

DIAGNOSTICO DE LOS PROBLEMAS DE SALINIDAD EN LOS SUELOS DEL VALLE DE EL TOCUYO

Por:

José Alarcón Mella

Tesis para optar *al* grado de Magister *Scientiae* en Suelos y Riego

www.bdigital.ula.ve

CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO INTEGRAL
DE AGUAS Y TIERRAS
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
MERIDA-VENEZUELA
1982

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

A mi esposa Jazmín.

A mis compañeros de estudio.

www.bdigital.ula.ve

AGRADECIMIENTO

El autor quiere expresar agradecimientos a la Organización de los Estados Americanos (OEA) y a la Secretaría de Estado de Agricultura de la Repú**ú**blica Dominicana, por haber brindado el patrocinio de mis estudios de Post-grado. Al centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT), por el caudal de conocimientos proporcionados, mediante su equipo de profesores, especialmente a los profesores: Dimas Malagón y Aldo Noreno, cuerpo y alma de la Opción "Suelos y Riego", mereciendo este último especial mención por su cooperación en la interpretación de los resultados de esta tesis.

Al profesor Luis Rázuri R. guía y sostén del trabajo que marca el punto culminante del Post-grado.

También quiero expresar mi agradecimiento al M.A.R.N.R., Zona 3, en las personas de Haydee Castaño de Gómez y Beatriz Arriechi; así como al Departamento de Suelos de la U.C.L.A., en la persona de Reyna Pérez de Roberti, cuya valiosa colaboración hizo posible la finalización de los trabajos de la laboratorio.

Finalmente a la señora Ana Peñaloza de Torres por su labor en el mecanografiado del trabajo, al personal de la Biblioteca del CIDIAT que me brindó todas las facilidades a su alcance, y al Dibujante Alberto Acevedo.

www.bdigital.ula.ve

INDICE	Pág.
AGRADECIMIENTO.	ii
LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS.	vii
RESUMEN	viii
Capítulo	
I. INTRODUCCION.	1
Objetivos	2
Definición del Problema	2
II. REVISION DE LITERATURA.	5
Los Suelos Salinos.	5
Fuentes de Sales Solubles	5
Procesos de Salinización de los Suelos.	7
Suelo salino o potencialmente salino	7
Suelos salino-sódicos o sódicos.	10
Suelos salinos-ácidos.	13
Efectos de las Sales en los Cultivos.	14
El Diagnóstico de los Problemas de Salinidad.	15
Recuperación de Suelos afectados por Sales.	15
Calidad del Agua para Riego	17
III. CARACTERISTICAS DEL AREA ESTUDIADA.	23
Generalidades	23
Geología.	25
Formación Morán.	25
Formación Barquisimeto	25
Formación Matatere	25
Geomorfología	26
Aportes Longitudinales	26
Napa aluvial Q ₂	26
Napa aluvial Q ₁ a Q _{0b}	26
Napa de desbordamiento	27
Depresiones laterales	27
Depresiones marginales	27

INDICE (Continuac.)	Pág.
Depósitos actuales	27
Aportes laterales	27
Vallecitos coluvio-aluviales	29
Abanicos de explayamiento	29
Clima	29
Hidrografía y Drenaje	30
Suelos.	30
Uso Actual y Vegetación	33
IV. MATERIALES Y METODOS.	35
Muestreo de Suelos.	35
Metodología de muestreo.	35
Muestreo de Aguas Superficiales	36
Muestreo de Aguas Subterráneas.	36
Observaciones de Campo.	38
Análisis de Laboratorio	38
Análisis de suelos	38
Extracto de saturación	38
Determinaciones químicas.	39
Conductividad eléctrica.	39
Cationes solubles.	39
Aniones solubles.	39
Criterios de Clasificación de Suelos.	39
Clasificación de Aguas.	39
V. RESULTADOS Y DISCUSION.	43
Sales Totales	43
Distribución de las Sales	47
Naturaleza de las Sales	53
Calidad de las Aguas.	56
Aguas Superficiales.	56
Aguas Subterráneas	58
Origen de las Sales	60
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	63
Conclusiones.	63

INDICE (Continuación)

Pág.

Distribución de sales en el perfil.	64
Naturaleza de las sales.	65
Origen de las sales.	65
Calidad de las aguas.	66
Recomendaciones.	66
BIBLIOGRAFIA.	71
APENDICE A. Tablas de resultados analíticos de las muestras de suelo y Figuras de análisis del comportamiento de la conductivi- dad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en las uni- dades de suelos estudiados	75
APENDICE B. Figuras y Tablas usadas para la calificación de las aguas de riego	107
APENDICE C. Mapa de las áreas afectadas por sales en el valle estudiado.	121

www.bdigital.ula.ve

TABLA	LISTA DE TABLAS	Pág.
1	Resumen de las Unidades de Suelos	31
2	Uso Actual y Vegetación	33
3	Resultados analíticos y clasificación de las Aguas Superficia - les.	57
4	Resultados analíticos y clasificación de las Aguas Subterráneas	59

www.bdigital.ula.ve

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Ubicación relativa del Area Estudiada.	24
2. Principales posiciones Geomorfológicas del área.	28
3. Esquema del muestreo de aguas	37
4. Contenido de sales totales en las unidades de suelos de acuerdo con su elevación.	44
5. Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Aquic Cambortid en El Molino.	48
6. Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Aquic Cambortid en El Amparo	49
7. Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Aquic Cambortid en Las Charcas.	50
8. Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Aquic Cambortid en Las Charcas-San Rafael	51
9. Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Ustollic Cambortid en Las Cruces-San Rafael.	52
10. Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Aquic Cambortid en Santa Teresa.	54
11. Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Aquic Cambortid en El Maonal.	55
12. Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Fluvaquentic Cambortid en El Playón.	61

RESUMEN

Las condiciones de salinización en los suelos de la depresión de "El Tocuyo", Estado Lara, República de Venezuela, comprendida entre el embalse "Dos Cerritos" y "San Francisco de Boro", han sido estudiadas en este trabajo usando como base el estudio simidetallado de los suelos, realizado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, (1981).

Se tomaron muestras en las unidades de Suelos Aquic Cambortid, Fluvaquentic Cambortid, Fluventic Cambortid y Ustollic Cambortid, señaladas como afectadas por problemas de salinización; procediéndose a realizar los análisis de salinidad correspondientes, en los cuales se incluyeron: cationes y aniones solubles, conductividad eléctrica y pH.

