

# Grupos de uso y manejo de los suelos del Centro Agropecuario Marengo CAM<sup>\*</sup>

## Soil Use and Management Groups of The Marengo Agricultural and Livestock Center CAM

Napoleón Ordoñez Delgado<sup>1</sup> 

### Resumen

El área de estudio corresponde al Centro Agropecuario Marengo (CAM), de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, ubicado en el municipio de Mosquera-Cundinamarca, que cubre 94,55 hectáreas. Partiendo del estudio de *Levantamiento Agroológico del Centro Agropecuario Marengo (CAM)* de Ordoñez y Bolívar (2014), se analizaron las propiedades físicas y químicas de las diferentes Unidades Cartográficas de Suelos, representadas por 15 perfiles modales, con el fin de establecer grupos de manejo, teniendo en cuenta los problemas de drenaje, compactación, salinización, sodicidad y niveles freáticos fluctuantes. El área de estudio carece de un sistema adecuado de drenaje que permita la rápida y eficiente evacuación del exceso de agua lluvia, dando origen a encharcamientos, aunado al deterioro de la capa superficial del suelo causado por el pisoteo del ganado vacuno, caprino y ovino, además del paso de maquinaria agrícola. Se definieron cuatro grupos de manejo, que permiten evaluar y caracterizar adecuadamente, el drenaje, la compactación y la influencia de las sales incluyendo el sodio, que limitan el desarrollo y la productividad. Se recomendaron cultivos tolerantes a las condiciones de cada uno de los grupos de manejo, al igual que un sistema de riego que se ajusta a las características de estos suelos.

### Palabras clave:

compactación del suelo, degradación de suelos, mapa edafológico, nivel de agua, salinidad, tierra agrícola.

### Cómo citar

Ordoñez Delgado, N. (2024). Grupos de uso y manejo de los suelos del Centro Agropecuario Marengo CAM. *Análisis Geográficos*, 57 (1), 70 - 82.

<sup>\*</sup> Agradezco a los estudiantes, profesores e investigadores de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia-sede Bogotá.

Dedicado a Paola y a mis nietos.

<sup>1</sup> Instituto Geográfico Agustín Codazzi – Colombia. [nordonez@igac.gov.co](mailto:nordonez@igac.gov.co). ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7750-5621>.

## Abstract

The study area corresponds to the Marengo Agricultural Center (CAM), of the National University of Colombia, Bogotá, located in the municipality of Mosquera-Cundinamarca, which covers 94,55 hectares. Based on the Agrological Survey study of the Marengo Agricultural Center (CAM), Ordoñez and Bolívar (2014), the physical and chemical properties of the different Soil Cartographic Units, represented by 15 modal profiles, were analyzed in order to establish management groups, taking into account the problems of drainage, compaction, salinization, sodicity and fluctuating water table levels. The study area lacks an adequate drainage system that allows for the rapid and efficient evacuation of excess rainwater, causing waterlogging, in addition to the deterioration of the topsoil caused by the trampling of cattle, goats and sheep, as well as the passage of agricultural machinery. Four management groups were defined to evaluate and adequately characterize drainage, compaction and the influence of salts, including sodium, which limit development and productivity. Crops tolerant to the conditions of each of the management groups were recommended, as well as an irrigation system that adjusts to the characteristics of these soils.

### Keyword:

soil compaction, soil degradation, edaphological map, water level, salinity, agricultural land.

## Introducción

El uso, manejo y conservación del recurso suelo se ha convertido en un problema importante, ya que los efectos socioeconómicos y ecológicos de la agricultura convencional, que considera el suelo fuente de nutrientes para el desarrollo de las plantas, no ha tenido en cuenta su vulnerabilidad a fenómenos como la contaminación, compactación, salinización y alcalinización, que traen como consecuencia la erosión y degradación, así como la pérdida total de este recurso no renovable a corto plazo. La degradación del suelo es un proceso donde se altera su capacidad para poder dar cumplimiento a sus funciones, es decir su calidad (Pla Sentís, 2010). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura —FAO— (2016), define la degradación de los suelos como un “cambio en la salud del suelo” puesto que este proceso conduce a la pérdida de la capacidad productiva de los mismos.

Dentro de las funciones que el suelo proporciona se encuentran: sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, sostener la salud humana, la actividad biológica, la biodiversidad y la productividad, filtrar, amortiguar, degradar e inmovilizar contaminantes, almacenar y reciclar nutrientes y soportar estructuras socioeconómicas asociadas con el hábitat humano (Etchevers et al., 2009).

El levantamiento de suelos es la rama de la pedología que tiene el propósito de estudiar, clasificar y cartografiar los suelos para predecir su comportamiento bajo diferentes usos y manejos, pero este proceso puede ser lento y costoso. Sin embargo, al darle un enfoque geopedológico a dicha herramienta, se contempla una alternativa para el mejoramiento de suelos, particularmente a partir del levantamiento geomorfológico, que facilita la localización de sitios de muestreo y permite explicar la variabilidad espacial de los suelos. La pedología proporciona el contenido edáfico de las unidades de mapeo en términos de componentes taxonómicos, porcentaje de área y patrón de distribución espacial (Zinck, 2014).

La cartografía de suelos es el mayor objetivo de la ciencia del suelo, ya que proporciona información útil para predecir la distribución espacial de propiedades edáficas, para la toma de decisiones en la planificación del uso de suelo, proyectos de desarrollo agrícola, evaluación de erosión, manejo y conservación de recursos natu-

rales (Zinck, 2014).

En síntesis, el objetivo más importante de los levantamientos agrológicos, después de conocer los suelos de una región determinada y el patrón de distribución en la dimensión espacial, es la definición de su capacidad de uso y las prácticas de manejo, de tal manera que el desarrollo agrícola, ganadero y forestal, así como las acciones encaminadas a la conservación, preservación y/o restauración del medio natural, se ejecuten de acuerdo a la vocación de las tierras y a los requerimientos de protección cuando son vulnerables ante la acción de los factores ambientales y la actividad del hombre (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2010).

Este estudio señala los sitios que poseen problemas en el CAM relacionados con compactación de suelos, salinidad, y drenaje. Los resultados permiten crear grupos de manejo donde se agrupan los suelos con limitaciones similares, permitiendo así tomar decisiones para corregir sus deficiencias por un lado o para seleccionar especies agrícolas que toleren las limitaciones identificadas por el otro.

El objetivo principal de este estudio fue analizar las características de las unidades cartográficas de suelos representadas en quince perfiles modales y relacionarlas con el manejo de los suelos del Centro Agropecuario Marengo, con el propósito de implementar mejores prácticas de uso y manejo.

El suelo es un recurso dinámico y vivo, clave tanto para la producción de alimentos y fibras, como para el balance global y la función de los ecosistemas. La calidad y la salud de los suelos determina la sostenibilidad agrícola y la calidad medioambiental y, como una consecuencia de ambas, la salud de las plantas, animales y humanos (Doran et al., 1997).

Para que este concepto sea práctico, es preciso contar con datos que permitan evaluar la condición del suelo. Por lo que surgen los indicadores, que son variables que representan una condición y muestran información sobre los cambios o tendencias (Dumanski et al., 1998). Los indicadores de calidad del suelo se crean como una herramienta de medición que ofrece información sobre las propiedades, procesos y características, los mismos que se miden para dar seguimiento a los efectos del manejo y sobre el funcionamiento del suelo en un determinado periodo (Astier-Calderón et al., 2002). La calidad del suelo es considerada como una medida de su capacidad para funcionar adecuadamente en relación con

un uso específico (Gregorich et al., 1994). Conocer la calidad de los suelos es de suma importancia, ya que contribuyen a establecer la sostenibilidad de las diferentes actividades que se llevan a cabo en este (Moreno et al., 2015). Los suelos con máxima calidad son capaces de mantener alta productividad y causar el mínimo deterioro ambiental (Ferreras et al., 2009).

Hoy, el 23% de la superficie terrestre presenta algún nivel de degradación de los suelos, con tasas estimadas de 5 a 10 millones de hectáreas, que afectan a unos 1500 millones de personas en el mundo y que conlleva la pérdida de la fertilidad y calidad del suelo, ya que la degradación del suelo se define como el declive temporal o permanente de su capacidad de producción.

También puede definirse la degradación del suelo como la pérdida de la fertilidad actual o potencial, pérdida de cualidades intrínsecas y de funciones del suelo (Zavala-Cruz et al., 2011). Cuando los procesos de degradación ocurren sin la intervención del hombre, generalmente se producen a una velocidad que está en equilibrio con la velocidad de recuperación natural. Sin embargo, la degradación acelerada del suelo se produce comúnmente como resultado de la intervención humana en el ambiente (Stocking y Murnaghan, 2003; Porta Casanellas y López-Acevedo Reguerin, 2005).

Los estudios de levantamientos de suelos tienen una finalidad práctica y es el de hacer predicciones, más numerosas, más precisas y útiles para propósitos específicos, como el de poder mapear el uso y manejo de los suelos, incluyendo las condiciones que limitan su uso y generan riesgo de degradación. Es decir, definir la capacidad potencial que tienen los suelos para ser utilizadas bajo cierto tipo general de uso con prácticas específicas de manejo y poder, agrupar y mapear suelos que presentan limitaciones como la salinidad, la sodicidad, la compactación y los niveles freáticos profundos o fluctuantes, que generan graves problemas.

