y el agua disponible. Si bien los valores del coeficiente de correlación varían ampliamente entre los distintos autores, éstos recalcan su valor positivo y significativo, Jamison y Kroth (1958), Lund (1959), Bartelli y Peters (1959), Abrol et al. (1967), Labella y Alvarez (1969).

Lund (1959), atribuye el efecto a que los poros formados entre partículas de limo están en rangos de tamaño que retienen el agua en forma disponible para las plantas.

Abrol et al. (1967), explican el efecto de la fracción limo, por ser ésta la fracción del suelo que contribuye a la retención de agua a 0.33 bars.

Jamison y Kroth (1958), llegan a la conclusión que las partículas del suelo que entregan la mayoría del agua por unidad de volumen entre 0.33 y 15 bars de succión, están en el rango del tamaño de la fracción limo. Usando la fórmula aproximada derivada de la ecuación de ascenso capilar,  $D = 3000/S$ , donde  $D$  es el diámetro efectivo de poros en micras y  $S$  la presión de succión en cm. de agua, los límites de tamaño de poro efectivo entre 0.33 y 15 bars

pueden ser estimados en alrededor de 10 y 0,2 micras respectivamente.

Un estudio de agregados del suelo realizado por Bradfield y Jamison citados por Jamison y Kroth (1958), indica que el tamaño de partícula es alrededor de 5 veces más grande que los diámetros efectivos asociados.

Con respecto a la influencia de la arcilla sobre el agua disponible, Jamison y Kroth (1958), y Abrol et al. (1967), encontraron correlaciones negativas entre éstas dos variables. Otros autores como Lund (1959), Bartelli y Peters (1959), y Labella y Alvarez (1969), obtuvieron valores de correlación próximos a 0.

Bartelli y Peters (1959), explican la ausencia de correlación por la importancia de la fracción arcilla en la retención de agua a altas tensiones, mayores a 15 bars. Lund (1959), dice que las partículas de arcilla por ellas mismas forman poros tan pequeños que las presiones de succión son mayores que la que la planta puede vencer para la obtención de agua.

**Influencia de la materia orgánica sobre el agua disponible del suelo**

Jamison y Kroth (1958), encontraron que el agua disponible se incrementa generalmente con la materia orgánica, pero debido a que ésta se incrementa con el limo grueso y decrece con la arcilla el efecto puede ser atribuido a cambios texturales. Sólo en un grupo de muestras que contienen entre 13% y 20% de arcilla hay evidencia que la materia orgánica puede mejorar el almacenamiento de agua disponible, posiblemente formando microagregados del tamaño del limo en la arcilla. Este efecto no es aparente en suelos dominados por componentes texturales finos y con bajo contenido de materia orgánica.

Bartelli y Peters (1959), indican que la influencia de la materia orgánica sobre el agua disponible es mayor en suelos de texturas gruesas. En suelos con alto contenido en arcilla y limo, la materia orgánica pierde su efecto modificador.

Lund (1959), atribuye a la materia orgánica un efecto benéfico en el movimiento del agua. Dice que la materia orgánica tiene una mayor capacidad de retención que la fracción arena.

Jamison, citado por Jamison y Kroth (1958), encontró que excepto para suelos arenosos, la materia orgánica no incrementa la capacidad de agua disponible del suelo.

Faustel y Byers, citados por Jamison y Kroth (1958), encontraron que la retención de agua por suelos orgánicos en el punto de marchitez es alta. Miller y Turk (1951), por el contrario encuentran más agua disponible en suelos no cultivados comparados con campos cultivados, y atribuyen la diferencia

al alto contenido de materia orgánica de las muestras provenientes de suelos no cultivados.

#### MATERIALES Y METODOS

Se estudiaron en el presente trabajo los horizontes representativos de 20 suelos. Estos suelos son los siguientes: Las Toscas II, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>, Rivera I, Rivera II, Coquimbo, 51/9, 51/8, CF<sub>11</sub>, CF<sub>2</sub>, 51/16, 51/17, M7A2, MgA<sub>11</sub>, MgA<sub>13</sub>, M<sub>14</sub>A<sub>1</sub>, M<sub>17</sub>A<sub>1</sub>, M<sub>21</sub>A<sub>11</sub>, 43/1, y 43/9, cuyas descripciones se encuentran archivadas en el Programa de Estudios y Levantamiento de Suelos, Montevideo, Uruguay.

Los análisis mecánicos fueron realizados mediante el Método Internacional de la Pipeta, Cuerso de Física de Suelos (1958).

El contenido de materia orgánica fue determinado usando la técnica de Walkley-Black, Jackson (1964).

El porcentaje de agua retenida a 0.33 y 1 bar fue determinado mediante un extractor a presión con platos de porcelana de conductividad hidráulica mayor a un cm. hora<sup>-1</sup>. bar<sup>-1</sup> y presión de burbujeo entre 1 y 2 bars.

El porcentaje de agua retenido a 15 bars se determinó con el mismo aparato usando platos de porcelana con presión de burbujeo mayor de 15 bars.

Las muestras fueron molidas y pasadas a través de un tamiz de orificios redondos de 2 mm. de diámetro, luego de estar saturadas con exceso de agua durante 24 horas se aplicó la presión deseada.

La cantidad de agua fue determinada gravimétricamente después que los suelos alcanzaban el equilibrio, para lo cual requerían entre 48 y 72 horas, y expresada en base a peso seco, Richards (1964), y U.S.D.A. (1954).

El agua disponible fue hallada por diferencia entre la retenida a 15 bars y a 0.33 bars. Se calculó también por diferencia el agua retenida entre 0.33 y 15 bars, y se llamó agua fácilmente disponible.

El análisis estadístico de la información fue realizado a través de correlaciones simples y parciales entre las variables en cuestión.

Usando el Step Wise Multiple Regression Program se ajustó un modelo de regresión lineal con el fin de poder estimar el agua disponible de los suelos a partir de los datos de análisis mecánico y contenido de materia orgánica.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Características de los suelos.

En el cuadro N°20 se presentan para cada suelo, el material madre, sus horizontes, espesor de estos, composición mecánica y porcentaje de materia orgánica de los mismos.

Dentro de los materiales madres de los suelos estudiados, se distinguen tres tipos principales que originan suelos de diferente composición mecánica. Las areniscas dan lugar a suelos con elevado contenido de fracción arena; los valores de esta fracción oscilan entre 63.9% - 90.4% en los horizontes superficiales y entre 46.2% y 78.2% en los horizontes profundos. La variación en el contenido de arena, se realiza en función del incremento o disminución del contenido de la fracción arcilla según el grado de diferenciación del suelo. Estos suelos tienen contenidos de limo muy bajos, entre 1.9% y 18.7%.

El contenido de materia orgánica es pobre. Los horizontes superficiales muestran valores entre 0.55% y 3.47%. En los horizontes profundos el rango de variación de los contenidos de materia orgánica es de 0.05% - 1.70%.

Las lodolitas arenosas desarrollan suelos que presentan una composición mecánica con porcentajes de fracción arena elevados, pero cuyo contenido de limo es generalmente superior al de los suelos sobre areniscas. Los contenidos de limo tienen un rango de variación entre 11.4% y 27.9%. Los contenidos de materia orgánica son más elevados que los de los suelos citados anteriormente.

Finalmente, los suelos provenientes de lodolitas presentan contenidos elevados de fracción limo, entre 31.1% y 57.3% y una baja proporción de fracción arena, la cual supera el 20% solamente en uno de los horizontes considerados.

Estos suelos muestran contenidos de materia orgánica generalmente superiores a los de los suelos detallados anteriormente, alcanzando un valor máximo de 7.52%.

Vistos en conjunto, los suelos estudiados, poseen una extensa gama de variación en los porcentajes de fracción arcilla, desde valores de 7.4% en horizontes superficiales hasta 54.6% en horizontes B texturales.

Con el fin de conocer la variación que presentan las diferentes fracciones granulométricas y los porcentajes de materia orgánica a través de los diferentes horizontes, se calculó la desviación típica y el coeficiente de variación de estas variables. Los valores calculados los muestra el cuadro N°1.

**Cuadro N°1**

**Desviación típica y coeficiente de variación de las fracciones granulométricas y del contenido de materia orgánica.**

| <b>Fracción</b>       | <b>Desviación típica</b> | <b>Coeficiente de variación(%)</b> |
|-----------------------|--------------------------|------------------------------------|
| Arena                 | 24.78                    | 50                                 |
| Limo                  | 15.39                    | 76                                 |
| Arcilla               | 13.62                    | 45                                 |
| % de materia orgánica | 1.70                     | 106                                |

**Influencia de la composición mecánica sobre el contenido de agua a diferentes tensiones**

Como se observa en el cuadro N°21 existen grandes diferencias en los valores de porcentaje de agua retenida a 0.33, 1 y 15 bars. La composición mecánica aún en rangos muy estrechos de variación ejerce una gran influencia sobre estos valores.