Del procesamiento de los datos obtenidos se pudo determinar la naturaleza, el contenido y distribución de las sales en el perfil del suelo. También, con los resultados analíticos de las muestras de aguas se estimó su calidad en relación a los suelos estudiados y la naturaleza de los cultivos del área, determinando con ello fracciones de lavado en las aguas superficiales y subterráneas.

Con el análisis de la información se pudo determinar que los problemas de salinización en el valle estudiado no son severos y que su localización se encuentra en las zonas más bajas del valle. Se concluyó que cerca de 230 hectáreas alcanzan niveles salinos perjudiciales al desarrollo normal de los cultivos sensibles y que el resto de las áreas poseen concentraciones menores que 40 meq/l de sales totales en la solución del suelo.

Se determinó también que las sales, generalmente, se acumulan en profundidad y que la distribución está estrechamente vinculada con la calidad del agua de riego utilizada. Se detectó asimismo una marcada predominancia de sales sulfatadas, principalmente sulfatos de calcio y magnesio, concentradas en las áreas de mayor salinidad.

Se determinó que el nivel freático y las aguas subterráneas usadas para riego son las fuentes más importantes de sales. También son de consideración, como fuentes salina, los aportes laterales de las montañas de la formación Barquisimeto, principalmente en los suelos con mal drenaje, ubicados en la margen derecha del río Tocuyo.

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO I

INTRODUCCION

La salinización es un proceso edafológico que afecta, con frecuencia, a los suelos de las regiones áridas y semiáridas, lo cual limita el número de especies cultivadas que puedan desarrollarse en estos suelos, sin sufrir efectos considerables en sus rendimientos. Esta condición se ve también inducida por el uso de aguas de riego de baja calidad, y más aún si al sistema de riego no se le diseña un sistema de drenaje capaz de evacuar los excesos que recargan el nivel freático.

La agricultura de la depresión de El Tocuyo se sostiene con una dotación permanente de aguas superficiales, y en algunos casos subterráneas. Actualmente, su aplicación se realiza sin ningún orden técnico y administrativo adecuado, lo que ocasiona pérdidas sensibles por escurrimiento y percolación a nivel parcelario, y un considerable ascenso sostenido del nivel freático en el valle.

Los suelos de esta zona poseen un elevado potencial agrícola, el cual se manifestaría aún más con la aplicación de técnicas adecuadas de riego y drenaje en toda el área. La ejecución de estas técnicas debe estar precedida por un conjunto de estudios básicos, entre los cuales se incluye el diagnóstico de las condiciones de salinidad de estos suelos y un conocimiento adecuado de la dinámica de este proceso pedogenético en el valle.

El manejo de las unidades de suelos se ejecutará de acuerdo con la situación actual y potencial de salinización. Este diagnóstico será una guía para la corrección de los problemas actuales, para evitar que los potenciales lleguen a una condición en la cual su recuperación no sería factible, por los altos costos que ello implicaría.

Objetivos

Los objetivos del estudio son los siguientes:

- Realizar un diagnóstico de los problemas de salinidad en el valle de El Tocuyo.
- Determinar el origen de los problemas de salinidad en los suelos del valle.
- Plantear soluciones y alternativas de manejo para los suelos afectados por sales.

Definición del Problema

En el valle de El Tocuyo, se advierte un deficiente manejo del agua de riego, lo que está provocando un proceso de ascenso de los niveles freáticos, los cuales en algunos lugares se mantiene la superficie, aún en época seca.

En base a reconocimientos de campo y de acuerdo a estudios realizados por Sequera, (1967) sobre la problemática de salinidad de los suelos de El Tocuyo se pudo apreciar las siguientes condiciones:

1. Los drenajes antiguos no están ubicados en aquellos lugares donde son necesarios, y más aún, muchos de ellos están perjudicando los terrenos al no permitir una conveniente salida de las aguas.
2. Los drenajes no tienen una adecuada pendiente, manteniéndose el agua estancada, por lo cual el nivel freático tiende hacia la superficie, llevando en su movimiento ascendente cantidades de sales en solución que al ser expuestas a una gran superficie de evaporación se concentran constituyendo las llamadas manchas y costras salinas.
3. Los suelos estudiados son bastante pesados y la topografía del

valle muy plana, existiendo pendientes inferiores al 2%, además de características climáticas de baja precipitación anual, pero de gran intensidad en cierta época del año. Esto hace que gran parte de las aguas de lluvia escurra por la superficie desde las partes más altas, arrastrando consigo sales solubles, las cuales se depositan en las partes planas, que carecen de drenaje adecuado, para posteriormente sufrir la acción de la fuerte insolación, dejando residuos salinos denominados manchas salinas.

En resumen se observó en campo:

- Manchas blancas localizadas.
- El terreno seco agrietado.
- Vegetación típica de mal drenaje (Juncea = Cyperus articulatus)
- Ausencia de vegetación en algunos lugares.
- La caña de azúcar presentaba daños característicos por exceso de sal en el suelo, tal como hojas quemadas y muy rígidas.

Esta problemática se concentra en las unidades de suelos ubicados en posiciones geomorfológicas denominadas napa de desborde y cubetas de decantación, características de los valles encajonados como lo es el suelo estudiado.

Las unidades afectadas por la problemática del mal drenaje y salinidad han sido clasificadas taxonómicamente como: Aquic Cambortid, Fluvaquentic Cambortid, Ustollic Cambortid y Fluventic Cambortid, de acuerdo al estudio de suelos realizado por el MARNR, (1981), por lo cual las unidades de suelos ubicadas en los 2°, 3° y 4° nivel de terraza no presentan problemas de drenaje ni salinidad.

La unidad de suelos más afectada es la formada por un Aquic Cambortid, la cual en gran parte del valle, presenta problemas de drenaje y salinidad. Se observó con frecuencia que el nivel freático estaba muy cerca de la superficie, llegando hasta unos 20 cm en algunas zonas, aún en época seca, so

bre todo en la fase mal drenada de la parte baja del valle.

En esta parte, es significativo el caso de "El Playón", en el cual se pudo apreciar la presencia de eflorescencias salinas en el suelo, acompañadas de una vegetación particular de suelos salinos. Esta parte se encuentra bajo los efectos continuos de aportes hídricos provenientes de laderas de la formación geológica Barquisimeto, la cual esta formada por materiales que son una fuente de compuestos salinizantes.

En la unidad de suelo Aquic Cambortid, al realizar perforaciones profundas, mayores de 2,5 m, se advirtió la presencia de capas arcillosas muy en durcidas que dificultan el drenaje interno de estos suelos.