La degradación ocasionada por el deterioro interno causa problemas físicos al suelo, como la destrucción de la estructura debido a agentes naturales, inducidos por el manejo (sobrepastoreo) y que está relacionada con la textura. Este proceso se puede analizar desde dos puntos de vista: El primero, consiste en la formación de costras endurecidas a determinadas profundidades del perfil y en caso extremo el afloramiento de los horizontes subsuperficiales. Este encostramiento es el resultado de la degradación de la cubierta vegetal y de la erosión hídrica, que deja al descubierto estos horizontes. El segundo se refiere a los cambios adversos en las propiedades físicas del suelo como son la porosidad, permeabilidad, densidad aparente y estabilidad estructural (Ortiz et al., 1994).

El encostramiento y la compactación se refieren al sellamiento o relleno de los poros del suelo con material fino, que resulta del paso continuo de la maquinaria, vehículos y/o ganado en el terreno, o por el efecto de las gotas de lluvia, estos efectos desarrollan una capa impermeable en la superficie del suelo que impide la infiltración del agua de lluvia (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] y Colegio de Posgraduados [CP] 2002). Otro aspecto para tener en cuenta es el contenido bajo de materia orgánica de los suelos, que implica que los espacios de aire se reduzcan drásticamente, entonces el suelo adquiere la apariencia de bloques compactos. (Ortiz et al., 1994). La compactación es reversible y su ocurrencia es previsible, o al

menos controlable. Es un problema mundial que abarca todos los suelos y niveles de producción agrícola, es el tipo más difícil de degradación de suelos para localizar y racionalizar, debido a que es un fenómeno que ocurre sobre todo debajo de la superficie. No hay evidencia superficial clara que evidencie su existencia a diferencia de la salinización y la erosión (FAO, 2016).

La degradación química es otra causa importante que debe tenerse en cuenta y puede presentarse por: concentraciones de sustancias tóxicas, pérdida de bases intercambiables, por actividad antrópica, contaminación de las corrientes de agua con hidrocarburos o metales pesados etc., que hacen que la productividad disminuya drásticamente, hasta el punto de quedar en nada cuando las concentraciones de sustancias tóxicas sobrepasan los umbrales (Ortiz et al., 1994).

Los factores que inciden en la salinización y sodización de los suelos son de origen natural y de origen antrópico. El primero es afectado por el clima, la meteorización de los minerales y rocas de la superficie de la corteza terrestre (material parental), el tipo de ocupación del suelo y la topografía. El segundo, puede dar origen a la salinización y sodización de varias maneras: riego con aguas con alto contenido de sales, ascenso de las capas freáticas por filtración de canales y depósitos sin revestir, distribución desigual del agua de riego, malos métodos de regadío, drenaje inadecuado, usos de fertilizantes y otros insumos especialmente en zonas de agricultura intensiva en las que la tierra es poco impermeable y las posibilidades de lixiviación son limitadas, utilización de aguas residuales salinas e inadecuadas para el riego, vertido al suelo de aguas residuales salinas, contaminación de suelos por aguas o subproductos industriales salinos.

Frecuentemente, la salinización y la sodización son características de las zonas de regadío con escasa pluviometría, elevados índices de evapotranspiración, o una textura del suelo que impide el lavado de sales y debido a ello se acumulan en las capas superficiales. El riego con aguas con alto contenido en sales agrava el problema.

La utilización del agua subterránea para riego complementario puede producir salinización y sodificación de suelos, por lo tanto, a los riesgos de contaminación de los acuíferos debido a una mala gestión del recurso, se le suma la salinización y sodización del recurso suelo, que se puede presentar por el uso de agua de baja calidad para el riego. (Peinemann et al., 1998).

Es muy importante tener en cuenta el ascenso del nivel freático, ya que bajo ciertas condiciones climáticas la evaporación directa del agua origina concentraciones altas de sales, produciendo la alcalinización del suelo. Por otro lado, dicho ascenso capilar puede favorecer el aporte hídrico a la zona radicular, si se encuentra a poca profundidad o favorecer la aireación si es más profundo (Pepi et al., 1998).

Los estudios de fluctuaciones de los niveles freáticos subterráneos son de mucha importancia, porque el movimiento de los mantos freáticos es la principal causa de los problemas de salinidad y drenaje. (SEMARNAT y CP, 2002).

En síntesis, problemas como la erosión, salinización y compactación son procesos de la degradación del suelo (Malagón, 2016) que pueden ser mitigados mediante el monitoreo (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2014), y la implementación de prácticas y tecnologías basadas en el conocimiento de las características físicas, químicas, biológicas y mineralógicas de cada suelo.

Las sales que se encuentran en los suelos salinos proceden de la meteorización de los minerales y rocas de la superficie de la corteza terrestre. Estas sales son arrastradas por el agua y se van depositando en los suelos y depresiones haciendo que se produzcan mantos freáticos salinos. Todas las aguas de riego poseen sales solubles en mayor o menor medida, provocando la salinización de los suelos y provocando dificultades en el desarrollo de los cultivos. La calidad del agua de riego y su influencia sobre las características del suelo es otro de los parámetros para tener en cuenta en los procesos de degradación del suelo.

Metodología

Descripción del área de estudio

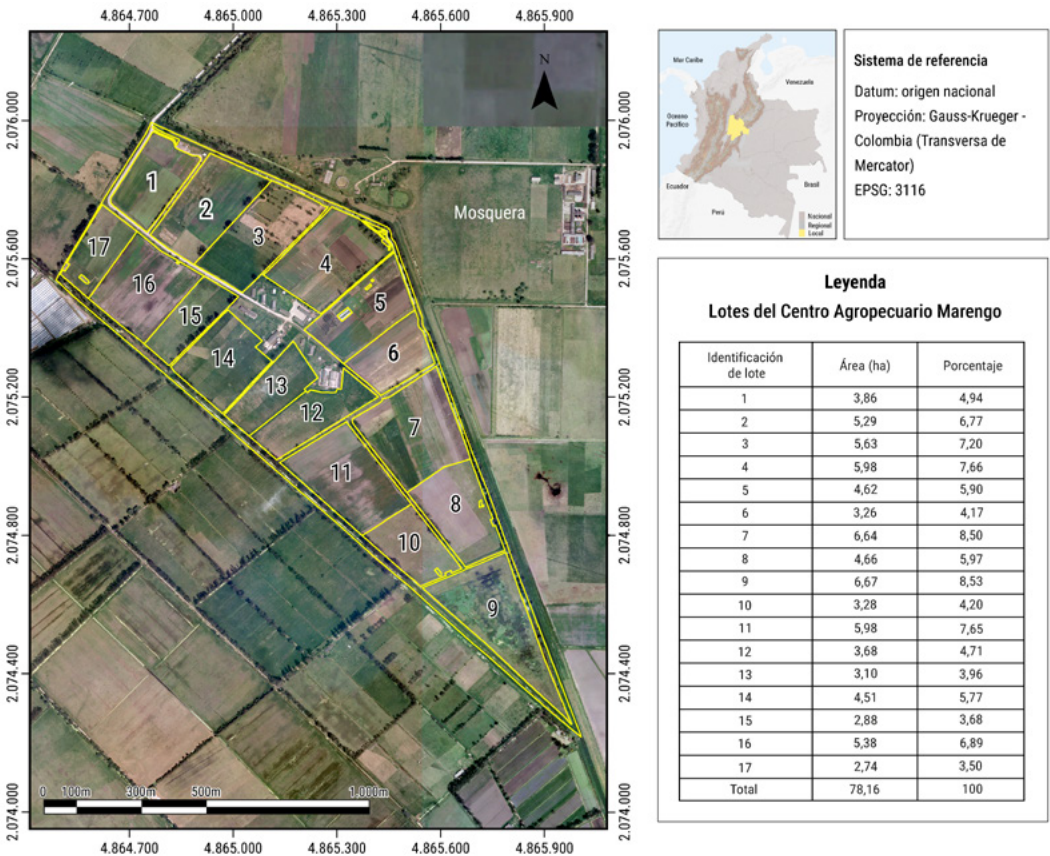
El área de estudio corresponde al Centro Agropecuario Marengo (CAM) ubicado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca), subdividido en 17 lotes con una extensión total de 94,55 hectáreas de las cuales 15,04 ha (15,9%), corresponden a construcciones, vías y pantanos (Figura 1). El uso de los suelos ha sido mayoritaria-

mente en actividad ganadera y caprina con algunas rotaciones de cultivos transitorios como maíz y avena.

En cuanto a las características climáticas del área, esta presenta una distribución de lluvias bimodal con una precipitación media anual de 1.124,3 mm. La temperatura media es de 12,7 °C con una variación máxima de temperatura entre el día y la noche de 13 °C en los meses de diciembre y enero, que junto a condiciones de baja humedad relativa favorece la presencia de heladas. El clima del área según la clasificación de Caldas – Lang es Frío Seco (Ordóñez y Bolívar, 2014).

Estos suelos del CAM han sido originados a partir de arcillas fluvioacustres, sedimentos aluviales y ceniza volcánica. La clasificación taxonómica corresponde a tres órdenes de suelos, Inceptisoles, Molisoles y Andisoles, con una participación de 59%, 28% y 13% del área neta del centro, respectivamente. Los Inceptisoles y Andisoles presentan características de buen drenaje ubicados básicamente en los planos de terraza; por otro lado, los molisoles presentan drenaje pobre a muy pobre y se encuentran generalmente ubicados en las cubetas de decantación (Ordóñez y Bolívar, 2014).