Los porcentajes de agua retenida a 0.33 bars (espacidad de campo), oscilan entre 3.50% y 45.89% u/w.

Los valores de porcentaje de agua retenida a un bar varían entre 2.45% y 39.45% u/w, mientras que el agua retenida a 15 bars (coeficiente de marchitez permanente) varía entre 1.95% y 32.40% u/w.

Los valores más bajos de agua retenida a las tres tensiones considerados, se asocian a los horizontes con mayor contenido de arena, ya que esta fracción es incapaz de retener agua a los valores de tensión usados en este trabajo. Se puede demostrar esta apreciación considerando la fórmula aproximada derivada de la ecuación de ascenso capilar,  $D = 3000/S$ , donde  $D$  es el diámetro efectivo de poros en micras y  $S$  la presión de succión expresada en cm., Jamison y Kroth (1958).

Para la menor tensión investigada en este trabajo, 0.33 bars, el máximo diámetro de poros capaz de retener agua a esta tensión es de 8.7 micras.

Si consideramos que el tamaño de partícula es 5 veces mayor que los diámetros efectivos asociados, Bradford y Jamison, citados por Jamison y Kroth (1958), el tamaño de fracción asociado a poros de 8.7 micras de diámetro es de 43.5 micras.

La fracción arena se integra por partículas comprendidas entre 50 y 2000 micras, por lo que el tamaño mínimo de esta fracción está por encima del valor de 43.5 micras calculado. Se demuestra entonces que la arena forma poros cuyo tamaño excede el requerido para retener agua a tensiones correspondientes a la capacidad de campo del suelo.

Con el fin de cuantificar la relativa influencia de las diferentes fracciones granulométricas sobre el porcentaje de agua a diferentes tensiones, se calcularon las correlaciones simples entre estas variables.

Cuadro N°2

Correlaciones simples entre fracciones granulométricas y porcentajes de agua a diferentes tensiones.

| Datos usados        | Grados de libertad | Correlación entre agua a 0.33 bars y Arcilla Limo Arena |      |       | Correlación entre agua a 1.0 bar y Arcilla Limo Arena |      |       | Correlación entre agua a 15 bars y Arcilla Limo Arena |      |       |
|---------------------|--------------------|---------------------------------------------------------|------|-------|-------------------------------------------------------|------|-------|-------------------------------------------------------|------|-------|
|                     |                    |                                                         |      |       |                                                       |      |       |                                                       |      |       |
| Total               | 63                 | 0.90                                                    | 0.77 | -0.92 | 0.92                                                  | 0.71 | -0.89 | 0.90                                                  | 0.70 | -0.88 |
| Hor. A <sub>1</sub> | 19                 | 0.99                                                    | 0.94 | -0.90 | 0.98                                                  | 0.91 | -0.87 | 0.95                                                  | 0.86 | -0.83 |
| Hor. B <sub>2</sub> | 19                 | 0.86                                                    | 0.87 | -0.94 | 0.86                                                  | 0.87 | -0.94 | 0.85                                                  | 0.87 | -0.94 |

Todos los valores son significativos al nivel 0.01.

En el cuadro N°2 se destaca la alta correlación negativa entre la fracción arena y el porcentaje de agua a todas las tensiones consideradas. Se verifica que el tamaño de los espacios que deja entre sus partículas la fracción arena no posibilita la retención de agua por capilaridad. Tanto la arcilla como el limo presentan alta correlación positiva con el porcentaje de agua retenido a 0.33 bars. Este hecho concuerda con lo hallado por otros autores tales como, Bartelli y Peters (1959), Abrol et al. (1967).

La influencia del contenido de arcilla en el porcentaje de agua retenida a 0.33 bars, varía de acuerdo a la cantidad de arcilla presente en el suelo. En efecto, se comprueba que el valor del coeficiente de correlación calculado a partir de muestras con contenido de arcilla menor a 25% difiere del calculado con muestras cuyo porcentaje de esta fracción sea superior. El cuadro N°3 muestra los valores de estas correlaciones. La elección del valor de 25% de arcilla como división entre los dos grupos de muestras se basó en lo hallado por Abrol et al (1967), que la influencia del contenido de arcilla en el porcentaje de agua retenida a 0.33 bars varía según el suelo contenga más o menos de 25% de arcilla.

## Cuadro N°3

Correlaciones parciales entre la fracción arcilla y el porcentaje de agua retenida a 0.33 bars.

| Variable correlacionada con el % de agua a 0.33 bars | Variables eliminadas     | r                  | Grados de libertad |
|------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|
| Arcilla, muestras con más de 25% de arcilla          | Aren <sup>a</sup> , limo | 0.82 <sup>86</sup> | 34                 |
| Muestras con más de 25% de arcilla                   | Aren <sup>a</sup> , limo | -0.10              | 23                 |

<sup>86</sup> P < 0.01.

Bertolli y Peters(1959), concluyen también que la arcilla tiene mayor influencia en el contenido de agua a tensiones de 0.33 bars, cuando su valor porcentual en la muestra es bajo.

Considerando las relaciones entre agua retenida a 15 bars con las fracciones limo y arcilla, esta última presenta un valor del coeficiente de correlación comparado con el limo. Esto sucede cuando se usa para el cálculo de la correlación el total de los horizontes y el horizonte A<sub>1</sub>. Si para el cálculo de la correlación se usan los datos de los horizontes B<sub>2</sub>, el valor de la correlación arcilla - agua a 15 bars tiende a bajar, indicando que a valores altos del porcentaje de arcilla en las muestras, como el que presentan los horizontes B<sub>2</sub>, la correlación es menos estrecha (Cuadro N°2). Este hecho queda corroborado comparando los valores de correlación entre arcilla y agua a 15 bars usando muestras con contenidos de arcilla menores de 25% y muestras con contenidos superiores a ese porcentaje (Cuadro N°4).

## Cuadro N°4

Correlaciones parciales entre la fracción arcilla y el porcentaje de agua retenido a 15 bars.

| Variable correlacionada con el % de agua a 15 bars | Variables eliminadas     | r                  | Grados de libertad |
|----------------------------------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|
| Arcilla, muestras con más de 25% de arcilla        | Aren <sup>a</sup> , limo | 0.81 <sup>86</sup> | 34                 |
| Arcilla, muestras con más de 25% de arcilla        | Aren <sup>a</sup> , limo | -0.11              | 23                 |

<sup>86</sup> P < 0.01.

Que la arcilla exhibe valores de correlación mayores que la fracción limo, con el porcentaje de agua retenido a 15 bars, concuerda con el hecho de que la retención de agua a altas tensiones es una función de las superficies adsorptivas y la arcilla, es la principal fracción que contribuye como factor de disponibilidad de dichas superficies de adsorción; Abrol et al. (1967).

Como el limo y la arcilla se hallan correlacionados positivamente ( $r = 0.92$ ), es útil eliminar alternativamente cada una de las variables en el estudio de las correlaciones, a través del uso de correlaciones parciales.

#### Cuadro N°3

Correlaciones parciales entre fracciones granulométricas y constantes hidrológicas.

| Variables correlacionadas  | Variables eliminadas | r                  | Grados de libertad |
|----------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| Arcilla y agua a 15 bars   | Arenas, limo         | 0.66 <sup>00</sup> | 61                 |
| Limo y agua a 15 bars      | Arenas, arcilla      | 0.30 <sup>00</sup> | 61                 |
| Arcilla y agua a 0.33 bars | Arenas, limo         | 0.75 <sup>00</sup> | 61                 |
| Limo y agua a 0.33 bars    | Arenas, arcilla      | 0.52 <sup>00</sup> | 61                 |

<sup>00</sup>  $P < 0.01$ .

A través de los valores expuestos en el cuadro N°3 se demuestra claramente, que la arcilla controla el contenido de agua a altas tensiones en mayor grado que la fracción limo.

Valor medio, rango de variación y coeficiente de variación de los valores de agua disponible determinados.

En el cuadro N°11 se presentan los valores de agua disponible (A.D.), agua fácilmente disponible (A.F.D.) y cociente A.F.D./A.D. de los suelos analizados en el presente trabajo.

Los valores de agua disponible y fácilmente disponible muestran grandes variaciones en relación a los cambios texturales de las muestras.

Para los valores de agua disponible, el rango de variación es de 1.35% - 20.38% en los horizontes A<sub>1</sub>, y de 4.93% - 14.60% en los horizontes B<sub>2</sub>.

Los valores de agua fácilmente disponible varían de 1.05% a 12.73% en los horizontes A<sub>1</sub>, y en los horizontes B<sub>2</sub> el rango es de 1.60% - 9.05%.