Todas estas condiciones desfavorables se unen a un deficiente manejo de la agricultura, en la cual se incluye la no existencia de técnicas adecuadas de aplicación de fertilizantes, de aspectos fitotécnicos, etc. De aquí que los cultivos presenten un cuadro sintomatológico que son un índice de bajos rendimientos.

CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

Los Suelos Salinos

De acuerdo con Pizarro, (1979), los suelos salinos con frecuencia se desarrollan en áreas de mal drenaje subterráneo, bien por razones topográficas, como depresiones, y/o edafológicas tales como presencia de estratos impermeables, en ambos casos, es un obstáculo al movimiento subterráneo del agua que termina ocasionando la presencia de capas freáticas próximas a la superficie.

Según Pla, (1979), en el proceso de salinización, revisten particular importancia los cambios que pueden ocurrir en la composición de la solución del suelo, debido a precipitación de ciertas sales de solubilidad limitada, tales como carbonatos de calcio y magnesio y sulfatos de calcio, lo que está de acuerdo con los conceptos emitidos por Ravina, (1979) y Richards (1979).

Los investigadores coinciden en que las sales se mueven siempre junto con el agua. La acumulación o remoción de éstas en el suelo, depende del movimiento del agua a través del mismo y de su desplazamiento a otras áreas. En forma cuantitativa, dicho movimiento y remoción será consecuencia de los aportes de agua superficial y subterránea, de las propiedades hidrológicas del perfil del suelo, y de la existencia de drenajes suficientes y apropiados para remover el exceso de agua.

Fuentes de Sales Solubles

Las sales solubles del suelo, están conformadas principalmente, por varias proporciones de los cationes sodio, calcio y magnesio y de los aniones cloruro y sulfato; el catión potasio y los aniones bicarbonatos, carbonatos y nitratos, se encuentran generalmente en cantidades menores. La fuente original, y en cierto modo la más directa, de la cual provienen las sales an

tes mencionadas, son los minerales primarios que se encuentran en los suelos y en las rocas expuestas de la corteza terrestre.

Clarke, (1974) citado por Richards, (1977), ha estimado que el contenido de medio de cloro y azufre de la corteza terrestre es de 0,05 y 0,06 por ciento respectivamente, mientras que el sodio, calcio y magnesio casi se encuentran a razón de 2 y 3 por ciento. Durante el proceso de intemperización química que comprende hidrólisis, hidratación, solución, oxidación y carbonatación, estos constituyentes gradualmente son liberados adquiriendo mayor solubilidad.

Richards, (1977), Pla, (1979) y Ravina, (1979), señalan que los iones bicarbonato se forman como consecuencia de la solución del CO_2 en el agua. El CO_2 puede ser de origen atmosférico o biológico y el agua que contiene CO_2 es un activo agente químico intemperizante que libera cantidades apreciables de cationes en forma de bicarbonato. Aunque la intemperización de los minerales primarios es la fuente indirecta de casi todas las sales solubles, hay pocos ejemplos en los que se haya acusado suficiente cantidad de sal de este origen para formar un suelo salino (Richards, 1977).

Todos los investigadores están de acuerdo en que los suelos salinos generalmente se encuentran en áreas que reciben sales de otras localidades, siendo el agua el principal factor de acarreo. El océano puede ser la fuente de sales en aquellos suelos en los que el material original está constituido por depósitos marinos que se asentaron durante períodos geológicos y que a partir de entonces han emergido. A veces la sal se mueve tierra adentro a consecuencia del transporte por el viento, denominándosele sal cíclica, (Teakle, 1937).

Sin embargo, es más común que la fuente directa de sales sean las aguas superficiales y subterráneas, ya que las contienen disueltas y su concentración depende del contenido salino del suelo y de los materiales geológicos que han estado en contacto con estas aguas. (Pla, 1968, 1977, 1979 ; Ravina 1979 ; Pizarro, 1979). Las aguas actúan como fuente de sales cuando se usan para riego y pueden también agregar sales al suelo bajo condiciones naturales o cuando el agua subterránea sube hasta muy cerca de la superficie (Sequera, 1967 ; Pla, 1979 y Ravina, 1979).

Procesos de Salinización de los Suelos

Los suelos salinos se encuentran principalmente en zonas de clima árido o semiárido. En condiciones húmedas, las sales solubles, originalmente presentes en los materiales del suelo y las formadas por la intemperización de minerales, generalmente son llevadas a las capas inferiores, hacia el agua subterránea y finalmente transportadas a los océanos. (Sequera, 1967), (Pla, 1968), (Alvarez, 1974), (Arconada, 1974), (Franco, 1976), (Pla, 1979), (Ravina, 1979), (Pizarro, 1979). El drenaje restringido es un factor que frecuentemente contribuye a la salinización de los suelos y que puede llevar consigo la presencia de una capa freática poco profunda o una baja permeabilidad del suelo (Pizarro, 1979).

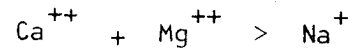
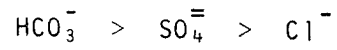
A continuación se presentan los conceptos sostenidos por Pla, (1979) sobre la dinámica de formación y las características de los suelos afectados por sales.

Suelo salino o potencialmente salino.

Incluye todos aquellos cuya concentración, composición y distribución de sales en el perfil de suelo, asociado a condiciones climáticas, de drenaje de composición y de concentración de sales en las aguas disponibles, provoquen o puedan producir, al introducir el riego, problemas en los cultivos derivados de la concentración total de sales en la solución del suelo. Todo ello de acuerdo al esquema general que se presenta a continuación:

Según este criterio cualitativo, se clasifican como "suelos salinos" aquellos que acumulan sulfato de sodio en climas áridos, o cloruro de sodio en climas áridos y semiáridos, independientemente de que los valores de la relación de adsorción de sodio (RAS) en la solución sean altos, ya que en ambos casos dicha acumulación va acompañada generalmente de precipitación de yeso. Esto, unido a la baja hidrólisis del sodio en ambas sales, en especial el NaCl, permite su lixiviación del perfil del suelo sin un deterioro marcado de las propiedades físicas de éste.

1. Agua con baja C.E.



Drenaje deficiente

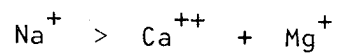
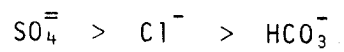


Clima árido

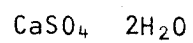
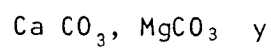


Suelo Salino

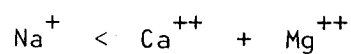
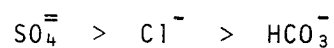
Alta C.E.