Figura 1 - Ubicación del Centro Agropecuario Marengo y distribución de lotes



Fuente: Ordóñez y Bolívar, 2014.

### Conformación de grupos de manejo

Para la conformación de grupos de manejo se toma como base el levantamiento agrológico del CAM, se analizaron cada una de las Unidades Cartográficas de Suelos, definiendo las limitaciones que se encontraron, tomando en cuenta el perfil modal, tanto la descripción de esta, como los datos analíticos de las muestras de suelos tomadas en cada horizonte del perfil modal, así las cosas se agruparon las UCS cuyo perfil modal y descripción tuvieran limitaciones similares en cuanto a salinidad, problemas de drenaje y compactación, así como las UCS cuyos suelos no tienen limitantes severas para su uso y manejo.

## Resultados

### Propiedades físicas

Para el análisis del uso y manejo de los suelos se tomaron muestras de los tres primeros horizontes de los perfiles modales de las 15 unidades cartográficas de suelos que existen en el CAM, estas muestras fueron analizadas tanto desde el punto de vista físico como químico en el Laboratorio Nacional de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, desde el punto de vista físico se analizaron las siguientes determinaciones: porcentaje de limo, porcentaje de arcilla, densidad aparente, clase textural, porosidad total y estabilidad estructural. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1 - Formato de captura de información de movimientos en masa y erosión**

| UCS                      | Perfil | Horizontes<br>cm | %L<br>Limo | %A<br>Arcilla | Da <sup>a</sup> g/<br>cm <sup>3</sup> | Clase<br>textural | PT <sup>**</sup><br>% | Estabilidad<br>estructural<br>DPM <sup>***</sup> |
|--------------------------|--------|------------------|------------|---------------|---------------------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|
| Consociación Maizal      | M-3    | 0-37             | 38.81      | 51.54         | 1.11                                  | Ar                | 52.16                 | Estable                                          |
|                          |        | 17-43            | 44.56      | 44.18         | 1.23                                  | ArL               | 47.21                 | Ligeramente estable                              |
|                          |        | 43-70            | 55.95      | 27.02         | 1.05                                  | FarL              | 56.07                 | Ligeramente estable                              |
|                          |        | 43-70            | 55.95      | 27.02         | 1.05                                  | FarL              | 56.07                 | Ligeramente estable                              |
| Consociación Invernadero | M-4    | 0-14             | 56.14      | 34.00         | 1.0                                   | FarL              | 57.63                 | Moderadamente estable                            |
|                          |        | 14-34            | 57.45      | 31.00         | 0.87                                  | FarL              | 62.50                 | Moderadamente estable                            |
|                          |        | 34-55            | 58.0       | 30.00         | 0.78                                  | FarL              | 63.72                 | Moderadamente estable                            |
|                          |        | 0-13             | 36.61      | 57.37         | 1.01                                  | Ar                | 55.70                 | Estable                                          |
| Consociación Abejas      | M-15   | 13-47            | 33.67      | 60.02         | 1.48                                  | Ar                | 38.84                 | Estable                                          |
|                          |        | 47-93            | 51.90      | 32.55         | 0.06                                  | FarL              | 60.66                 | Estable                                          |
|                          |        | 0-14             | 41.99      | 48.24         | 1.02                                  | ArL               | 54.87                 | Moderadamente estable                            |
|                          |        | 14-46            | 49.92      | 39.09         | 1.27                                  | FarL              | 43.56                 | Estable                                          |
| Consociación Riego       | M-10   | 46-72            | 56.81      | 38.43         | 1.23                                  | FarL              | 47.44                 | Ligeramente estable                              |
|                          |        | 0-14             | 55.14      | 34.28         | 0.75                                  | FarL              | 66.37                 | Moderadamente estable                            |
|                          |        | 14-37            | 57.65      | 31.67         | 0.94                                  | FarL              | 57.66                 | Moderadamente estable                            |
|                          |        | 37-58            | 58.97      | 30.02         | 1.00                                  | FarL              | 55.16                 | Moderadamente estable                            |
| Consociación Acacia      | M-14   | 0-37             | 40.89      | 49.49         | 0.95                                  | ArL               | 57.78                 | Estable                                          |
|                          |        | 37-74            | 50.95      | 36.57         | 1.07                                  | FarL              | 54.47                 | Moderadamente estable                            |
|                          |        | 74-90            | 54.07      | 29.38         | 0.97                                  | FarL              | 56.31                 | Ligeramente estable                              |
|                          |        | 0-14             | 56.89      | 38.60         | 0.94                                  | FarL              | 58.59                 | Ligeramente estable                              |
| Consociación Ciencia     | M-8    | 14-29            | 52.94      | 35.68         | 1.17                                  | FarL              | 48.68                 | Ligeramente estable                              |
|                          |        | 29-60            | 49.86      | 34.20         | 1.15                                  | FarL              | 52.67                 | Ligeramente estable                              |
|                          |        | 0-25             | 42.95      | 47.93         | 1.08                                  | ArL               | 53.04                 | Estable                                          |
|                          |        | 25-41            | 43.20      | 47.71         | 1.27                                  | ArL               | 45.26                 | Estable                                          |
| Consociación Rábano      | M-7    | 41-71            | 57.45      | 25.14         | 0.97                                  | FL                | 58.55                 | Ligeramente estable                              |
|                          |        | 0-36             | 36.89      | 55.69         | 1.32                                  | Ar                | 43.10                 | Estable                                          |
|                          |        | 36-52            | 43.34      | 45.63         | 1.28                                  | ArL               | 45.53                 | Moderadamente estable                            |
|                          |        | 52-70            | 58.81      | 28.57         | 0.97                                  | FarL              | 59.41                 | Ligeramente estable                              |
| Consociación Ovejas      | M-6    | 0-45             | 56.88      | 33.15         | 0.98                                  | FarL              | 56.44                 | Moderadamente estable                            |
|                          |        | 45-77            | 67.85      | 13.80         | 0.88                                  | FL                | 62.87                 | Inestable                                        |
|                          |        | 77-106           | 71.39      | 6.84          | 0.71                                  | FL                | 69.40                 | Inestable                                        |
|                          |        | 0-25             | 44.65      | 31.45         | 0.97                                  | FarL              | 56.11                 | Estable                                          |
| Consociación Eucalipto   | M-1    | 25-40            | 68.67      | 8.50          | 0.79                                  | FL                | 66.24                 | Ligeramente estable                              |
|                          |        | 40-67            | 74.81      | 8.51          | 0.70                                  | FL                | 71.19                 | Inestable                                        |

| UCS                       | Perfil | Horizontes<br>cm | %L<br>Limo | %A<br>Arcilla | Da <sup>a</sup> g/<br>cm <sup>3</sup> | Clase<br>textural | PT <sup>**</sup><br>% | Estabilidad<br>estructural<br>DPM <sup>***</sup> |
|---------------------------|--------|------------------|------------|---------------|---------------------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|
| Consociación Eucalipto II | M-11   | 0-30             | 56.27      | 39.48         | 0.82                                  | FarL              | 62.73                 | Estable                                          |
|                           |        | 30-48            | 53.61      | 32.05         | 0.81                                  | FarL              | 64.63                 | Ligeramente estable                              |
|                           |        | 48-77            | 69.20      | 11.61         | 0.66                                  | FL                | 71.43                 | Inestable                                        |
|                           |        | 0-42             | 36.20      | 55.49         | 1.14                                  | Ar                | 48.88                 | Estable                                          |
| Consociación Humedal      | M-2    | 42-63            | 43.90      | 46.60         | 1.20                                  | ArL               | 47.83                 | Ligeramente estable                              |
|                           |        | 63-96            | 62.03      | 26.73         | 1.01                                  | FL                | 57.92                 | Ligeramente estable                              |
|                           |        | 0-15             | 50.01      | 40.68         | 1.08                                  | ArL               | 52.21                 | Ligeramente estable                              |
|                           |        | 15-44            | 57.70      | 33.95         | 1.24                                  | FarL              | 45.61                 | Ligeramente estable                              |
| Consociación Cíclo        | M-9    | 44-80            | 49.21      | 38.02         | 0.94                                  | FarL              | 60.67                 | Inestable                                        |
|                           |        | 0-19             | 46.93      | 41.72         | 1.36                                  | ArL               | 41.63                 | Estable                                          |
|                           |        | 19-47            | 57.81      | 23.59         | 0.91                                  | FL                | 62.24                 | Inestable                                        |
|                           |        | 47-70            | 50.80      | 21.20         | 0.76                                  | FL                | 67.38                 | Ligeramente estable                              |

Nota: <sup>a</sup>Da = densidad aparente; <sup>\*\*</sup>PT = porosidad total; <sup>\*\*\*</sup>DPM = diámetro ponderado medio.

La evaluación de estos parámetros permite obtener información del avance de los procesos de degradación del suelo, sus causas y el efecto de estos, sobre las propiedades físicas y químicas, que pueden incidir el manejo adecuado de estos suelos.