El agua disponible y fácilmente disponible tienen un coeficiente de variación similar, considerando la totalidad de los horizontes.

El cociente  $A.F.D./A.D.$  muestra un coeficiente de variación menor que el de las variables anteriormente citadas (cuadro N°6).

Cuadro N°6

Valor medio, desviación típica y coeficiente de variación de los valores de  $A.D.$ ,  $A.F.D.$  y cociente  $A.F.D./A.D.$

| Variable      | Valor medio | Desviación típica | Coeficiente de variación(%) |
|---------------|-------------|-------------------|-----------------------------|
| $A.D.$        | 7.92        | 4.15              | 52                          |
| $A.F.D.$      | 4.53        | 2.54              | 55                          |
| $A.F.D./A.D.$ | 0.58        | 0.15              | 25                          |

**Comparación en la disponibilidad de agua entre suelos desarrollados sobre diferentes materiales madres.**

Los suelos formados a partir de material madre arenoso tienen valores de agua disponible bajos, lo cual se explica por el alto porcentaje de fracción arena de estos suelos, lo cual forma poros cuyo tamaño le impide retener agua a los niveles de tensión requeridos para estar disponible en el suelo. Los valores varían entre 1.55 y 8.80%.

Los suelos sobre lodolitas arenosas, presentan valores de agua disponible superiores a los de los suelos sobre areniscas. Los contenidos de arcilla y limo son superiores a los de aquellos suelos y los porcentajes de arena inferiores. Estos suelos ofrecen valores que oscilan entre 2.88% y 11.50%.

Los suelos desarrollados sobre lodolitas de la formación Libertad son los que muestran los valores de agua disponible más altos de los suelos considerados. Estos suelos contienen proporciones elevadas de arcilla y limo y su porcentaje de arena es muy bajo. Los valores de agua disponible oscilan entre 10.06% y 20.38%.

Los valores de agua fácilmente disponible siguen la misma tendencia que los de agua disponible, por lo que el cociente  $A.F.D./A.D.$  presenta valores medios similares para los tres tipos de suelos tal como lo muestra el cuadro N°7.

## Cuadro N°7

Valores medios del cociente A.F.D./A.D. para suelos formados sobre diferentes materiales madres.

| Materiales madre | Valor medio de A.F.D./A.D. |
|------------------|----------------------------|
| Areniscas        | 0.57                       |
| Lodolita arenosa | 0.45                       |
| Lodolita         | 0.58                       |

Variación del agua disponible, agua fácilmente disponible y cociente A.F.D./A.D. a través del perfil de los suelos.

La variación del agua disponible a través del perfil adopta diferentes características de acuerdo al material madre sobre el cual se desarrolla el suelo.

En los suelos formados sobre areniscas y sobre lodolitas arenosas, el valor de agua disponible aumenta en el horizonte B con respecto al valor que alcanza en los horizontes superficiales.

En cambio si consideramos los suelos sobre lodolitas se observa que el valor de agua disponible disminuye en el horizonte B, en comparación al valor que alcanza en los horizontes  $A_1$ . Este hecho se explica teniendo en cuenta que estos últimos suelos presentan contenidos de fracción arcilla elevados en los horizontes superficiales y cantidades adicionales de arcilla como la que presentan los horizontes B, provocan disminución del contenido de agua disponible, ya que la arcilla por encima de cierto nivel tiende a reducir el contenido de agua disponible.

Bartelli y Peters (1959) y Abrol et al. (1967) sitúan ese valor en 25% de fracción arcilla. Nuevos incrementos del contenido de arcilla superando este nivel se traducen en un decrecimiento de la disponibilidad de agua; contradictoriamente, Labella y Alvarez (1969), trabajando con suelos que presentan contenidos de arcilla medios y elevados encuentran generalmente un incremento en los horizontes  $B_2$  del valor de agua disponible.

El agua fácilmente disponible muestra una tendencia similar a la que presenta el agua disponible, aunque el aumento o disminución es porcentualmente mayor que ésta. En efecto analizando la variación de los valores del cociente A.F.D./A.D. entre los horizontes  $A_1$  y  $B_2$ , este valor es levemente menor en promedio en los horizontes  $B_2$  (Cuadro N°8).

## Cuadro N°8

Valores medios de A.F.D./A.B. en los horizontes A<sub>1</sub> y B<sub>2</sub> dentro de cada material madre.

| Horizonte      | Material Madre |                  |          |
|----------------|----------------|------------------|----------|
|                | Arenisca       | Lodolita arenosa | Lodolita |
| A <sub>1</sub> | 0.69           | 0.49             | 0.65     |
| B <sub>2</sub> | 0.49           | 0.39             | 0.51     |

Efectos de la composición mecánica sobre la disponibilidad de agua.

Con el fin de estudiar cuantitativamente la influencia de las distintas fracciones granulométricas sobre los valores de agua disponible se calcularon las correlaciones simples entre estas variables (Cuadro N°9).

## Cuadro N°9

Correlaciones simples entre fracciones granulométricas y agua disponible.

| Datos usados             | Variables correlacionadas | r     | Grados de libertad |
|--------------------------|---------------------------|-------|--------------------|
| Total                    | Arcilla x agua disponible | 0.74  | 63                 |
|                          | Limo x agua disponible    | 0.76  | 63                 |
|                          | Arena x agua disponible   | -0.83 | 63                 |
| Horizonte A <sub>1</sub> | Arcilla x agua disponible | 0.85  | 19                 |
|                          | Limo x agua disponible    | 0.89  | 19                 |
|                          | Arena x agua disponible   | -0.83 | 19                 |
| Horizonte B <sub>2</sub> | Arcilla x agua disponible | 0.76  | 19                 |
|                          | Limo x agua disponible    | 0.74  | 19                 |
|                          | Arena x agua disponible   | -0.81 | 19                 |

Todos los valores son significativos al nivel 0.01.

La arena como es lógico esperar presenta correlación negativa con el agua disponible, ya que esta fracción es incapaz de retener agua en el rango de disponibilidad para las plantas.

Como lo documenta el cuadro N°9 tanto la arcilla como el limo presenta correlación positiva con el porcentaje de agua disponible. La correlación positiva y significativa del limo con el agua disponible es señalada por varios autores, Bartelli y Peters(1959), Abrol et al.(1967) y Labella y Alvarez(1969).

Sin embargo no existe semejante concordancia entre los autores respecto a la correlación entre arcilla y el agua disponible, ya que algunos autores encuentran valores negativos, Jonsson y Kroth(1959), Abrol et al (1967), y otros valores próximos a cero, Lund(1959), Bartelli y Peters(1959), Labella y Alvarez(1969).

Con el fin de investigar más el comportamiento de la fracción arcilla, con respecto a su influencia sobre el agua disponible se separaron los muestros en dos grupos, uno formado con horizontes cuyo contenido de arcilla era menor de 35% y otro con valores de arcilla superiores a este valor. Se calcularon las correlaciones dentro de cada grupo de muestros (Cuadro N°10). El valor de 35% de arcilla fué elegido arbitrariamente ya que tomaba un valor de 25% de esta fracción como división entre los muestros, como lo indican algunos autores, las correlaciones para los dos grupos no presentan diferencias significativas.

Cuadro N°10

Correlaciones simples entre porcentaje de arcilla y agua disponible.

| Horizontes considerados       | Variables correlacionadas | $r_{sp}$           | G.L. |
|-------------------------------|---------------------------|--------------------|------|
| Con % de arcilla menor de 35% | Arcilla x agua disponible | 0.64 <sup>sp</sup> | 36   |
|                               | Limo x agua disponible    | 0.73 <sup>sp</sup> | 36   |
| Con % de arcilla mayor de 35% | Arcilla x agua disponible | 0.26 <sup>sp</sup> | 25   |
|                               | Limo x agua disponible    | 0.66 <sup>sp</sup> | 25   |

<sup>sp</sup>  $p < 0.01$ .

Como muestra el cuadro N°10 la arcilla presenta correlación positiva y significativa con el contenido de agua disponible en suelos con tenores de arcilla inferiores a 35%, sin embargo no ocurre lo mismo para suelos con porcentajes de esta fracción superiores al límite considerado. Se puede explicar este hecho, considerando que si bien la arcilla incrementa el agua disponible lo hace hasta determinado nivel por encima del cual sucesivos incrementos de esta fracción parecen no alterar o no tener influencia sobre dicha constante hidrológica.

Bartelli y Peters(1959) y Abrol et al (1967), encuentran que la arcilla incrementa el agua disponible hasta un valor del 25% de esta fracción pasado el cual, nuevos incrementos disminuyen el valor de agua disponible.