Precipitación de



2. Agua con alta C.E.



Drenaje bueno

Drenaje deficiente



Clima árido

Clima árido y semiárido

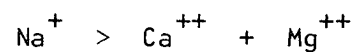
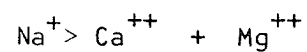
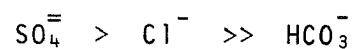
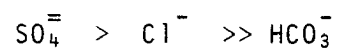


Suelo salino

Suelo salino

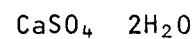
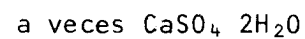
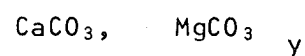
Alta C.E.

Alta C.E.



Precipitación de

Precipitación de



En suelos aún sin riego, el problema se considera actual, siempre que se presente a menos de 60 cm de profundidad, mientras que una acumulación de sales a menos de 150 cm de profundidad es un índice de la potencialidad del problema.

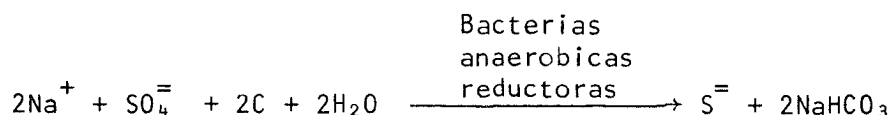
Suelos salino-sódicos o sódicos

Incluye aquellos cuya concentración, composición y distribución de sales en el perfil del suelo, asociado a condiciones de drenaje, clima y de composición y concentración de sales en las aguas de uso potencial para riego, provoque o puedan provocar problemas de deterioro físico de suelos, derivados de la acumulación de Na^+ intercambiable. Todo ello de acuerdo a los esquemas que se presentan en las páginas 11 y 12.

Se considera un suelo con drenaje deficiente cuando la infiltración básica es inferior a 5 mm/hora, o en los que el nivel freático se mantiene por más de cuatro meses en el año a menos de 1,5 m de profundidad. Se clasifica como árido a un clima con menos de dos meses con exceso de precipita - ción sobre la evapotranspiración potencial, y a un clima como semiárido cuando dicho exceso ocurre en más de dos meses pero en menos de cuatro al año.

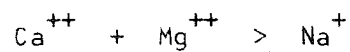
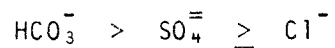
Se denomina alta conductividad eléctrica para aguas y extracto saturado del suelo, a valores superiores a 1 y 4 mmhos/cm a 25°C respectivamente.

El desarrollo de suelos sódicos a partir de salino-sódicos ricos en sulfato de Na parece ser un proceso común en áreas con drenaje muy deficiente, donde se acumula la materia orgánica y se muestran condiciones de exceso de agua por períodos prolongados en la estación de lluvias, e incluso en la época en que el agua se aplica en forma de riego. Dicho desarrollo parece seguir los pasos descritos por Whiltig y Janelzky, (1963), cuando observaron y estudiaron dicho proceso en suelo adyacente a canales no revestidos.



Desarrollo de suelos sódicos

1. Agua con baja CE



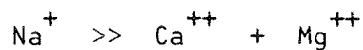
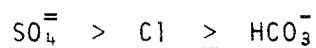
Drenaje deficiente



- Clima con distribución estacional de las lluvias
- Déficit de agua en una estación es seguido de excesos en la otra, Lluvias intensas.



Suelo salino - sódico



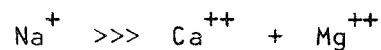
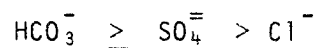
Precipitación de CaCO_3 y MgCO_3



Condiciones de anaerobiosis y acumulación de M.O.

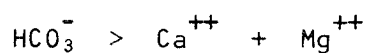
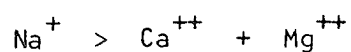
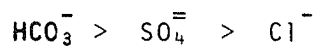


Suelo sódico



Precipitación de CaCO_3 y MgCO_3

2. Agua con baja CE



Drenaje Bueno



Clima árido



Suelo Sódico

Drenaje deficiente



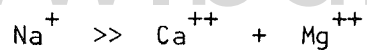
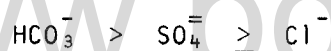
Clima árido



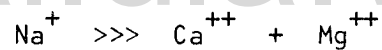
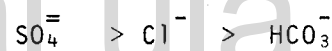
Suelo salino-sódico

Clima semiárido
a húmedo

Mediana a baja CE

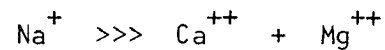
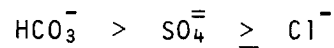


Alta CE:

Precipitación de CaCO_3 y MgCO_3 Lixiviación de $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Suelo Sódico

Baja CE



El anión $S^{=}$ puede combinarse con Fe^{++} formando FeS , o desprenderse en forma de SH_2 .

Este proceso de escasa significación en climas templados, parece ser la fuente actual, y puede ser la potencial de sodificación de grandes áreas en zonas tropicales donde se da la combinación de aguas, drenaje y clima con las características señaladas en el esquema.

Suelos salinos-ácidos

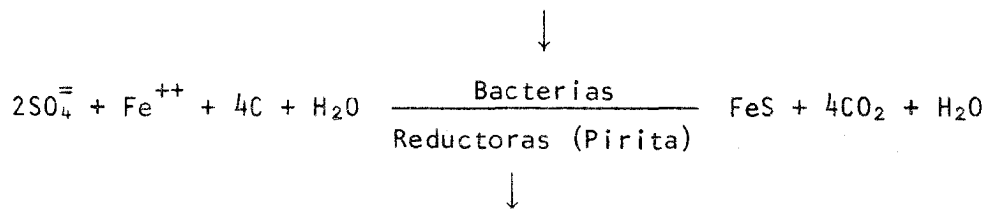
El proceso de desarrollo de este tipo de suelos parece seguir el siguiente esquema, cuya parte inicial corresponde a la formación de suelos sulfato-ácidos (Moorman, 1963, Pons, 1973).

Sedimentos arcillosos en áreas pantanosas
costeras con aguas salobres y mangle. (Rhyzohora Spp)
Compuestos de Fe .

Ambiente Reductor.

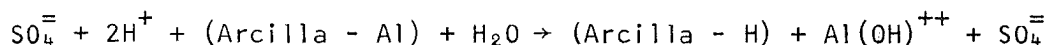
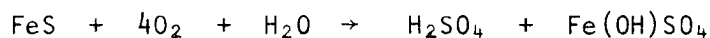
Alto contenido de $SO_4^{=}$ y otras sales en solución.