### Propiedades químicas

Para el análisis del uso y manejo de los suelos se tomaron en cuenta los mismos primeros horizontes y las siguientes características químicas: porcentaje de carbono orgánico, pH, conductividad eléctrica, porcentaje de sodio intercambiable, clase salina y fertilidad, teniendo en cuenta el valor y la calificación. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2 - Características químicas de las Unidades Cartográficas de Suelos utilizadas para la evaluación**

| UCS                       | Perfil | Horizonte<br>cm | CO <sup>a</sup> % | pH  | CE <sup>b</sup> (ds/m) | PSI <sup>c</sup> % | Clase | Fertilidad<br>Valor | Calificación |
|---------------------------|--------|-----------------|-------------------|-----|------------------------|--------------------|-------|---------------------|--------------|
| Consociación Maizal       | M-3    | 0-17            | 2.7               | 5.1 | 1.30                   | 3.20               | N     | 70                  | Alta         |
|                           |        | 17-43           | 1.0               | 5.7 | 0.78                   | 4.80               | N     |                     |              |
|                           |        | 43-70           | 1.0               | 5.9 | 1.40                   | 14.80              | N     |                     |              |
|                           |        | 0-14            | 3.1               | 5.0 | 1.8                    | 1.2                | N     |                     |              |
| Consociación Invernadero  | M-4    | 14-34           | 3.2               | 5.2 | 1.0                    | 2.8                | N     | 71                  | Alta         |
|                           |        | 34-55           | 3.0               | 5.0 | 1.5                    | 15.0               | N     |                     |              |
|                           |        | 0-13            | 3.8               | 5.3 | 2.0                    | 1.2                | N     |                     |              |
|                           |        | 13-47           | 2.6               | 5.4 | 1.6                    | 16.3               | Na    |                     |              |
| Consociación Abejas       | M-15   | 47-93           | 1.3               | 5.5 | 2.6                    | 19.9               | Na    | 73                  | Alta         |
|                           |        | 0-14            | 3.8               | 5.7 | 1.0                    | 2.8                | N     |                     |              |
|                           |        | 14-46           | 1.6               | 5.9 | 3.36                   | 19.5               | Na    |                     |              |
|                           |        | 46-72           | 1.5               | 6.6 | 0.9                    | 5.9                | N     |                     |              |
| Consociación Riego        | M-10   | 0-14            | 5.7               | 5.7 | 10.7                   | 14.7               | S2    | 75                  | Alta         |
|                           |        | 14-37           | 5.8               | 5.7 | 9.9                    | 22.0               | S2Na  |                     |              |
|                           |        | 37-58           | 5.3               | 5.8 | 8.9                    | 29.7               | S2Na  |                     |              |
|                           |        | 0-37            | 5.3               | 5.9 | 2.2                    | 8.5                | L     |                     |              |
| Consociación Acacia       | M-14   | 37-74           | 1.5               | 5.3 | 1.8                    | 12.0               | N     | 79                  | Alta         |
|                           |        | 74-90           | 0.9               | 5.6 | 2.9                    | 13.3               | L     |                     |              |
|                           |        | 0-14            | 2.8               | 5.3 | 0.9                    | 4.7                | N     |                     |              |
|                           |        | 14-29           | 3.0               | 5.4 | 0.9                    | 3.6                | N     |                     |              |
| Consociación Ganado       | M-13   | 29-60           | 0.6               | 5.7 | 1.1                    | 16.8               | Na    | 82                  | Alta         |
|                           |        | 0-25            | 3.1               | 5.4 | 2.0                    | 5.8                | L     |                     |              |
|                           |        | 25-41           | 1.5               | 5.4 | 1.4                    | 6.4                | N     |                     |              |
|                           |        | 41-71           | 1.2               | 5.5 | 1.9                    | 6.5                | N     |                     |              |
| Consociación Rábano       | M-7    | 0-36            | 2.4               | 5.7 | 0.34                   | 5.1                | N     | 8,8                 | Muy alta     |
|                           |        | 36-52           | 1.8               | 5.2 | 0.51                   | 5.7                | N     |                     |              |
|                           |        | 52-70           | 1.1               | 5.6 | 0.68                   | 10.6               | N     |                     |              |
|                           |        | 0-45            | 3.0               | 5.6 | 0.34                   | 7.8                | N     |                     |              |
| Consociación Ovejas       | M-6    | 45-77           | 0.9               | 5.7 | 0.51                   | 21.7               | Na    | 8,8                 | Muy alta     |
|                           |        | 77-106          | 1.3               | 5.7 | 0.68                   | 16.2               | Na    |                     |              |
|                           |        | 0-25            | 1.5               | 5.6 | 2.38                   | 11.7               | L     |                     |              |
|                           |        | 25-40           | 7.0               | 6.5 | 0.54                   | 9.8                | N     |                     |              |
| Consociación Eucalipto    | M-1    | 40-67           | 1.2               | 6.5 | 1.91                   | 15.8               | Na    | 73                  | Alta         |
|                           |        | 0-30            | 5.3               | 5.3 | 4.8                    | 10.9               | Si    |                     |              |
|                           |        | 30-48           | 3.3               | 5.4 | 4.0                    | 13.4               | Si    |                     |              |
|                           |        | 48-77           | 2.9               | 5.4 | 6.1                    | 19.9               | SiNa  |                     |              |
| Consociación Eucalipto II | M-11   | 0-42            | 2.6               | 5.0 | 1.72                   | 4.91               | N     | 8,6                 | Muy alta     |
|                           |        | 42-63           | 1.4               | 5.2 | 1.17                   | 4.91               | N     |                     |              |
|                           |        | 63-96           | 0.91              | 5.5 | 1.36                   | 12.28              | N     |                     |              |
|                           |        | 0-15            | 3.0               | 5.4 | 5.0                    | 8.5                | Si    |                     |              |
| Consociación Humedal      | M-2    | 15-44           | 1.3               | 5.4 | 3.9                    | 11.9               | L     | 77                  | Alta         |
|                           |        | 44-80           | 1.3               | 5.4 | 4.0                    | 15.5               | Na    |                     |              |
|                           |        | 0-19            | 3.1               | 5.4 | 1.8                    | 5.9                | N     |                     |              |
|                           |        | 19-47           | 1.2               | 5.6 | 1.9                    | 13.3               | N     |                     |              |
| Consociación Cíclo        | M-9    | 47-70           | 1.2               | 5.6 | 2.5                    | 15.0               | Na    | 8,2                 | Alta         |

Nota: <sup>a</sup>CO = carbono orgánico; <sup>b</sup>CE = conductividad eléctrica; <sup>c</sup>PSI = porcentaje de sodio intercambiable.



## Discusión de resultados

### Discusión de las propiedades físicas de los suelos

Los resultados analíticos de las propiedades físicas de las diferentes unidades cartográficas de suelos, tenidos en cuenta para implementar un manejo adecuado, permiten analizar diferentes comportamientos de los suelos así:

**Análisis granulométrico:** el análisis indica que la fracción de tierra fina menor de 2 mm, en la que se centran los estudios de uso y manejo está constituida por partículas de diferente tamaño, predominando las arcillas y los limos en los tres primeros horizontes especialmente. Estas fracciones indican que se trata de suelos pesados, que en general son plásticos en mojado y muy duros en estado seco, lo que hace que tengan grandes dificultades para el laboreo, por lo que es importante trabajarlos con el estado adecuado de humedad. Estos suelos retardan el movimiento del agua y el aire dentro del perfil y presentan riesgo de formación de sellado y de costra superficial. En las Unidades Cartográficas de Suelos, en donde disminuye el porcentaje de arcilla, aumenta el porcentaje de limo, lo cual es propio del material geológico que dio origen a estos suelos, correspondientes a materiales formados por la sedimentación del antiguo lago que cubrió la parte central de la sabana de Bogotá, que al secarse (año 38.000 a.C.) permitió que el río Bogotá y sus afluentes empezaran la disección del relleno lacustre, lo que explica las variada posiciones que ocupan los distintos materiales, tales como, arcillas lacustres, terrazas aluviales, depósitos coluviales y cenizas volcánicas. Las arcillas lacustres identificadas en el CAM, son una consecuencia de la colmatación sucedida en un gran lago donde procesos tectónicos alternaban en periodos pluviales fríos con periodos cálidos de relativa sequía, dando origen a sedimentos de arenas finas, limos y turbas con intercalaciones arcillosas. Respecto a los materiales derivados de cenizas volcánicas identificados en el CAM provienen de la actividad de los volcanes del complejo Ruiz, Santa Isabel y Tolima, constituyendo total o parcialmente el perfil.

**Densidad aparente:** el análisis de esta característica indica que hay dos comportamientos diferentes en los perfiles de suelos analizados. El primero varía entre 1,0 g/cm<sup>3</sup> y 1,48 g/cm<sup>3</sup> y el otro entre 0,70 g/cm<sup>3</sup> y 0,98 g/cm<sup>3</sup> en general. Además, muestran incremento en el segundo horizonte y tendencia a disminuir en el tercer horizonte. Estos resultados indican que como se trata de un parámetro relacionado con las prácticas de manejo de los suelos y aguas y por consiguiente, la que más influye sobre la productividad de los cultivos, su comportamiento está asociado con las difusión de nutrientes en el suelo, y al aumentar, se incrementa la compactación y se afectan las condiciones de retención de humedad, limitando a su vez el crecimiento de las raíces. La naturaleza, las dimensiones y el arreglo de las partículas del suelo (Brady y Weil, 1999), además de factores relacionados con su génesis y formación que también influyen sobre los valores de la densidad aparente, por lo cual es necesario el análisis de otras propiedades, que permitan estar seguros de este comportamiento, que es lo que se hace seguidamente. Los horizontes que presentan rangos de densidad por debajo de 1,0 g/cc, son suelos con presencia cenizas volcánicas, que tienen que ver con el material parental que los originó y corresponden a los perfiles M-5, M-1, M-11 y M-12.