Puede suceder también que el diferente valor de las correlaciones sea debido a diferencias en la variancia entre los dos grupos de muestros. Esta segunda hipótesis se afirma en el hecho de que considerando en el cálculo de la correlación los horizontes  $H_2$  (con contenidos de arcilla elevados), su valor no difiere signi-

fictivamente del calculado con datos provenientes de horizontes superficiales (Cuadro N°9).

Por otra parte los valores de las correlaciones arcilla - agua disponible difieren entre sí cuando son calculadas para cada material madre por separado, como lo muestra el cuadro N°11. Mientras las correlaciones son altas y positivas para suelos sobre areniscos y sobre lodolitas arenosas, el valor es próximo a cero si la correlación se calcula usando muestras provenientes de suelos sobre lodolitas.

Cuadro N°11

Correlaciones simples entre arcilla y agua disponible para diferentes materiales madres.

| Material madre   | Variables correlacionadas | r                  | G.L. |
|------------------|---------------------------|--------------------|------|
| Areniscos        | Arcilla x agua disponible | 0.79 <sup>00</sup> | 33   |
| Lodolita arenosa | Arcilla x agua disponible | 0.75 <sup>00</sup> | 8    |
| Lodolita         | Arcilla x agua disponible | 0.04               | 16   |

<sup>00</sup>  $P < 0.01$ .

Labella y Alvarez (1969) trabajando sobre suelos con texturas similares a las que presentan los suelos sobre lodolitas encuentran también valores de correlación arcilla - agua disponible próximos a cero.

Como el limo, la arcilla, y la arena se hallan correlacionados entre sí, con el propósito de eliminar esta influencia recíproca en el valor de las correlaciones, se calcularon correlaciones parciales entre las variables que estamos analizando.

Cuadro N°12

Correlaciones parciales entre limo, arcilla y el agua disponible.

| Muestras usadas           | Variables correlacionadas | Variables eliminadas | r                  | G.L. |
|---------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------|------|
| Total                     | Arcilla x agua disponible | Limo, arena          | 0.39 <sup>00</sup> | 61   |
|                           | Limo x agua disponible    | Arcilla, arena       | 0.38 <sup>00</sup> | 61   |
| Horizontes A <sub>1</sub> | Arcilla x agua disponible | Limo, arena          | 0.17               | 17   |
|                           | Limo x agua disponible    | Arcilla, arena       | 0.42 <sup>00</sup> | 17   |
| Horizonte B <sub>2</sub>  | Arcilla x agua disponible | Limo, arena          | 0.01               | 17   |
|                           | Limo x agua disponible    | Arcilla, arena       | 0.00               | 17   |

<sup>00</sup>  $P < 0.01$ .

El cuadro N°12 muestra una correlación positiva tanto del limo como de la arcilla cuando se consideran la totalidad de los horizontes analizados.

Usando para el cálculo de la correlación las composiciones granulométricas de los horizontes A<sub>1</sub>, la correlación arcilla - agua disponible no es significativa, mientras que el limo sigue manteniendo una correlación positiva.

Las correlaciones calculadas con datos provenientes de horizontes B<sub>2</sub> muestran valores próximos a cero tanto para la fracción arcilla como para la fracción limo.

La relativa influencia de las tres fracciones granulométricas en los porcentajes de agua fácilmente disponible se muestra a través de los resultados del análisis de correlaciones que presenta el cuadro N°13.

Cuadro N°13

Correlaciones simples entre arena, limo, y arcilla con el agua fácilmente disponible

| Variables correlacionadas | r    | Grados de libertad |
|---------------------------|------|--------------------|
| Arcilla x A.F.D.          | 0.56 | 63                 |
| Limo x A.F.D.             | 0.77 | 63                 |
| Arena x A.F.D.            | 0.75 | 63                 |

Los valores son significativos al nivel 0.01.

La arcilla y el limo muestran correlación significativamente positiva con el agua fácilmente disponible. Sin embargo los valores de correlaciones parciales entre estas variables que muestra el cuadro N°14 difieren de las de las correlaciones simples y muestran que mientras el limo tiene influencia en la determinación del agua fácilmente disponible la arcilla no presenta correlación significativa.

Cuadro N°14

Correlaciones parciales entre arcilla, limo y agua fácilmente disponible.

| Variables correlacionadas | Variables eliminadas | r                  | G.L. |
|---------------------------|----------------------|--------------------|------|
| Arcilla x A.F.D.          | Limo, arena          | 0.19 <sup>00</sup> | 61   |
| Limo x A.F.D.             | Arcilla, arena       | 0.40 <sup>00</sup> | 61   |

<sup>00</sup> P < 0.01.

La influencia de las distintas fracciones granulométricas en los valores del cociente A.F.D./A.D. se muestra en el cuadro N°15.

Cuadro N°15

Correlaciones parciales entre fracciones granulométricas y el cociente A.F.D./A.D.

| Variables correlacionadas | Variable eliminada | r                   | G.L. |
|---------------------------|--------------------|---------------------|------|
| Arcilla x A.F.D./A.D.     | Limo               | -0.47 <sup>99</sup> | 62   |
| Limo x A.F.D./A.D.        | Arcilla            | 0.23                | 62   |

---

<sup>99</sup> P < 0.01.

Mientras la arcilla tiende a disminuir el cociente, el limo no tiene influencia sobre el cociente en cuestión. Esto parece demostrar que mientras la arcilla retiene agua a valores por encima de un bar dentro del rango de agua disponible, el limo la retiene dentro de todo el rango de disponibilidad.

Influencia de la materia orgánica sobre la disponibilidad de agua.

El cuadro N°16 muestra los valores de las correlaciones parciales entre el contenido de materia orgánica y diferentes constantes hidrológicas.

Cuadro N°16

Correlaciones parciales entre porcentaje de materia orgánica y constantes hidrológicas.

| Datos usados             | Variables correlacionadas | Variables eliminadas | r                  | G.L. |
|--------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------|------|
| Total                    | Mt. org. x A.D.           | Limo, arcilla        | -0.16              | 61   |
|                          | Mt. org. x A.F.D.         | Limo, arcilla        | -0.09              | 61   |
|                          | Mt. org. x A.F.D./A.D.    | Limo, arcilla        | 0.01               | 61   |
| Horizonte A <sub>1</sub> | Mt. org. x A.D.           | Limo, arcilla        | -0.48 <sup>9</sup> | 17   |
|                          | Mt. org. x A.F.D.         | Limo, arcilla        | -0.46 <sup>9</sup> | 17   |
|                          | Mt. org. x A.F.D./A.D.    | Limo, arcilla        | -0.14              | 17   |
| Horizonte B <sub>2</sub> | Mt. org. x A.D.           | Limo, arcilla        | 0.47 <sup>9</sup>  | 17   |
|                          | Mt. org. x A.F.D.         | Limo, arcilla        | 0.39               | 17   |
|                          | Mt. org. x A.F.D./A.D.    | Limo, arcilla        | 0.11               | 17   |

---

<sup>9</sup> P < 0.05.

La mayoría de los autores que han estudiado la influencia de la materia orgánica sobre la disponibilidad de agua del suelo, han encontrado, que esta componente mejora el almacenamiento de agua disponible, acotando que su efecto es mayor en suelos de texturas gruesas, Bartelli y Peters (1959), Jamison y Kroth (1958).

El cuadro N°16 muestra que considerando en el cálculo de la correlación todos los horizontes analizados, los valores hallados no son significativos y próximos a cero.

Calculando las correlaciones dentro de horizontes superficiales, la materia orgánica muestra correlación negativa con el A.D. y el A.F.D. Al calcularla con muestras de horizontes B<sub>2</sub>, la correlación materia orgánica - agua disponible se vuelve positiva. Nos inclinamos a pensar que, en virtud de las diferencias en los valores de las correlaciones materia orgánica - agua disponible según las muestras usadas y que los valores no son significativos al nivel 0.01, no se puedan extraer conclusiones definitivas respecto al comportamiento de la materia orgánica en las relaciones hídricas del suelo. Más investigación, creemos, se ha de necesitar en este aspecto para clarificar si la materia orgánica tiene influencia sobre la disponibilidad de agua. Por otra parte la amplia dispersión de los valores que muestra la curva materia orgánica - agua disponible así lo impone.

Nuestros datos no revelan mayor influencia de la materia orgánica en suelos de texturas gruesas comparadas con suelos de texturas finas (Cuadro N°17).