Fuente de materia orgánica: raíces de mangle.



Mejora de las condiciones de drenaje por procesos naturales, como son: descenso del nivel de las aguas, levantamiento de los sedimentos, o con la intervención del hombre con la instalación de drenes.

↓
Aereación, acidificación y "ataque" a las arcillas.

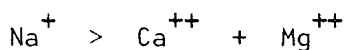
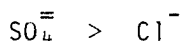


Condiciones de clima y drenaje que no permiten el desplazamiento profundo de las sales por lixiviación.



Suelo salino-ácidos

Alta CE



Efectos de las Sales en los Cultivos

Las sales solubles producen efectos dañinos en las plantas al aumentar el contenido de sal en la solución del suelo y el grado de saturación del complejo de intercambio del suelo con sodio intercambiable. (Richards, 1977; Sequera, 1969). Este último efecto se presenta cuando los constituyentes solubles son en su mayor parte sales de sodio, y es de naturaleza más permanente que el contenido salino de la solución del suelo ya que el sodio intercambiable generalmente persiste después que las sales solubles se han eliminado (Ravina, 1979; Pla, 1979, González, 1979).

Grillo et al (1979), estudiaron los efectos de la salinidad y alcalinidad de los suelos en la producción de la caña de azúcar en Colombia, encontrando relaciones entre la salinidad y la calidad de los jugos de la misma. También encontraron correlaciones entre contenido de sodio en el suelo y los rendimientos cuantitativos y cualitativos de los cultivos de caña.

El Diagnóstico de los Problemas de Salinidad

La problemática de la salinidad ha sido estudiada por muchos investigadores en Venezuela desde antes de los años 50.

Bascones, (1963), citado por Pla, (1969) plantea en forma clara los problemas de salinidad de algunos sistemas de riego del país, entre los cuales se encuentran los sistemas de Suata, Cumaná, El Cenizo, Cariaco, Neveri y El Tocuyo de La Costa.

Para el diagnóstico de los problemas de salinidad se han planteado algunas metodologías, una de las cuales fue propuesta por FUDECO en el año 1975 y en ella se presentan normas para el estudio y cartografía de áreas afectadas por sales.

Un procedimiento ya considerado clásico en la evaluación de suelos salinos es el propuesto por el USDA en el Handbook N° 60 (1954) y en el cual se usan parámetros indicadores como son la conductividad eléctrica, por ciento de sodio intercambiable (PSI), relación de adsorción de sodio (RAS), el pH, determinación de iones tóxicos para las plantas y algunos parámetros físicos como son la textura, estructura y permeabilidad.

El problema de salinidad en suelos bajo riego y las medidas para combatirlo han preocupado a todos los científicos de suelos, expertos de irrigación y agrónomos durante años. En la U.R.S.S. estas cuestiones han recibido especial atención desde los años de la década del 1930, en coordinación con cierto número de decisiones del gobierno acerca del desarrollo extensivo de la irrigación, para así disminuir la dependencia soviética de otro país en el abastecimiento de algodón. (Academia de Ciencias de la U.R.S.S., 1964).

Recuperación de Suelos afectados por Sales

Según Ravina, (1979), la recuperación y el manejo de suelos salinos y sódicos envuelve la lixiviación de los solutos y en algunos casos la introduc

ción de algunas enmiendas químicas en la solución, cuando los problemas de salinidad están asociados al mal drenaje y uso excesivo del agua.

Cuando se aplica a los cultivos agua en exceso, esta se mueve hacia abajo hasta capas menos permeables donde origina una tabla de agua. Cuando el nivel de agua es alto, 90 - 150 cm de la superficie, según la textura del suelo, el agua se mueve hacia arriba por capilaridad, llevando sales a la zona radicular y a la superficie del suelo (Pla, 1968, 1974, 1977 y 1979). Por este motivo debe tenerse cuidado cuando se diseñan sistemas de drenaje para mantener baja la tabla de agua (Ravina, 1979; Pla, 1979).

Es necesario señalar que si el diseño y cálculo del sistema de drenaje no se basa en mediciones y datos reales sobre las propiedades hidrológicas y estratificación del perfil de suelo, su efectividad puede ser nula en cuanto a los propósitos buscados, perdiéndose la inversión. Lo mismo ocurriría si la provisión de drenaje se ataca a escala de unidad de producción únicamente, ya que ello tenderá más bien a agravar la situación en los terrenos colindantes. (Sequera, 1967; Christiansen, 1970; Arconada, 1974; Alvarez, 1974; Franco, 1976; Pizarro, 1979; Pla, 1979 y Ravina, 1979).

De acuerdo con el laboratorio de salinidad del USDA, las prácticas especiales de recuperación pueden aplicarse durante cierto tiempo para mejorar las tierras parcialmente afectadas o para impedir que las tierras rehabilitadas se vuelvan otra vez improductivas. En aquellos lugares donde sólo se dispone de agua de baja calidad o donde no son económicos ni el drenaje ni la recuperación en gran escala, sería posible poner en práctica lo que pudiera considerarse como agricultura de suelos salinos. (Richards, 1977).

Llerena, (1977), señala las limitaciones en la recuperación de los suelos salinos como sigue:

1. Los costos de recuperación son elevados.
2. Escasez de agua para lavado.

3. Largos procesos de recuperación, lo que origina una amortización muy lenta de la inversión necesaria y durante este período los terrenos no rinden beneficios económicos.

4. Falta de créditos aplicados a la recuperación de suelos.

4. Desarrollo insuficiente y desconocimiento de las técnicas de recuperación.

Calidad del Agua para Riego

El balance entre los procesos de acumulación y remoción de sales de la zona radicular dependen de la composición y concentración de sales en el agua de riego, del manejo de éste, de las condiciones de drenaje natural y artificial y de otros factores. (Pla, 1968; Arconada, 1974; Pla, 1979; Ravina, 1979 y Pizarro, 1979).

En todas las aguas usadas para irrigación existen en forma predominante los iones bicarbonatos (HCO_3^-), cloruro (Cl^-) sulfato (SO_4^{--}), calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}) y sodio (Na^+). Para clasificarla se toman en cuenta, generalmente, la salinidad total, sus contenidos de sodio y bicarbonatos; y ocasionalmente los contenidos de ciertos elementos tóxicos como el B, Li, etc. En cualquier caso su calificación está determinada por el peligro potencial de causar problemas ya sea en cuanto a reducciones de los rendimientos o al requerimiento de prácticas especiales de manejo.