**La porosidad total** de un suelo varía del 40% a 60%. Valores inferiores pueden causar asfixia en las raíces, al igual que bajos contenidos de *retención de agua* y/o o ambos a la vez. Un valor superior al límite máximo supone una dificultada para el contacto entre el suelo y las raíces de las plantas. En este rango superior se encuentran los perfiles M-1, horizontes segundo y tercero, M-5, horizontes segundo y tercero, M-11, los tres primeros horizontes, M-14, primer horizonte, M-12, segundo y tercer horizonte, este último perteneciente a la geoforma cubeta de desborde, con un comportamiento especial, ya que considerando los datos de macroporosidad y microporosidad, que se estimaron en el levantamiento agrológico del CAM, para la misma capa, presentan un comportamiento inverso (disminución), condición que refleja la existencia de un horizonte con disminución en el movimiento del agua y desarrollo de raíces desde los primeros centímetros (Ordoñez y Bolívar, 2014). Cuando en los suelos predomina la microporosidad se genera un ambiente asfixiante y reductor con escaso suministro de oxígeno para las raíces, como se manifiesta en los perfiles: M-14, segundo y tercer horizonte, M-15, los tres primeros horizontes, M-6, segundo y tercer horizontes, M-7, tercer horizonte, M-8, segundo horizonte, M-13, tercer horizonte. La contraria supone una buena aireación, pero una retención de agua insuficiente, perfil M-1, los tres primeros horizontes, y perfil M-2, segundo horizonte.

**La estabilidad de la estructura** es definida como la resistencia que los agregados del suelo ofrecen a los agentes disgregantes externos, como el agua, el viento, el pisoteo, y manipulaciones mecánicas. Estos suelos en su mayoría son estables en el primer horizonte, lo que indica que la materia orgánica juega un papel importante en la estabilidad de los primeros horizontes. Sin embargo, la tendencia es a disminuir esa estabilidad hacia la profundidad del perfil, tornándose de estables a ligeramente estables hasta inestables, lo que indica que el agente disgregante de estos suelos es el agua, que a medida que permanece más tiempo en contacto con los agregados, estos tienden a colapsarse, ya que las sustancias cementantes tienden a disolverse o debilitarse.

En los perfiles M-1 y M-11 a medida que profundizan pasan de estables, a moderadamente estables e inestables como se aprecia en el tercer horizonte, en donde hace presencia el catión sodio, causante de la degradación de estos suelos, ya que actúa como agente dispersante de algunos coloides del suelo. El perfil M-5 se torna inestable desde el segundo horizonte hacia la profundidad y esto se debe a que el sodio comienza a estar presente a medida que se profundiza en el perfil, provocando la dispersión de los coloides y la degradación del suelo.

**Profundidad Efectiva:** la profundidad efectiva de los suelos es muy importante tenerla en cuenta porque de ella depende el volumen de agua que el suelo puede almacenar para el crecimiento óptimo de las plantas. La raíz de la planta profundiza hasta donde las condiciones de aireación y drenaje le permitan respirar y, además, en estos suelos esta es afectada también por las fluctuaciones del nivel freático.

Los niveles freáticos de los perfiles de suelos M-3, M-8, M-4 y M-10, pertenecientes a la posición geomorfológica planicie de desborde y los perfiles modales M-2 y M-9 de la posición geomorfológica cubeta de desborde, varían en profundidad, entre 30 cm, 50 cm y 80 cm de la superficie, lo que favorece el ascenso

de sales y sodio a través del perfil, e impide el lavado de estas, cuando se han aplicado como fertilizantes minerales al suelo.

Estas condiciones se presentan por ser suelos de planicie de desborde del Río Bogotá, cuyas aguas, están altamente contaminadas, problema agravado además por la baja porosidad y la compactación que retienen el flujo del agua y dificultan su percolación. Son suelos pobremente drenados como lo informa la descripción de campo y los análisis físicos.

*El color del suelo:* el cual se determinó en campo mediante la utilización de la tabla Munsell, es importante como indicador de características del suelo que pueden ser críticas para el desarrollo de estas. En estos suelos en donde el drenaje no es uniforme, los colores grises y la presencia de moteados asociados a diferentes compuestos de hierro, son indicativos del drenaje pobre. Algunos pueden tener coloraciones negras por presencia de materia orgánica o de óxidos de manganeso. La determinación de esta propiedad fue valorada en campo directamente, utilizando la tabla de colores propia para tal fin.

### Discusión de las propiedades químicas de los suelos

Las propiedades químicas analizadas para el manejo de estos suelos fueron el pH, la conductividad eléctrica, el porcentaje de sodio intercambiable y la materia orgánica, que están relacionadas, de alguna manera, con las propiedades físicas del suelo, puesto que son indicativos de la degradación de los suelos, tales como la salinización y la alcalinización (véase Tabla 2).

*Salinización:* las sales afectan a las propiedades fisicoquímicas del suelo, produciendo un efecto importante sobre el rendimiento de los cultivos pues se produce un exceso de iones Na (sodicidad) con respecto a los iones Ca y Mg, rotura o dispersión de los agregados con lo que se bloquean los poros conductores y, además, se reduce la permeabilidad del suelo debido a que se compacta y la capacidad del suelo para que la planta pueda absorber el agua queda severamente reducida.

Los problemas de drenaje que presentan estos suelos indirectamente producen acumulaciones salinas en la superficie o bien a diferentes profundidades del perfil del suelo, que provocan efectos adversos en la permeabilidad del suelo y afectan la infiltración del agua, siendo este un caso específico de excesos de sodio.

Las sales son buenas conductoras de electricidad y por ello la manera de medir el contenido total de sales se hace mediante la determinación de la conductividad eléctrica. Por lo tanto, suelos con alto contenido de sales, como el perfil M-14, presentan los valores más altos, en tanto que los suelos medianamente salinos como el perfil M-11 y ligeramente salinos como el perfil M-7, presentan los valores más bajos respectivamente.

*Alcalinización:* en contraste con la salinidad, la sodicidad afecta adversamente las propiedades físicas del suelo, alterando las propiedades de los agregados y reduciendo la permeabilidad al agua y al aire. La adsorción de sodio (Na) sobre la superficie de las arcillas aumenta el espesor de la doble capa difusa que rodea a las partículas de arcilla, aumentando la fuerza repulsiva entre partículas adyacentes de igual carga. Este fenómeno produce dispersión de las arcillas y deterioro de la estructura del suelo. El efecto de la sodicidad se manifiesta generalmente en una deficiencia de calcio inducida por las altas concentraciones de sodio. La medida del pH y la relación de adsorción de sodio (RAS), que

tradicionalmente se usan para detectar problemas de sodio en el suelo, no siempre son eficaces, por tanto, es importante acudir a la medida del porcentaje de sodio intercambiable (PSI), puesto que es indispensable conocer si todo el sodio que se encuentra en el suelo es soluble y fácilmente corregible por lavado, o si hace parte del complejo intercambiable del suelo, en cuyo caso habrá otras alternativas de corrección. El PSI determinado en el análisis de salinidad, informa sobre los contenidos reales del sodio intercambiable al que se le ha descontado el sodio soluble (Taboada, 2008).

Los suelos con el PSI superior a 15, un RAS superior a 13 y una CE mayor a 4 dS/m, se clasifican como sódicos (Anexo 1) y es el caso de la mayoría de los suelos analizados, en donde la presencia del sodio está en el primer horizonte en algunos casos, o se presenta en uno de los horizontes más profundos o en otros a través de todo perfil de suelo, incrementando su valor a medida que se profundiza. Esto es debido a las fluctuaciones del nivel freático, cuyas aguas, además de ser salinas son sódicas. Solamente los perfiles M-7, M-6, M-2, M-3 y M-4 no presentan problemas de sales, ni de sodio, posiblemente porque el nivel freático se encuentra más profundo.

*Carbono orgánico y pH:* estas dos propiedades del suelo son indicativas de la capacidad productiva del suelo. El carbono orgánico es el principal componente de la materia orgánica del suelo y afecta tanto las propiedades químicas como las físicas del suelo, vinculadas con la productividad. Los suelos de CAM presentan rangos de pH y contenidos de CO adecuados, lo que ha permitido que tenga una muy buena fertilidad, (véase Tabla 2), considerada desde el punto de vista químico, dado que tienen la capacidad de suministrar nutrientes suficientes al cultivo, pero esta podrá ser afectada por otras características, que inciden en la penetración de las raíces para poder absorber nutrientes. Como es de esperarse los contenidos de carbón orgánico son más altos en el primer horizonte, considerada como la capa arable y disminuye a medida que se profundiza en el perfil. En cuanto al pH, este controla la movilidad de los iones, la precipitación y disolución de minerales y la disponibilidad de nutrientes. La remoción de bases (calcio, magnesio y potasio), sin reposición de estas, conlleva una disminución en el complejo de intercambio y acidificación de los suelos.

## Grupos de uso y manejo

En la Tabla 3 se presentan las características y cualidades consideradas para asociar los suelos en cuatro grupos de manejo, cuya representación espacial se encuentra en la Figura 2. Adicionalmente en los anexos del 1 al 5 se encuentran las tablas soporte de la calificación de las diferentes características y cualidades evaluadas.

Para la separación de cada grupo de manejo se tuvo en cuenta el factor más limitante para el desarrollo y la productividad de los cultivos, como lo es la presencia de sales y sodio que impiden la toma de nutrientes por las plantas y afectan las propiedades fisicoquímicas del suelo. Esto debido a que como puede observarse en la Tabla 3, cada uno de los suelos presenta problemas en alguna de las condiciones evaluadas.