Cuadro N°17

Correlaciones parciales entre materia orgánica y agua disponible para suelos sobre diferentes materiales madres.

| Materiales madre | Variables correlacionadas | Variables eliminadas | r     | G.L. |
|------------------|---------------------------|----------------------|-------|------|
| Arenison         | Materia orgánica x A.D.   | Arcilla, limo        | -0.13 | 33   |
| Lodolita arenosa | Materia orgánica x A.D.   | Arcilla, limo        | -0.40 | 6    |
| Lodolita         | Materia orgánica x A.D.   | Arcilla, limo        | -0.24 | 14   |

Predicción del agua disponible a partir de la composición mecánica y contenido de materia orgánica de los suelos.

Con el fin de estimar los valores de agua disponible a partir de los datos de análisis mecánicos que se encuentran disponibles para una gran cantidad de suelos del país, se procedió a hallar mediante el Step Wise Multiple Regression Program, la ecuación que mejor ajustara las observaciones obtenidas en este trabajo.

Salter y Williams (1969), muestran en su trabajo que mediante el uso de una ecuación de regresión se puede estimar el agua disponible de los suelos a partir del análisis mecánico con un promedio de exactitud de aproximadamente 16%.

El modelo hallado en el presente trabajo es el siguiente:

$$\text{Agua disponible} = \% \text{ arena} \times 0.1394 + 14.7764.$$

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ), es decir la proporción de variancia explicada por la variable arena con respecto al total, es de 0.69. Introduciendo otras variables en el modelo, la proporción de variancia explicada por las mismas

sumento, pero como el incremento es pequeño no compensa la mayor complicación de agregar otro término en la ecuación. (Cuadro N°18).

Cuadro N°18

Coefficientes de determinación para diferentes variables introducidas al modelo.

| Variable introducida | Coefficiente de determinación ( $R^2$ ) |
|----------------------|-----------------------------------------|
| Arena                | 0.69                                    |
| Arcilla x limo       | 0.71                                    |
| Arcilla x arena      | 0.74                                    |
| Limo <sup>2</sup>    | 0.75                                    |
| Materia orgánica?    | 0.76                                    |

El análisis de variancia del cuadro N°19 demuestra que la inclusión de nuevas variables en el modelo luego de la arena, no incrementa el porcentaje de variación explicado en forma significativa.

Cuadro N°19

Análisis de variancia de los valores de agua disponible.

| Fuente de variación        | G.L.      | Suma de cuadrados | Cuadros medios        |
|----------------------------|-----------|-------------------|-----------------------|
| Regresión / arena          | 1         | 764.397           | 764.397 <sup>88</sup> |
| Regresión / arcilla x limo | 1         | 14.964            | 14.964                |
| Desviaciones               | 62        | 323.175           | 5.212                 |
| <b>Total</b>               | <b>64</b> | <b>1.102.536</b>  |                       |

<sup>88</sup>  $P < 0.01$ .

En ciertas circunstancias puede ser deseable obtener estimaciones del agua disponible en suelos de los que no se tenga conocimiento de su análisis mecánico. Es posible obtener valores aproximados en tales circunstancias por un método que incluya la clasificación subjetiva de la textura por tacto en una clase textural y tomar el valor promedio del contenido de agua para esa clase en base a la ecuación propuesta aquí.

### CONCLUSIONES

La composición mecánica aún en rangos muy estrechos de variación afecta de manera decisiva los diferentes constantes hidrológicas de los suelos.

De las cuatro variables estudiadas, arena, limo, arcilla y materia orgánica, la arena es la que muestra la influencia más definida en los distintos valores hídricos investigados. Esta fracción muestra correlaciones significativamente negativas con el agua retenida a 0.33 bars, la retenida a 15 bars y por consiguiente con el agua disponible.

La fracción arcilla tiene más influencia que el limo sobre los porcentajes de agua retenida a 15 bars, mientras que las dos fracciones tienen similar importancia en la determinación del agua a capacidad de campo.

La arcilla muestra correlación positiva con el porcentaje de agua a 0.33 bars hasta un contenido de 25% de esta fracción, pasado este nivel la correlación se vuelve próxima a cero.

La arena y el limo influyen sobre el agua disponible, las correlaciones positivas entre estas variables así lo indican.

Una investigación sería necesaria con el fin de clarificar el efecto de la materia orgánica sobre el comportamiento hídrico de los suelos del Uruguay.

Mayor cantidad de análisis deberían realizarse para diferentes grandes grupos de suelos del país, con el propósito de arribar a una ecuación de predicción para el agua disponible, que en base a la cantidad de datos usados en su elaboración pueda brindar una confianza mayor que la lograda en este trabajo.

#### RESUMEN

Sobre 65 muestras de suelos de diferente composición granulométrica y contenido de materia orgánica, se determinaron los valores de agua retenida a las tensiones de 0.33, 1 y 15 bars mediante un extractor a presión del tipo descripto por Richards (1964).

En base a los valores hallados se calculó el porcentaje de agua retenida entre 0.33 y 15 bars, agua disponible, y el correspondiente entre 0.33 y 1 bar, agua fácilmente disponible.

El estudio de la influencia de la composición mecánica sobre el porcentaje de agua a diferentes tensiones, muestra una correlación significativamente negativa de la fracción arena con el agua a capacidad de campo y el coeficiente de marchites permanentes, lo que se traduce en una correlación también negativa con el agua disponible.

La arcilla presenta correlación positiva con el porcentaje de agua a 15 bars y el valor de esta correlación es mayor que la que presenta el limo, lo que demuestra la mayor influencia de la fracción arcilla en la retención de agua a altas tensiones.

El limo muestra correlación positiva con el agua disponible, además que la arcilla también se correlaciona positivamente con ésta cuando su porcentaje no excede el 35%. En suelos con porcentajes de dicha fracción superior al valor indicado, la correlación arcilla - agua disponible presenta valores no significativos.

El estudio de la influencia de la materia orgánica sobre las distintas constantes hidrológicas analizadas en este trabajo, indica que dichas constantes no se habían influenciadas por la variación que presenta el contenido de materia orgánica de los suelos estudiados.

Las diferencias en el contenido de agua a diferentes tensiones y dentro del rango de agua disponible entre suelos con diferente material madre, se explican por la influencia de este factor de formación en la composición granulométrica de los suelos.

Con el fin de poder obtener una estimación de los valores de agua disponible de distintos suelos, para obtener una aproximación sobre su comportamiento hídrico se halló una ecuación de predicción basada en la composición mecánica de los mismos.

Dicha ecuación de predicción es la siguiente:

$$\text{Agua disponible} = - 1.87 \text{ cm} \times 0.1394 + 14.7764$$

La adición de las otras fracciones granulométricas en el modelo, no explica la variación en mayor grado.

#### BIBLIOGRAFIA CITADA

- Abrol, I.P., Khosla, B.K. and Dumble, D.R. 1967. Relationships of texture to some important soil moisture constants. *Ceoderna* 2:33-39.
- Bartelli, L.J. and Peters, D.R. 1959. Integrating soil moisture characteristics with classification units of some Illinois soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 23:149-151.
- Curso de Física de Suelos. 1958. Repartido mimeografiado.
- Gardner, W.R. 1960. Dynamic aspect of water availability to plants. *Soil Science* 89:63-73.

- Jackson, M.L. 1964. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega S.A. Barcelona..
- Janison, V.C. 1956. Pertinent factors governing the availability of soil moisture to plants. Soil Science 81:459-471.
- Janison, V.C. and Kroth, E.M. 1958. Available moisture storage capacity in relation to textural composition and organic matter content of several Missouri soils. Soil Science Society America Proceedings 22:189-192.
- Labella, S.J. y Alvarez, G. 1969. Humedad disponible y fácilmente disponible en algunos suelos del Uruguay. Micrografiado no publicado.
- Lund, Z.E. 1959. Available water holding capacity of alluvial soils in Louisiana. Soil Science Society America Proceedings. 23:1-5.
- Miller, C.E. and Turk, L.M. 1951. Fundamentals of soil science. John Wiley and Sons. Edition 2 pp. 182-183.
- Richards, L.A. 1964 Physical condition of water in soil. Methods of soil analysis. Part 1, pp. 128-152. Edited by Black C.A. y col. American Society of Agronomy and American Society for Testing and Materials.
- Salter, P.J. and Williams, J.B. 1969. The influence of texture on the moisture characteristics of soil. V. Relationships between particle-size composition and moisture contents at the upper and lower limits of available water. The Journal of Soil Science (20)1:126-131.
- Slatyer, R.O. 1967. Plant water relationships. Academic Press London and New York.
- United States Department of Agriculture. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Editado por Richards, L.A. Agriculture Handbook 60.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Enrique Marchesi por el aporte valioso de sus sugerencias durante el planeamiento y ejecución de este trabajo y corrección del manuscrito.

Al personal del laboratorio de la Cátedra de Suelos de la Facultad de Agronomía por las facilidades brindadas en la realización de los análisis.

Al Sr. Daniel Labuonara, del Centro de Computación de la Universidad de la República por el asesoramiento en cuanto al análisis estadístico y programación del mismo.