De acuerdo con Ravina, (1979), el agua utilizada para riego contiene sales solubles hasta el orden de los 4.000 gr/m^3 , el agua de lluvia contiene 5 a 40 ppm de sales. La aplicación de 100 mm de agua de riego con 1.000 ppm de sales introduce al suelo una tonelada de sales por Ha. Como las plantas extraen el agua del suelo, la mayor parte de las sales permanecen y se acumulan en el perfil del suelo. Por esto se considera que en todas las regiones áridas o semiáridas, los suelos sometidos a riego son potencialmente salinizados.

Muchas aguas de riego contienen grandes cantidades de sodio, debido a que las sales de sodio son las más solubles que hay en la naturaleza. (Pla, 1979; Ravina, 1979). Los autores coinciden en que las regiones áridas generalmente poseen aguas de mala calidad.

Con altas concentraciones de sales en el agua de riego, se alcanzan más rápido el PSI. Sin embargo, la concentración alta en la solución del suelo tiende a prevenir el efecto de dispersión del sodio adsorbido. Con bajas concentraciones de sales, el efecto físico adverso es que el alto PSI aparece más rápido (Bower, 1959; Pla, 1968, 1974, 1976, 1979; Ravina, 1979). Esto implica que la peor situación ocurre cuando un agua de "mala calidad" es seguida por agua de "buena calidad", tal como el caso de agua de lluvia. Estos efectos adversos son notorios en la estación lluviosa. (Richards, 1977 y Ravina, 1979).

En las últimas décadas se han desarrollado numerosos métodos para clasificar aguas de riego que van desde esquemas que indican la calidad de agua para su uso en condiciones medias, hasta el establecimiento de valores límites para un determinado cultivo en un área dada (U.S. Salinity Lab).

Uno de los sistemas de calificación más utilizado en las últimas décadas, y aun hoy día, es el propuesto por el Laboratorio de Salinidad del Servicio de Investigaciones Agrícolas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USSL, 1954), desarrollado para condiciones promedio en las regiones áridas del Suroeste de Estados Unidos.

En los últimos años, y por iniciativa de investigaciones de la misma institución (USSL), se han establecido criterios y desarrollado sistemas de evaluación de calidad de agua para riego que tratan de precisar y ampliar el rango de condiciones para su utilización, según Bernstein, (1967), Bower et al. (1968); Rhoades, (1968, (1972); Bernstein y Francois, (1973); Rhoades, (1974) citados por Pla, (1979).

Pla, (1979), propone un sistema de calificación cuyas bases teóricas son dadas por Pla, (1967, 1968a, 1969b, 1974) y los criterios son dados por la FAO, (1967a, 1976) a saber:

1. Para poder evaluar la calidad de aguas para riego es indispensable poder predecir no sólo la acumulación total de sales en el suelo, sino los cambios en la composición de iones disueltos e intercambiables, bajo un determinado manejo del riego.

2. La composición y concentración de sales e iones a alcanzarse en solución del suelo en condiciones de equilibrio, pueden estimarse mediante el uso de la ecuación general de balance de sales, válida sólo para condiciones promedio a largo plazo.

3. Cuando se alcanzan condiciones de equilibrio, todas las sales que se agregan al suelo con riego superficial se pierden en su parte inferior con el agua de drenaje.

4. Cuando el agua de riego contiene una concentración relativamente alta de bicarbonatos, la concentración relativa de Na en la solución del suelo y por ello el PSI, se incrementa con la precipitación de carbonatos de calcio en el suelo.

En resumen, según Pla, (1979), la calificación del agua para riego debe tomar en cuenta:

- a. Peligro de acumulación de sales totales.
- b. Peligro de acumulación de sodio
- c. Peligro de deterioro de propiedades físicas del suelo.
- d. Peligro de acumulación de cloruros.
- e. Peligro de acumulación de boro
- f. Peligro de acumulación de otros (pesticidas, herbicidas, etc.)

Los factores que afectan la calificación del agua en cuanto a la aprovechabilidad para su uso en riego son:

1. Contenido de sales en el agua

- a. Concentración total
- b. Iones presentes y sus concentraciones relativas

2. Cultivos

- a. Tolerancia a las sales
- b. Tolerancia a iones tóxicos
- c. Tolerancia a inundación por períodos prolongados
- d. Deterioro permisible en su rendimiento y calidad

3. Suelo

- a. Contenido inicial de sales y su distribución en el perfil
- b. Propiedades físicas e hidrológicas
- c. Retención de agua aprovechable
- d. Estabilidad estructural

4. Drenaje

- a. Natural
- b. Artificial

5. Clima

- a. Evapotranspiración
- b. Lluvia (cantidad, distribución, intensidad)

6. Manejo del riego (método, frecuencia, intensidad)

7. Otras prácticas culturales (técnicas de siembra, adaptación a etapas de sensibilidad del cultivo a las sales, etc.)

Finalmente, según Pla, (1979), cuando se determinan las posibilidades de usar un agua de riego, de acuerdo a los principales anteriores, es necesario considerar:

1. En cuanto a concentración y composición de las sales en el agua:
 - a. Posibles efectos sobre los cultivos
 - b. Requerimientos de lixiviación y drenaje
 - c. Requerimientos de manejo de riego
2. En cuanto a condiciones de suelo:
 - a. Posibilidades de lixiviación
 - b. Requerimientos de drenaje
 - c. Posibilidades técnicas para el drenaje
3. En cuanto a aspectos económicos:
 - a. Intereses locales y regionales
 - b. Intereses nacionales

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO III

CARACTERISTICAS DEL AREA ESTUDIADA

Generalidades

La parte estudiada del valle de El Tocuyo se encuentra ubicada entre los $9^{\circ} 45'$ y $9^{\circ} 57'$ de latitud norte, y los $69^{\circ} 46'$ y $69^{\circ} 50'$ de longitud oeste. Políticamente se ubica en el Municipio Bolívar, Distrito Morán, Estado Lara, y cuenta con una extensión aproximada de 5.000 hectáreas y una elevación promedio de 600 m.s.n.m. Su ubicación relativa se presenta en la Figura 1.

Por ser ésta una región árida es necesario el suplemento de agua de riego, cuya fuente principal de abastecimiento es el embalse "Dos Cerritos", con un sistema de conducción formado por canales no revestidos en los cuales existen evidencias de pérdidas por infiltración.