En la Tabla 3 también se pueden observar los horizontes de suelos con diferentes grados de compactación en condiciones naturales (sin intervención antrópica) lo que se explica por las condiciones que dominaron durante la formación y la evolución del suelo, (niveles freáticos fluctuantes), puesto que el proceso de

compactación del suelo está muy relacionado con el contenido de humedad; los suelos con un contenido de humedad igual o mayor a capacidad de campo se compactan con mayor facilidad en relación a suelos secos. Sin embargo, es bajo condiciones de intensivo uso agrícola que este fenómeno se acelera y llega a producir serios problemas en el desarrollo de las plantas cultivadas, afectando el drenaje. Independiente de la alta fertilidad de los suelos, desde el punto de vista químico, esta se ve afectada por las condiciones físicas mencionadas.

*Grupo II:* presenta problemas de salinidad ligera y moderada que pueden corregirse con el manejo adecuado de riego superficial y drenaje eficiente para evitar estancamientos de las sales. El agua utilizada para el riego debe estar libre de sales. Se puede utilizar para cultivos que no sean muy susceptibles a las sales o cuyas raíces no profundicen mucho, por ejemplo, algunos frutales como ciruelos, que además de tolerar sales, se adapta a suelos compactados, hortalizas como espinaca, girasol, pepino, tomate, cebada y leñosos como la higuera. Pertenecen a este grupo las UCS: Ganado (M-13; Figura 4), Maízal (M-3), Eucalipto (M-11), Ciclo (M-9).

**Tabla 3 - Características y cualidades consideradas para agrupar los suelos en cuatro grupos de manejo**

| Grupo | Consociación | Perfil | Compactación Mpa <sup>a</sup> megapascal | Infiltración básica cm/hora | Drenaje natural             | Profundidad del nivel freático | Fertilidad | Sales y sodio        | Permeabilidad | Área ha |
|-------|--------------|--------|------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------|----------------------|---------------|---------|
| I     | Rábano       | M-7    | Aceptable                                | Moderada                    | Muy pobremente drenado      | No se observa                  | Alta       | Normal               | Permeable     | 35,7    |
|       | Ovejas       | M-6    | No aceptable                             | Lenta                       | Muy pobremente drenado      | No se observa                  | Muy alta   | Normal               | Semipermeable |         |
|       | Humedal      | M-2    | No aceptable                             | Lenta                       | Muy pobremente drenado      | Superficial                    | Alta       | Normal               | Semipermeable |         |
|       | Invernadero  | M-4    | Aceptable                                | Moderada                    | Moderadamente drenado       | Moderadamente profundo         | Alta       | Normal               | Semipermeable |         |
| II    | Ganado       | M-13   | No aceptable                             | Moderada                    | Muy pobremente drenado      | No se observa                  | Muy alta   | Ligeramente salino   | Permeable     | 24,1    |
|       | Maízal       | M-3    | No aceptable                             | Moderada                    | Imperfectamente drenado     | Superficial a los 55 cm        | Alta       | Ligeramente salino   | Semipermeable |         |
|       | Eucalipto II | M-11   | Aceptable                                | Moderada                    | Bien drenado                | No se observa                  | Muy alta   | Moderadamente salino | Permeable     |         |
|       | Ciclo        | M-9    | Aceptable                                | Moderada                    | Imperfectamente drenado     | Superficial a los 50 cm        | Alta       | Moderadamente salino | Semipermeable |         |
| III   | Acacia       | M-14   | No aceptable                             | Moderada                    | Bien drenado                | No se observa                  | Alta       | Salino sódico        | Semipermeable | 1,17    |
| IV    | Abeja        | M-15   | No aceptable                             | Moderada                    | Encharcamientos ocasionales | No se observa                  | Alta       | Sódico               | Semipermeable | 18,4    |
|       | Feijoa       | M-5    | Aceptable                                | Rápida                      | Bien drenado                | No se observa                  | Muy alta   | Sódico               | Permeable     |         |
|       | Eucalipto    | M-1    | No aceptable                             | Moderada                    | Bien drenado                | No se observa                  | Alta       | Sódico               | Permeable     |         |
|       | Avena        | M-12   | No aceptable                             | Moderada                    | Muy pobremente drenado      | No se observa                  | Alta       | Sódico               | Semipermeable |         |
|       | Riego        | M-10   | No aceptable                             | Moderada                    | Moderadamente drenado       | Moderadamente profundo         | Alta       | Sódico               | Permeable     |         |
|       | Ciencia      | M-8    | No aceptable                             | Moderada                    | Moderadamente drenado       | Moderadamente profundo         | Alta       | Sódico               | Permeable     |         |

El análisis en conjunto de las diferentes características de los suelos con fines de uso y manejo permitió establecer los siguientes grupos de manejo:

*Grupo I:* no presenta limitaciones graves que les impida el uso y manejo adecuado, pero debe tenerse en cuenta que presenta resistencia mecánica a la penetración. Los problemas de mal drenaje se pueden solucionar con adecuadas prácticas de drenaje como el establecimiento de canales. La conductividad hidráulica está favoreciendo la retención de humedad e infiltración, lo que afecta la fertilidad de estos suelos, porque es una propiedad que se relaciona con el movimiento del agua hacia las raíces de las plantas, la entrada del agua en el suelo y el flujo de agua de drenaje, entre otras, por lo tanto, es importante tener en cuenta estos problemas físicos en el momento de preparar el suelo para la siembra empleando subsoladores, que es un instrumento de labranza vertical, para romper las capas compactadas del suelo y evitar el daño de la estructura del suelo. En cuanto a especies de cultivos es preferible aquellos que no tengan un sistema radicular muy profundo, como pastos, hortalizas como la alfalfa, el apio, avena, berenjena, maíz dulce y de grano, pimiento, rábano, trigo y especies leñosas como ciruelo etc., que se adecuen a estas características del suelo. Pertenecen a este grupo las UCS: Rábano (M-7; Figura 3), Ovejas (M-6) y Humedal (M-2), Invernadero (M-4).

*Grupo III:* presenta problemas de sales y sodio que deben corregirse con drenaje y enmiendas, de tal manera que, al tratar el suelo con una enmienda como el yeso para sustituir el sodio. El drenaje y el riego deben evitar la acumulación de sales. La ventaja de este suelo es que es moderadamente bien drenado y el nivel freático moderadamente profundo. Se requieren cultivos que se adapten a estas condiciones y cuyas raíces no profundicen mucho como algunas especies de hortalizas, por ejemplo, cebada, remolacha azucarera. Pertenecen a este grupo la UCS acacia (M-14; Figura 5).

*Grupo IV:* Se caracterizan por problemas de compactación y sodicidad, requieren un manejo que facilite la penetración de las raíces de las plantas y también asegurar un buen drenaje para eliminar los excesos de sodio, mediante lavados y utilización de yeso (SO<sub>4</sub>Ca), como enmienda para reemplazar el sodio en los sitios de intercambio, por calcio.

Esta es la manera más adecuada y recomendable para tratar de mejorar los suelos, además utilizar cultivos que se adapten a estas condiciones como la remolacha azucarera, que requiere de sodio en su nutrición, ayuda a disminuir la presencia del elemento en el suelo. Pertenecen a este grupo las UCS: abeja (M-15), feijoa (M-5), eucalipto (M-1), avena (M-12; Figura 6), riego (M-10), ciencia (M-8).