## APENDICE

Cuadro N°20

Material madre, sucesión y espesor de horizontes, porcentajes de arena, limo, arcilla y materia orgánica de los suelos.

| Suelo                        | Mat.madre        | Hor.              | Profund. | Arena | Limo | Arcilla | M.Org. |
|------------------------------|------------------|-------------------|----------|-------|------|---------|--------|
| Las Toscas 11                | Arenisca         | A <sub>11</sub>   | 0-20     | 90.4  | 1.9  | 7.7     | 0.70   |
|                              |                  | A <sub>12</sub>   | 20-67    | 82.6  | 5.4  | 12.0    | 0.80   |
|                              |                  | B <sub>2t</sub>   | 110-160  | 61.7  | 4.7  | 33.6    | 0.50   |
|                              |                  | B <sub>3</sub>    | 160-200  | 69.5  | 7.3  | 23.2    | 0.20   |
| P <sub>3</sub>               | Arenisca         | A <sub>12</sub>   | 20-40    | 74.4  | 13.9 | 11.7    | 1.50   |
|                              |                  | A <sub>22</sub>   | 60-80    | 72.9  | 18.7 | 8.4     | 0.22   |
|                              |                  | B <sub>2t</sub>   | 90-130   | 67.0  | 6.6  | 26.4    | 0.38   |
|                              |                  | C <sub>2t</sub>   | 130-145  | 78.2  | 4.7  | 17.1    | 0.05   |
| P <sub>4</sub>               | Arenisca         | A <sub>11</sub>   | 0-40     | 86.4  | 6.2  | 7.4     | 0.91   |
|                              |                  | B <sub>21t</sub>  | 60-80    | 67.8  | 5.5  | 26.7    | 0.93   |
|                              |                  | B <sub>22t</sub>  | 80-105   | 53.6  | 6.7  | 39.7    | 0.95   |
|                              |                  | B <sub>31</sub>   | 105-155  | 68.3  | 5.4  | 26.3    | 0.31   |
| Riviera I                    | Arenisca         | A <sub>12</sub>   | 30-90    | 81.2  | 6.9  | 11.9    | 0.80   |
|                              |                  | B <sub>21t</sub>  | 123-150  | 48.0  | 4.5  | 47.5    | 0.80   |
|                              |                  | B <sub>22t</sub>  | 150-185  | 56.2  | 3.5  | 40.3    | 0.80   |
| Riviera II                   | Arenisca         | A <sub>1</sub>    | 0-53     | 80.7  | 8.5  | 11.8    | 0.88   |
|                              |                  | A <sub>2</sub>    | 53-71    | 82.5  | 9.2  | 8.3     | 0.38   |
|                              |                  | B <sub>21t</sub>  | 71-94    | 53.9  | 8.7  | 37.4    | 1.25   |
|                              |                  | B <sub>3</sub>    | 120-185  | 46.2  | 6.4  | 47.4    | 0.89   |
| Coquimbo                     | Arenisca         | A <sub>12</sub>   | 20-45    | 79.7  | 11.3 | 9.0     | 0.55   |
|                              |                  | B <sub>21t</sub>  | 60-71    | 46.7  | 15.5 | 37.8    | 0.79   |
|                              |                  | B <sub>22t</sub>  | 90-126   | 58.9  | 14.5 | 26.6    | 0.45   |
| 51/9                         | Lodolita arenosa | A <sub>1</sub>    | 0-15     | 62.8  | 19.9 | 17.3    | 3.71   |
|                              |                  | B <sub>21</sub>   | 35-47    | 41.9  | 19.6 | 38.5    | 0.99   |
|                              |                  | B <sub>3</sub>    | 60-82    | 41.4  | 21.9 | 36.7    | 0.67   |
| 51/8                         | Lodolita arenosa | A <sub>1</sub>    | 0-30     | 73.6  | 13.5 | 12.9    | 2.49   |
|                              |                  | B <sub>1t</sub>   | 40-56    | 62.8  | 11.4 | 25.8    | 1.60   |
|                              |                  | IIC <sub>2t</sub> | 56-80    | 48.9  | 14.1 | 37.0    | 1.02   |
|                              |                  | IIC <sub>ca</sub> | 100-120  | 50.8  | 19.3 | 29.9    | 0.34   |
| CF <sub>1</sub>              | Arenisca         | A <sub>11</sub>   | 0-20     | 81.9  | 7.7  | 10.4    | 2.75   |
|                              |                  | A <sub>2</sub>    | 20-53    | 79.6  | 7.6  | 12.8    | 1.35   |
|                              |                  | B <sub>21t</sub>  | 53-74    | 55.7  | 9.2  | 35.1    | 1.70   |
|                              |                  | B <sub>3</sub>    | 90-106   | 65.2  | 7.1  | 27.7    | 0.66   |
| CF <sub>2</sub>              | Arenisca         | A <sub>1</sub>    | 0-30     | 73.2  | 11.0 | 15.8    | 3.47   |
|                              |                  | B <sub>2</sub>    | 50-72    | 58.1  | 8.8  | 33.1    | 1.63   |
|                              |                  | B <sub>3</sub>    | 72-98    | 60.2  | 7.2  | 32.6    | 0.82   |
| 51/16                        | Arenisca         | A <sub>12</sub>   | 17-40    | 71.8  | 13.6 | 14.6    | 1.86   |
|                              |                  | B <sub>21</sub>   | 40-60    | 60.6  | 9.7  | 29.7    | 1.40   |
|                              |                  | C                 | 94-100   | 63.5  | 10.4 | 26.1    | 0.29   |
| 51/17                        | Lodolita arenosa | A <sub>1</sub>    | 0-20     | 59.6  | 19.0 | 21.4    | 6.23   |
|                              |                  | B <sub>2t</sub>   | 40-70    | 35.5  | 27.9 | 36.6    | 1.05   |
|                              |                  | B <sub>3ca</sub>  | 70-95    | 41.9  | 31.9 | 36.2    | 0.69   |
| M <sub>7A</sub> <sub>2</sub> | Lodolita         | A <sub>1</sub>    | 0-13     | 14.5  | 49.2 | 36.3    | 6.54   |
|                              |                  | B <sub>2t</sub>   | 13-76    | 12.1  | 35.3 | 52.6    | 1.20   |

|                                 |                  |                  |        |      |      |      |      |      |
|---------------------------------|------------------|------------------|--------|------|------|------|------|------|
| 51/16                           | Arenisca         | A <sub>12</sub>  | 0-12   | 17.8 | 71.8 | 13.6 | 14.6 | 1.86 |
|                                 |                  | B <sub>21</sub>  | 40-60  | 60.6 | 9.7  | 29.7 | 1.40 |      |
|                                 |                  | C                | 94-100 | 63.5 | 10.4 | 26.1 | 0.29 |      |
| 51/17                           | Lodolita arenosa | A <sub>1</sub>   | 0-20   | 59.6 | 19.0 | 21.4 | 6.23 |      |
|                                 |                  | B <sub>2t</sub>  | 40-70  | 35.5 | 27.9 | 36.6 | 1.05 |      |
|                                 |                  | B <sub>3ca</sub> | 70-95  | 41.9 | 31.9 | 36.2 | 0.69 |      |
| M <sub>7</sub> A <sub>2</sub>   | Lodolita         | A <sub>1</sub>   | 0-13   | 14.5 | 49.2 | 36.3 | 6.54 |      |
|                                 |                  | B <sub>2t</sub>  | 13-76  | 12.1 | 35.3 | 52.6 | 1.30 |      |
|                                 |                  | B <sub>3ca</sub> | 76-100 | 10.0 | 36.7 | 53.3 | 1.08 |      |
| M <sub>8</sub> A <sub>11</sub>  | Lodolita         | A <sub>1</sub>   | 0-20   | 19.3 | 43.6 | 37.1 | 6.55 |      |
|                                 |                  | B <sub>22t</sub> | 42-60  | 12.2 | 35.8 | 52.0 | 1.28 |      |
|                                 |                  | C <sub>ca</sub>  | +76    | 16.7 | 39.8 | 43.5 | 0.14 |      |
| M <sub>9</sub> A <sub>13</sub>  | Lodolita         | A <sub>1</sub>   | 0-32   | 14.7 | 57.3 | 28.1 | 5.57 |      |
|                                 |                  | B <sub>22t</sub> | 54-86  | 8.4  | 46.6 | 45.0 | 1.06 |      |
|                                 |                  | B <sub>3</sub>   | +86    | 9.5  | 47.7 | 42.8 | 0.52 |      |
| M <sub>14</sub> A <sub>1</sub>  | Lodolita         | A <sub>1</sub>   | 0-15   | 20.3 | 47.2 | 32.5 | 7.52 |      |
|                                 |                  | B <sub>21t</sub> | 28-56  | 17.8 | 31.1 | 51.1 | 2.70 |      |
|                                 |                  | B <sub>3</sub>   | +80    | 12.9 | 36.6 | 50.5 | 0.33 |      |
| M <sub>17</sub> A <sub>1a</sub> | Lodolita         | A <sub>1</sub>   | 0-20   | 16.0 | 54.9 | 29.1 | 3.54 |      |
|                                 |                  | B <sub>21t</sub> | 20-54  | 12.5 | 32.9 | 54.6 | 2.26 |      |
|                                 |                  | B <sub>3ca</sub> | +72    | 8.7  | 41.1 | 50.2 | 0.29 |      |
| M <sub>21</sub> A <sub>11</sub> | Lodolita         | A <sub>1</sub>   | 0-20   | 17.2 | 46.9 | 35.9 | 3.84 |      |
|                                 |                  | B <sub>21t</sub> | 20-53  | 14.1 | 35.4 | 50.5 | 2.26 |      |
|                                 |                  | C <sub>ca</sub>  | +81    | 12.0 | 46.7 | 41.3 | 0.33 |      |
| 43/1                            | Arenisca         | A <sub>1</sub>   | 0-18   | 67.7 | 15.9 | 16.4 | 2.70 |      |
|                                 |                  | A <sub>3</sub>   | 18-41  | 59.9 | 13.5 | 26.6 | 1.81 |      |
|                                 |                  | B <sub>3</sub>   | 80-101 | 52.0 | 17.4 | 30.6 | 0.29 |      |
| 43/9                            | Arenisca         | A <sub>3</sub>   | 22-38  | 65.9 | 15.1 | 19.0 | 1.87 |      |
|                                 |                  | C                | 88-120 | 53.6 | 17.7 | 28.7 | 0.40 |      |