Las haciendas utilizan, en gran medida, las aguas superficiales para el riego, ya sea por gravedad o por bombeo desde los canales de riego. También, algunas fincas bombeaban agua del río Tocuyo, aún sabiendo las condiciones de contaminación en que se encuentran esas aguas por aportes de desechos sólidos del Central Tocuyo y del centro poblado El Tocuyo. Las condiciones de contaminación de estas aguas se aprecian a simple vista por la turbidez y olor característico.

Los casos de usos de aguas subterráneas para irrigación son escasos y están limitados a la Hacienda "El Callao", a orillas de "Quebrada Honda", en la cual existen cuatro pozos para extraer aguas subterráneas. También se observaron pozos dispersos en todo el valle, pero el uso de estas aguas es con fines de abastecimiento poblacional a diversos caseríos de la zona.

Es importante señalar el caos existente en la distribución del agua por el método de riego por superficie, que es el mayormente utilizado por los

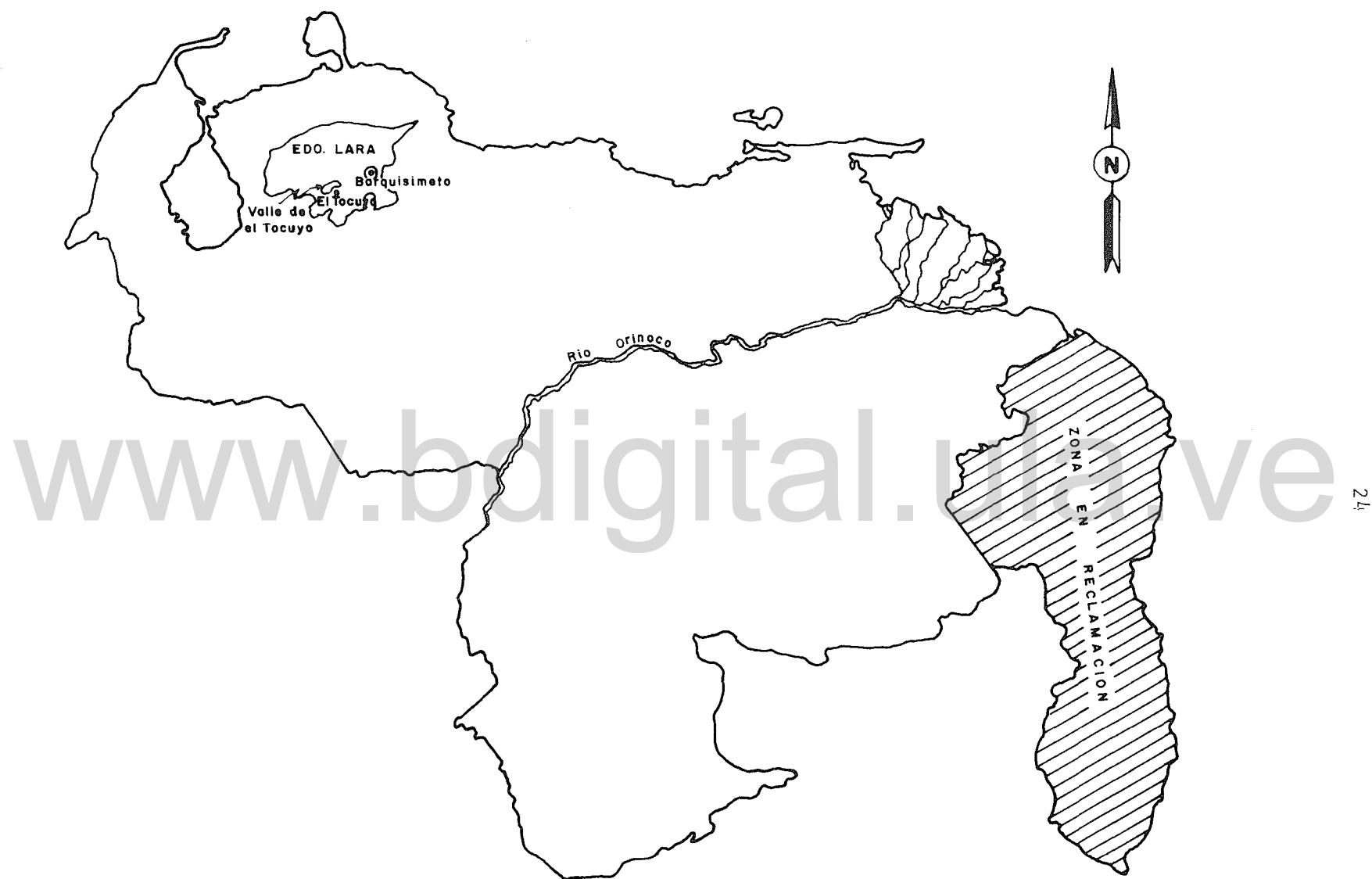


Figura 1 Ubicación relativa del área estudiada.

productores. Se observó en algunas parcelas sin vegetación, que el agua se aplica sin considerar la existencia de surcos, pues éstos se notaron desbordados.

También es obvio el uso de caudales sumamente erosivos en surcos, lo que ha generado la degradación estructural del horizonte superficial de los suelos.

Geología

En la zona de estudio se encuentran las siguientes formaciones geológicas: Morán, Barquisimeto y Matatere. A continuación se describen los rasgos sobresalientes de cada una, dados por el estudio de suelos realizado por el MARNR, (1981).

Formación Morán

Se caracteriza por presentar una secuencia de lutitas y areniscas con algunas calizas lenticulares. Las lutitas son de color gris a negro y, por meteorización, adquieren tonalidades grises, verdes o rojizas; las areniscas son ortocuarcitas de color blanco y están compuestas en más del 90% de granos de cuarzo.

Formación Barquisimeto

Está constituida por calizas, lutitas, limolitas, margas compactadas, lutitas silíceas y ftanitas. Las capas de calizas son muy discontinuas y se destacan más en la parte inferior de la formación.

Formación Matatere

Consiste en una monótona alternancia de areniscas y lutitas. Las areniscas son de color gris verdoso o marrón y se componen esencialmente de cuarzo, con proporciones menores de feldespatos, micas, circón y fragmentos líticos.

cos. Las lutitas son generalmente de color gris oscuro y tienen una composición esencialmente de cuarzo-clorita-micácea, con un pequeño porcentaje de feldespatos.