Figura 2 - Grupo de usos y manejo del CAM

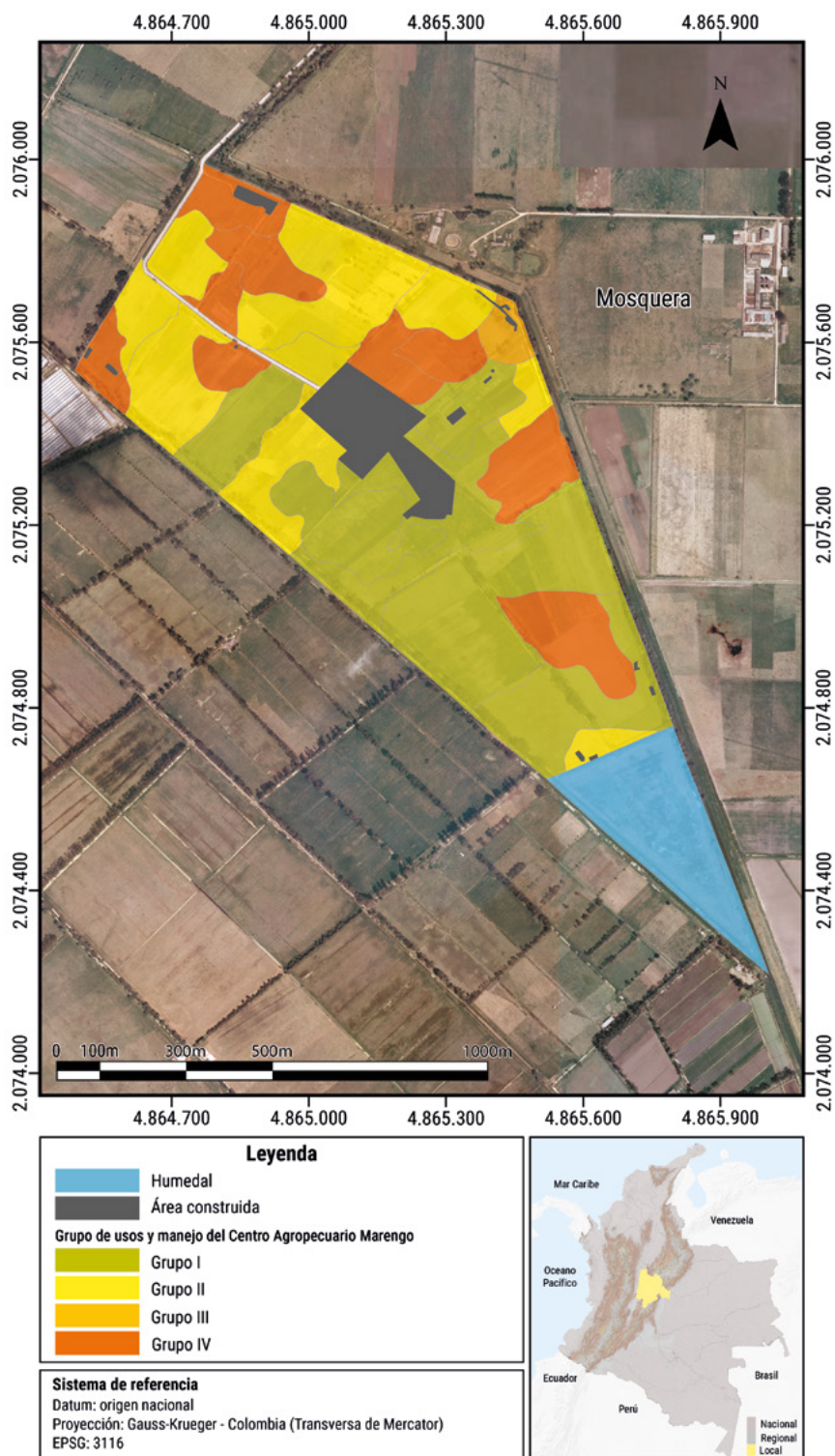


Figura 3 - Perfil M-7 Consociación rábano

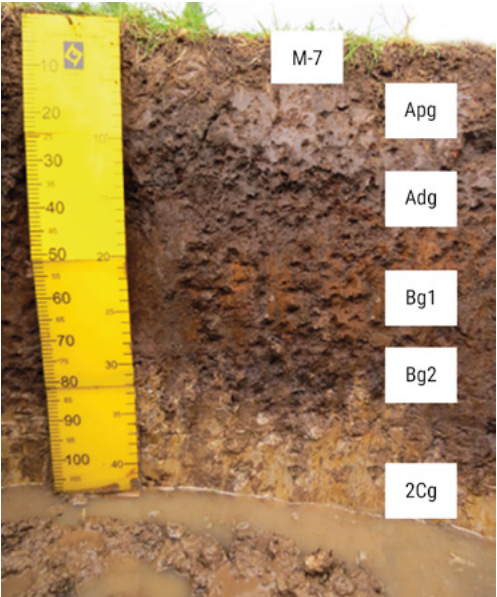


Figura 5 - Perfil M-14 Consociación acacia

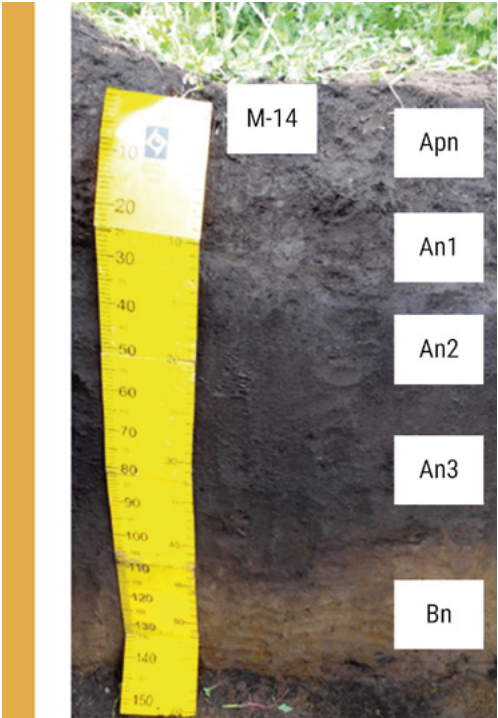


Figura 4 - Perfil M-13 Consociación ganado

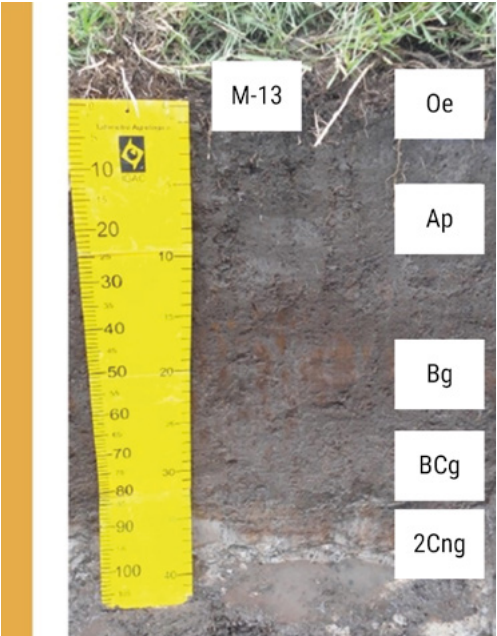
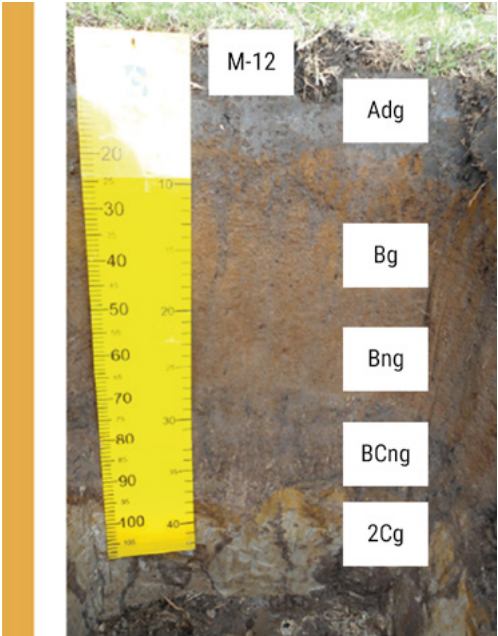


Figura 6 - Perfil M-12 Consociación avena



## Conclusiones

Los suelos del *grupo I* presentan una estabilidad estructural que varía de estable en los primeros horizontes, a moderadamente estable en profundidad, se considera que los suelos agrupados en este grupo no poseen limitaciones severas para su uso y manejo. es conveniente realizar un manejo adecuado de los sistemas de drenaje, planes de fertilización acorde con las necesidades de los cultivos, implementar prácticas de mínima labranza.

Los suelos del *grupo II*, presentan salinidad ligera y moderada, que puede ser corregida con un riego superficial y que se asegure un buen drenaje, mediante apertura de canales paralelos a la zona que se va a cultivar y a la cual se le debe realizar un aporte que facilite el drenaje del suelo. A la vez utilizar cultivos que se adapte a estas condiciones.

El drenaje superficial acorde con la descripción en campo de los suelos del *grupo III* se produce por un exceso de agua en el interior del suelo, debido a la presencia de la capa freática fluctuante, saturación de sales y sodio, en condiciones de mal drenaje, que produce una deficiencia de oxígeno y una acumulación de CO<sub>2</sub> que perjudica la respiración y la absorción de agua y nutrientes por las raíces. El manejo de estas condiciones debe incluir riego por goteo, con agua libre de sales, que garantice el lavado de las sales hacia los canales de drenaje.

## Recomendaciones

Es conveniente realizar un manejo adecuado de los sistemas de drenaje, planes de fertilización acorde con las necesidades de los cultivos, implementar prácticas de mínima labranza.

Se deben establecer drenajes que permitan eliminar los excesos de agua, tanto del perfil del suelo como de la superficie del terreno, con el objeto de mantener las condiciones de aireación y actividad biológica que garanticen una buena producción de cultivos.

El suelo que presenta condiciones salinas puede recuperarse con una adecuada combinación de drenaje y riego. Si el suelo es sódico, el drenaje permite el lavado de las sales después de la aplicación de enmiendas químicas.

El sistema de drenaje abierto en suelos que presentan niveles freáticos permanentes a profundidades menores de un metro es el más recomendado. Construcciones de diques, drenes abiertos y drenes entubados reducen el contenido de sales y de sodio.

En cuanto al sistema de riego más adecuado para estos suelos que presentan problemas de niveles freáticos fluctuantes y suelos pesados, es el riego por goteo, de tal manera que en tiempos cortos de suministro se pueda proveer el agua suficiente al cultivo; pero es indispensable que el agua que se utilice para el riego no tenga altos contenidos de sales. Esto con el fin de no crear problemas secundarios como anegamiento y deficiente aireación. Los riegos frecuentes mantienen un nivel alto de agua, en la zona radicular y reducen la posibilidad de que forme un estado de escasez en la planta. Este riego según las características de infiltración de los suelos aplica el agua con mayor precisión que si se tratara de un goteo por aspersión.