Cuadro N°21

Porcentajes de agua retenida a 0.33, 1, y 15 bars, agua disponible, agua fácilmente disponible y cociente A.F.D./A.D.

| Suelo           | Hor.                             | % de agua a<br>0.33 bars | % de agua<br>a 1 bar | % de agua<br>a 15 bars | A.D.  | A.F.D. | A.F.D.<br>A.D. |
|-----------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|-------|--------|----------------|
| Las Toscas II   | A <sub>11</sub>                  | 3.50                     | 2.45                 | 1.95                   | 1.55  | 1.05   | 0.67           |
|                 | A <sub>12</sub>                  | 5.91                     | 3.80                 | 2.95                   | 2.96  | 2.11   | 0.71           |
|                 | B <sub>2t</sub>                  | 14.65                    | 11.55                | 9.70                   | 4.95  | 3.10   | 0.62           |
|                 | B <sub>3</sub>                   | 10.73                    | 7.80                 | 6.75                   | 3.98  | 2.93   | 0.73           |
| P <sub>3</sub>  | A <sub>12</sub>                  | 7.94                     | 5.45                 | 4.25                   | 3.69  | 2.49   | 0.67           |
|                 | A <sub>22</sub>                  | 7.86                     | 3.70                 | 2.55                   | 5.31  | 4.16   | 0.78           |
|                 | B <sub>2t</sub>                  | 18.69                    | 14.60                | 11.95                  | 6.74  | 4.09   | 0.60           |
|                 | C <sub>2t</sub>                  | 14.59                    | 11.60                | 8.65                   | 5.94  | 2.99   | 0.50           |
| P <sub>4</sub>  | A <sub>11</sub>                  | 3.64                     | 2.40                 | 1.95                   | 1.69  | 1.24   | 0.73           |
|                 | B <sub>21t</sub>                 | 14.84                    | 11.75                | 9.25                   | 5.59  | 3.09   | 0.55           |
|                 | B <sub>22t</sub>                 | 22.34                    | 18.30                | 13.80                  | 8.54  | 4.04   | 0.47           |
|                 | B <sub>31</sub>                  | 15.29                    | 11.40                | 9.00                   | 6.29  | 3.89   | 0.61           |
| Rivers I        | A <sub>12</sub>                  | 5.51                     | 3.80                 | 2.35                   | 3.16  | 1.71   | 0.54           |
|                 | B <sub>21t</sub>                 | 21.13                    | 17.45                | 13.45                  | 7.68  | 3.68   | 0.47           |
|                 | B <sub>22t</sub>                 | 19.01                    | 15.25                | 11.80                  | 7.21  | 3.76   | 0.52           |
| Rivers II       | A <sub>1</sub>                   | 6.34                     | 3.96                 | 2.55                   | 3.79  | 2.38   | 0.62           |
|                 | A <sub>2</sub>                   | 5.22                     | 2.56                 | 1.55                   | 3.67  | 2.66   | 0.72           |
|                 | B <sub>21t</sub>                 | 17.47                    | 13.76                | 10.30                  | 7.17  | 3.71   | 0.51           |
|                 | B <sub>3</sub>                   | 22.80                    | 17.45                | 14.00                  | 8.80  | 5.35   | 0.60           |
| Coquimbo        | A <sub>12</sub>                  | 6.44                     | 3.85                 | 2.55                   | 3.89  | 2.59   | 0.66           |
|                 | B <sub>21t</sub>                 | 23.05                    | 21.45                | 16.20                  | 6.85  | 1.60   | 0.23           |
|                 | B <sub>23t</sub>                 | 15.81                    | 13.20                | 9.65                   | 6.16  | 2.61   | 0.42           |
| 51/9            | A <sub>1</sub>                   | 12.28                    | 11.75                | 9.40                   | 2.88  | 0.53   | 0.18           |
|                 | B <sub>21</sub>                  | 25.29                    | 22.75                | 18.20                  | 7.09  | 2.54   | 0.35           |
|                 | B <sub>3</sub>                   | 25.87                    | 19.95                | 17.10                  | 8.77  | 5.92   | 0.67           |
| 51/8            | A <sub>1</sub>                   | 11.36                    | 6.50                 | 5.20                   | 6.16  | 4.86   | 0.78           |
|                 | B <sub>1t</sub>                  | 16.45                    | 13.85                | 9.65                   | 6.81  | 2.60   | 0.38           |
|                 | IIC <sub>ca</sub> <sup>2tg</sup> | 26.30                    | 21.35                | 14.80                  | 11.50 | 4.95   | 0.43           |
|                 | IIC <sub>ca</sub>                | 25.90                    | 21.05                | 15.55                  | 10.35 | 4.85   | 0.46           |
| CF <sub>1</sub> | A <sub>11</sub>                  | 9.25                     | 6.30                 | 5.40                   | 3.85  | 2.95   | 0.76           |
|                 | A <sub>2</sub>                   | 9.79                     | 5.35                 | 5.05                   | 4.74  | 4.44   | 0.93           |
|                 | B <sub>21t</sub>                 | 23.42                    | 19.50                | 15.36                  | 8.06  | 3.92   | 0.48           |
|                 | B <sub>3</sub>                   | 17.85                    | 14.60                | 10.65                  | 7.20  | 3.25   | 0.45           |
| CF <sub>2</sub> | A <sub>1</sub>                   | 12.09                    | 9.50                 | 8.75                   | 3.34  | 2.59   | 0.77           |
|                 | B <sub>2</sub>                   | 20.58                    | 17.25                | 13.93                  | 6.65  | 3.33   | 0.50           |
|                 | B <sub>3</sub>                   | 19.06                    | 15.80                | 13.00                  | 6.06  | 3.26   | 0.53           |

Cuadro N°21

Porcentajes de agua retenida a 0.33, 1, y 15 bars, agua disponible, agua fácilmente disponible y cociente A.F.D./A.D.

| Suelo           | Hor.                             | % de agua a<br>0.33 bars | % de agua<br>a 1 bar | % de agua<br>a 15 bars | A.D.  | A.F.D. | A.F.D.<br>A.D. |
|-----------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|-------|--------|----------------|
| Las Toscas II   | A <sub>11</sub>                  | 3.50                     | 2.45                 | 1.95                   | 1.55  | 1.05   | 0.67           |
|                 | A <sub>12</sub>                  | 5.91                     | 3.80                 | 2.95                   | 2.96  | 2.11   | 0.71           |
|                 | B <sub>2t</sub>                  | 14.65                    | 11.55                | 9.70                   | 4.95  | 3.10   | 0.62           |
|                 | B <sub>3</sub>                   | 10.73                    | 7.80                 | 6.75                   | 3.98  | 2.93   | 0.73           |
| P <sub>3</sub>  | A <sub>12</sub>                  | 7.94                     | 5.45                 | 4.25                   | 3.69  | 2.49   | 0.67           |
|                 | A <sub>22</sub>                  | 7.86                     | 3.70                 | 2.55                   | 5.31  | 4.16   | 0.78           |
|                 | B <sub>2t</sub>                  | 18.69                    | 14.60                | 11.95                  | 6.74  | 4.09   | 0.60           |
|                 | C <sub>2t</sub>                  | 14.59                    | 11.60                | 8.65                   | 5.94  | 2.99   | 0.50           |
| P <sub>4</sub>  | A <sub>11</sub>                  | 3.64                     | 2.40                 | 1.95                   | 1.69  | 1.24   | 0.73           |
|                 | B <sub>21t</sub>                 | 14.84                    | 11.75                | 9.25                   | 5.59  | 3.09   | 0.55           |
|                 | B <sub>22t</sub>                 | 22.34                    | 18.30                | 13.80                  | 8.54  | 4.04   | 0.47           |
|                 | B <sub>31</sub>                  | 15.29                    | 11.40                | 9.00                   | 6.29  | 3.89   | 0.61           |
| Riviera I       | A <sub>12</sub>                  | 5.51                     | 3.80                 | 2.35                   | 3.16  | 1.71   | 0.54           |
|                 | B <sub>21t</sub>                 | 21.13                    | 17.45                | 13.45                  | 7.68  | 3.68   | 0.47           |
|                 | B <sub>22t</sub>                 | 19.01                    | 15.25                | 11.80                  | 7.21  | 3.76   | 0.52           |
| Riviera II      | A <sub>1</sub>                   | 6.34                     | 3.96                 | 2.55                   | 3.79  | 2.38   | 0.62           |
|                 | A <sub>2</sub>                   | 5.22                     | 2.56                 | 1.55                   | 3.67  | 2.66   | 0.72           |
|                 | B <sub>21t</sub>                 | 17.47                    | 13.76                | 10.30                  | 7.17  | 3.71   | 0.51           |
|                 | B <sub>3</sub>                   | 22.80                    | 17.45                | 14.00                  | 8.80  | 5.35   | 0.60           |
| Coquimbo        | A <sub>12</sub>                  | 6.44                     | 3.85                 | 2.55                   | 3.89  | 2.59   | 0.66           |
|                 | B <sub>21t</sub>                 | 23.05                    | 21.45                | 16.20                  | 6.85  | 1.60   | 0.23           |
|                 | B <sub>23t</sub>                 | 15.81                    | 13.20                | 9.65                   | 6.16  | 2.61   | 0.42           |
| 51/9            | A <sub>1</sub>                   | 12.28                    | 11.75                | 9.40                   | 2.88  | 0.53   | 0.18           |
|                 | B <sub>21</sub>                  | 25.29                    | 22.75                | 18.20                  | 7.09  | 2.54   | 0.35           |
|                 | B <sub>3</sub>                   | 25.87                    | 19.95                | 17.10                  | 8.77  | 5.92   | 0.67           |
| 51/8            | A <sub>1</sub>                   | 11.36                    | 6.50                 | 5.20                   | 6.16  | 4.86   | 0.78           |
|                 | B <sub>1t</sub>                  | 16.45                    | 13.85                | 9.65                   | 6.81  | 2.60   | 0.38           |
|                 | IIC <sub>ca</sub> <sup>2tg</sup> | 26.30                    | 21.35                | 14.80                  | 11.50 | 4.95   | 0.43           |
|                 | IIC <sub>ca</sub>                | 25.90                    | 21.05                | 15.55                  | 10.35 | 4.85   | 0.46           |
| CF <sub>1</sub> | A <sub>11</sub>                  | 9.25                     | 6.30                 | 5.40                   | 3.85  | 2.95   | 0.76           |
|                 | A <sub>2</sub>                   | 9.79                     | 5.35                 | 5.05                   | 4.74  | 4.44   | 0.93           |
|                 | B <sub>21t</sub>                 | 23.42                    | 19.50                | 15.36                  | 8.06  | 3.92   | 0.48           |
|                 | B <sub>3</sub>                   | 17.85                    | 14.60                | 10.65                  | 7.20  | 3.25   | 0.45           |
| CF <sub>2</sub> | A <sub>1</sub>                   | 12.09                    | 9.50                 | 8.75                   | 3.34  | 2.59   | 0.77           |
|                 | B <sub>2</sub>                   | 20.58                    | 17.25                | 13.93                  | 6.65  | 3.33   | 0.50           |
|                 | B <sub>3</sub>                   | 19.06                    | 15.80                | 13.00                  | 6.06  | 3.26   | 0.53           |

|                                 |                  |       |       |       |       |       |      |
|---------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 51/16                           | A <sub>12</sub>  | 12.13 | 8.75  | 6.85  | 5.28  | 3.38  | 0.84 |
|                                 | B <sub>21</sub>  | 21.86 | 17.50 | 13.86 | 8.00  | 4.36  | 0.54 |
|                                 | C <sub>21</sub>  | 20.64 | 15.85 | 11.93 | 8.71  | 4.79  | 0.54 |
| 51/17                           | A <sub>1</sub>   | 18.59 | 15.65 | 13.06 | 5.53  | 2.94  | 0.53 |
|                                 | B <sub>2t</sub>  | 27.24 | 23.25 | 17.50 | 9.74  | 3.99  | 0.40 |
|                                 | B <sub>3ca</sub> | 26.52 | 22.45 | 15.70 | 10.82 | 4.07  | 0.37 |
| M <sub>7</sub> A <sub>2</sub>   | A <sub>1</sub>   | 32.71 | 24.90 | 21.50 | 11.21 | 7.81  | 0.69 |
|                                 | B <sub>2t</sub>  | 43.64 | 37.45 | 32.40 | 11.50 | 6.19  | 0.53 |
|                                 | B <sub>3ca</sub> | 43.96 | 36.65 | 30.85 | 13.11 | 7.31  | 0.55 |
| M <sub>8</sub> A <sub>11</sub>  | A <sub>1</sub>   | 33.04 | 26.55 | 22.70 | 10.34 | 6.49  | 0.62 |
|                                 | B <sub>22t</sub> | 41.53 | 35.55 | 31.45 | 10.08 | 5.98  | 0.59 |
|                                 | C <sub>ca</sub>  | 36.42 | 30.50 | 25.65 | 10.77 | 5.92  | 0.54 |
| M <sub>9</sub> A <sub>13</sub>  | A <sub>1</sub>   | 29.02 | 20.35 | 15.20 | 13.82 | 8.67  | 0.62 |
|                                 | B <sub>22t</sub> | 33.51 | 28.65 | 23.45 | 10.06 | 4.86  | 0.48 |
|                                 | B <sub>3</sub>   | 32.81 | 27.45 | 22.25 | 10.56 | 5.36  | 0.50 |
| M <sub>14</sub> A <sub>1</sub>  | A <sub>1</sub>   | 29.96 | 22.95 | 19.90 | 10.06 | 7.01  | 0.69 |
|                                 | B <sub>21t</sub> | 35.14 | 29.35 | 24.15 | 10.99 | 5.79  | 0.52 |
|                                 | B <sub>3</sub>   | 42.12 | 33.45 | 29.60 | 12.52 | 8.67  | 0.69 |
| M <sub>17</sub> A <sub>1a</sub> | A <sub>1</sub>   | 27.99 | 19.30 | 15.00 | 12.99 | 8.69  | 0.66 |
|                                 | B <sub>21t</sub> | 44.90 | 39.45 | 30.30 | 14.60 | 5.45  | 0.37 |
|                                 | B <sub>3ca</sub> | 45.89 | 36.30 | 28.40 | 17.49 | 9.59  | 0.54 |
| M <sub>21</sub> A <sub>11</sub> | A <sub>1</sub>   | 35.63 | 27.90 | 15.25 | 20.38 | 12.73 | 0.62 |
|                                 | B <sub>21t</sub> | 39.90 | 30.85 | 24.90 | 15.00 | 9.05  | 0.60 |
|                                 | C <sub>ca</sub>  | 41.47 | 28.03 | 21.60 | 19.87 | 13.44 | 0.67 |
| 43/1                            | A <sub>1</sub>   | 13.60 | 9.95  | 8.95  | 4.65  | 3.65  | 0.78 |
|                                 | A <sub>3</sub>   | 18.40 | 14.05 | 13.95 | 4.45  | 4.35  | 0.97 |
|                                 | B <sub>3</sub>   | 20.80 | 18.30 | 16.90 | 3.90  | 2.50  | 0.64 |
| 43/9                            | A <sub>3</sub>   | 17.35 | 15.10 | 14.60 | 2.75  | 2.25  | 0.81 |
|                                 | C <sub>3</sub>   | 26.60 | 22.96 | 19.80 | 6.80  | 3.64  | 0.53 |