## Referencias

- Astier-Calderón, M., Maass-Moreno, M. y Etchevers-Barra, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(5), 605-610.
- Brady, N. C. y Weil, R. R. (1999). *La naturaleza y las propiedades de suelos*. Nueva Jersey, Prentice-Hall.
- Doran, J. W., Safley, M., Pankhurst, C. E., Doube, B. M. y Gupta, VV. (1997). Defining and assessing soil health and sustainable productivity. En C. Pankhurst, B. M. Doube, y V. V. S. R. Gupta (Eds.) *Biological Indicators of Soil health* (pp. 419-435). CABI International.
- Dumanski, J., Gameda, S. y Piere, C. (1998). *Indicators of Land Quality and Sustainable Land Management*. Washington, D. C., The World Bank.
- Etchevers Barrera, J. D., Hidalgo C., Pajares, S., Gallardo, J., Vergara, M., Bautista, M. y Padilla J. (2009). Calidad o salud del suelo: conceptos, indicadores y aplicación. En J. López Blanco y M. de L. Rodríguez Gamiño (Coord.), *Desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad en México* (pp.107-122). Instituto de Geografía- Universidad Nacional Autónoma de México.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Degradación del suelo*. Portal de suelos de la FAO de <https://acortar.link/hzrVoR>
- Ferreras, L., Toresani, S., Bonel, B., Fernández, E., Bacigaluppo, S., Faggioli, V. y Beltrán, C. (2009). Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Ciencia del Suelo*, 27(1), 103-114.
- Gregorich, E. G., Carter, M. R., Angers, D. A., Monreal, C. M. y Ellert B. H. (1994). Towards a Minimum Data Set to Assess Soil Organic Matter Quality in Agricultural Soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 74(4), 367-385. <https://doi.org/10.4141/cjss94-051>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2014). *Monitoreo y seguimiento del estado de la calidad de los suelos*. Ecosistemas. de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/monitoreo-seguimiento-estado-calidad-suelos>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (Manual de códigos)*. <https://es.scribd.com/document/479024798/Instructivo-para-los-levantamientos-de-suelos-Manual-de-Codigos>
- Malagón, D. (2016). *Suelos y tierras de Colombia*. (Tomo 2). Subdirección de Agrología- Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Moreno, C., González, M. I. y Egido, J. A. (2015). Influencia del manejo sobre la calidad del suelo. *Ecuador es calidad: Revista Científica Ecuatoriana*, 2(1), 33-40.
- Ordoñez Delgado, N. y Bolívar Lucero, A. (2014). *Levantamiento Agrológico del Centro Agropecuario MARENGO (CAM)*. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia e Instituto Geográfico Agustín Codazzi.



Ortiz Solorio, M., Anaya Garduño, M. y Estrada Berg Wolf, J. W. (1994). *Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra*. Texcoco, Edo. México: Colegio de Postgraduados.

Peinemann, N., Díaz-Zorita, M. Villamil, M. B., Luserreta, H. y Grunewald, D. (1998). Consecuencias del riego complementario sobre propiedades edáficas en la Llanura Pampeana. *Ciencia del Suelo*, 16(1), 39-42.

Pepi, M. L., Grosso, G. A. y Díaz-Zorita, M. (1998). Contenido salino del agua freática vinculado al tamaño de partículas de los suelos del noroeste bonaerense (Argentina). *Ciencia del Suelo*, 16(2), 122-124.

Pla Sentís, I. (2010). *Metodología para la caracterización física de diagnóstico y problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales*. Universidad Central de Venezuela.

Porta Casanellas, J. y López-Acevedo Reguerin, M. (2005). *Agenda de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid, Mundi Prensa.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y Colegio de Posgraduados. (2002). *Memoria Nacional 2001-2002. Evaluación de la degradación de la tierra causada por el hombre en la República Mexicana. Escala 1:250,000*. Ciudad de México, Memoria Nacional.

Stocking, M. y Murnaghan, N. (2003). *Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra* (C. Padilla y J. Abadejo, Trad.). Editorial Mundi-Prensa (Obra original publicada en 2001).

Taboada, M. A. (2008). *Funcionamiento de los suelos salinos y sódicos*. Instituto de Suelos, entro de Investigación de Recursos Naturales-Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria CIRN-INTA. <https://acortar.link/qNizpr>

Zavala-Cruz, J., Palma-López, D. J., Fernández Cabrera, C. R., López Castañeda, A. y Shirma Tórres, E. (2011). *Degradación y conservación de suelos en la cuenca del río Grijalva. Tabasco*. Gobierno del Estado de Tabasco, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental, Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Petróleos Mexicanos.

Zinck, J. A. (2014). Suelos, información y sociedad. *Suelos Ecuatoriales*, 44(2), 113-124

Anexos

Anexo 1 - Clasificación de suelos a partir del contenido de sales y sodio

| Parámetros | Salino | Normal | Sódico | Salino-sódico |
|------------|--------|--------|--------|---------------|
| pH         | < 8.5  | < 8.5  | > 8.5  | > 8.5         |
| CE (dS/m)  | > 4    | < 4    | < 4    | > 4           |
| PSI (%)    | < 15   | < 15   | > 15   | > 15          |

Fuente: IGAC, 2010.

Anexo 2 - Parámetros de evaluación de tierras que inciden en la compactación de los suelos

| Parámetros                                                  | Salino                   | Normal símbolo                              | Sódico                    | Salino-sódico                    | Parámetros                                  | Salino               |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|----------------------|
| Restricción al crecimiento radicular en 30 cm superficiales | RMP (MPa)                | b                                           | Excelente (0 a 0.7)       | Aceptable                        |                                             |                      |
| (0.7 a 1.3)                                                 | No aceptable (1.3 a 2.5) | Inhibición al crecimiento radicular (> 2.5) |                           |                                  |                                             |                      |
| Textura                                                     | Ar (%)                   | h                                           | FA a FAr                  | FA a Ar permeable (40< %Ar < 50) | FA a Ar semipermeable (%Ar > 50)            | -                    |
| Retención de agua                                           | AD (%)                   | q                                           | AD > 12.5                 | AD > 9.4                         | AD > 6.3                                    | AD < 6.3             |
| Infiltración de agua en el suelo                            | ib (cm h <sup>-1</sup> ) | i                                           | Rápida (12.7 < ib < 25.4) | Moderada (2 < ib < 12.7)         | Muy rápida (ib > 25.4) Lenta (0.1 < ib < 2) | Muy Lenta (ib < 0.1) |
| Fertilidad                                                  | Fertilidad               | y                                           | -                         | -                                | -                                           | -                    |
| Sodicidad                                                   | PSI (%)                  | a                                           | -                         | -                                | -                                           | -                    |
| Salinidad                                                   | CE (dS m <sup>-1</sup> ) | S                                           | CE < 2                    | CE < 4                           | CE < 8                                      | CE > 8               |

Fuente: FAO, 2016.

Nota: RMP: resistencia mecánica a la penetración; Text: textura; AD: agua disponible; ib: infiltración básica; Fert: fertilidad; PSI: porcentaje de sodio intercambiable; S: salinidad.

Anexo 3 - Parámetros de evaluación de tierras que inciden en la compactación de los suelos

| Características | Profundidad                     | Código | Perfiles                                         |
|-----------------|---------------------------------|--------|--------------------------------------------------|
| Nivel freático  | No se observa                   | 6      | M-15, M-14, M-13, M-7, M-6, M-5, M-1, M-11, M-12 |
|                 | Superficial 25-50 cm            | 2      | M-2, M-3, M-9                                    |
|                 | Moderadamente profundo 0-100 cm | 3      | M-4, M-10, M-8                                   |
| Drenaje natural | Imperfectamente drenado         | 11     | M-3, M-15, M-13, M-8, M-9                        |
|                 | Moderadamente drenado           | 12     | M-4, M-10                                        |
|                 | Muy pobremente drenado          | 9      | M-7, M-6, M-2, M-12                              |
|                 | Bien drenado                    | 13     | M-14, M-5, M-1, M-11                             |

Anexo 4 - Evaluación de sales y sodio para uso y manejo

| Características | Conductividad eléctrica CE | Saturación de sodio PSI | Perfiles                        | Clase                   |
|-----------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Salinidad       | 0-2                        | < 15                    | M-3, M-4, M-6, M-2, M-7         | Normal                  |
|                 | 2-4                        | < 15                    | M-13,                           | S1 Ligeramente salino   |
|                 | 4-8                        | < 15                    | M-11, M-9                       | S2 Moderadamente salino |
| Salino sódico   | 8-16                       | > 15                    | M-14                            | S2 NA                   |
| Sódico          | 0-2                        | > 15                    | M-5, M-12, M-15, M-10, M-8, M-1 | NA                      |

Anexo 5 - Calificación de las distintas UCS con fines de uso y manejo

| Calificaciones de nivel freático, drenaje natural, salinidad y sodicidad | Clases |
|--------------------------------------------------------------------------|--------|
| 6 - 9 - N                                                                | I      |
| 6 - 9 - N                                                                | I      |
| 2 - 9 - N                                                                | I      |
| 6 - 11 - S1                                                              | II     |
| 6 - 13 - S2                                                              | II     |
| 2 - 11 - S1                                                              | II     |
| 3 - 12 - N                                                               | II     |
| 2 - 11 - S2                                                              | II     |
| 6 - 11 - Na                                                              | III    |
| 6 - 11 - Na                                                              | III    |
| 6 - 13 - Na                                                              | III    |
| 6 - 9 - Na                                                               | III    |
| 3 - 13 - S2Na                                                            | III    |
| 3 - 12 - Na                                                              | III    |

*Nota:* interpretación de las calificaciones: 6: no se observa el nivel freático; 3: nivel freático moderadamente profundo; 2: nivel freático superficial; 11: imperfectamente drenado; 12: moderadamente drenado; 9: muy pobremente drenado; 13: bien drenado.