Geomorfología

Según COPLANARH, (1975), el área estudiada presenta un paisaje típico de valle encajonado, con una sucesión de terrazas aluviales escalonadas o encajonadas. Las más antiguas ($Q_4 - Q_3$) son de tipo escalonadas; están representadas por acumulaciones de piedemonte (aporte lateral), en forma de conos de deyección o abanicos de explayamiento, puestos en posición de terrazas como consecuencia de la erosión fluvial y de los movimientos tectónicos posteriores.

Las terrazas más recientes (Q_2 y Q_1), son esencialmente planas, a veces ligeramente disectadas (Q_2) y construidas sobre todo por material fino de napa de desborde.

También existen algunos remanentes de terrazas, en posición y aisladas en los sectores que han sido protegidos de la erosión fluvial posterior y el ataque de las quebradas laterales.

Aportes Longitudinales

Napa aluvial Q_2

Tiene una extensión muy reducida, en varios sectores ha sido erosionada o fosilizada por las acumulaciones posteriores; en el material depositado predominan las posiciones de napas de desbordamiento con texturas medianas (FL - FAL, con intercalación de estratos AL).

Napa aluvial Q_1 a Q_0

Es la que actualmente tiene mayor extensión en la depresión estudiada

y es afectada periódicamente por las inundaciones del río Tocuyo. Está representada por tres posiciones geomorfológicas principales, detalladas a continuación, y los cuales se ilustran con la Figura 2.

Napa de desbordamiento. Es el tipo de unidad de mayor extensión, las texturas más comunes son FL y FAL, hasta en el tramo inferior del valle.

Depresiones laterales. Las texturas predominantes, FAL - AL, indican inundaciones periódicas, pero sin estancamiento prolongado de agua.

Depresiones marginales. Se encuentran en los sitios arrinconados, protegidos de las corrientes fluviales, pero afectadas por estancamientos prolongados de las aguas; el material es siempre pesado, con texturas A - AL.

Depósitos actuales

Los depósitos actuales del río Tocuyo se reducen a:

1. Algunos depósitos de texturas muy variables (frecuentemente muy arenosos, con intercalaciones de gravilla) y con estructura pelicular en las orillas convexas, originados por desbordamiento localizados y recortes de meandros (complejo orillar).

2. Capas delgadas de sedimentos finos (limos y arcillas) y carbonato de calcio, depositadas en las vegas del río durante las inundaciones por desbordamiento generalizado.

Aportes Laterales

Son particularmente importantes en el tramo superior del valle, en el área estudiada, donde el medio climático semiárido a muy seco favorece la erosión de los flancos del valle, se reparten entre las siguientes formas:

VALLE ENCAJONADO RIO TOCUYO – SECTOR EL TOCUYO

	LLANURA ALUVIAL DE		TERRAZA		TERRAZA	TERRAZA
VEGA	DESBORDE		BAJA		MEDIA	ALTA
DIQUE	BANCO	BAJIO	BANCO	BAJIO	BANCO	BANCO

CLIMA

PRECIPITACION : 586,8 mm
 EVAPORACION : 2.745,8 mm
 TEMPERATURA : 28°C

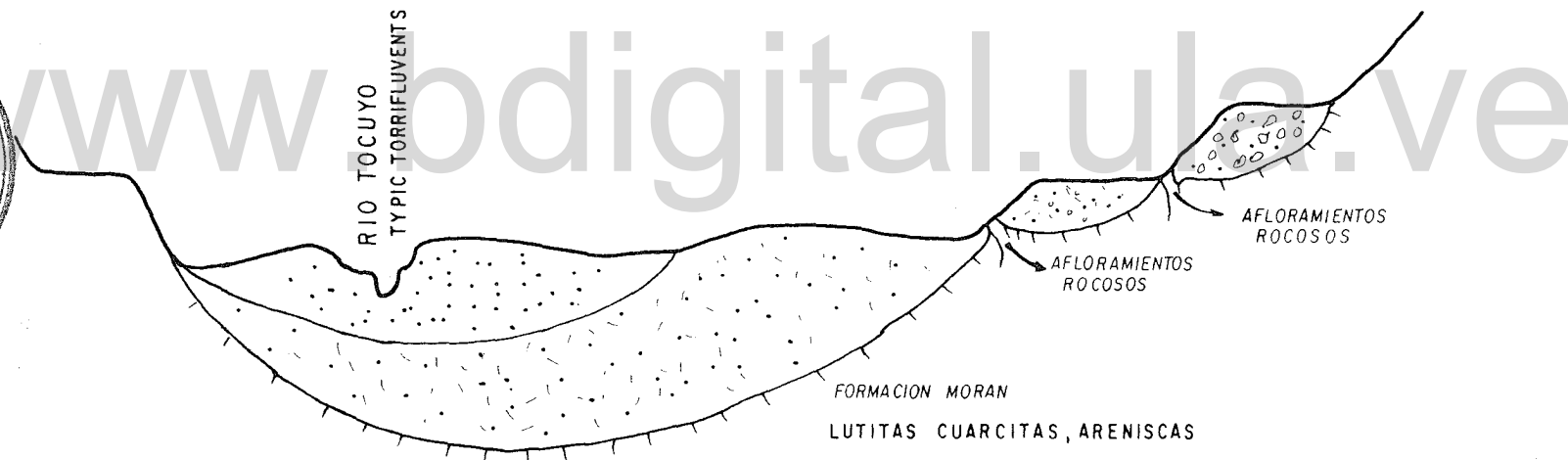
FLUVENTIC CAMBORTHIDS

USTOLIC CAMBORTHIDS

TYPIC HAPLARGIDS

TYPIC PALEARGIDS

AQUIC CAMBORTHIDS



28

Tomado de: Gómez Toro, J.M. Serie monografía N° 1
 Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado.

Figura 2 Principales posiciones geomorfológicas del área.

Vallecitos coluvio-aluviales

Corresponden a valles pequeños, estrechos, a veces profundamente encajados. El relleno dendrítico es de proveniencia lateral, por intermedio del escurrimiento superficial y de las cárcavas que afectan a las vertientes de las colinas o montañas bajas, desarrolladas sobre la formación matatere.

Abanicos de explayamiento

Formas cuyas pendientes longitudinales oscilan entre 2 y 4% corresponden a acumulaciones forzadas, originadas por la ruptura de pendientes que define el contacto entre las quebradas laterales y las vegas del río Tocuyo. En forma general, el material es heterométrico, representado por estratos pedregosos, alternando con material más fino.

Clima

Las características climáticas del área estudiada, de acuerdo con el MARNR, (1981), se resumen a continuación, considerando un período de observación de 25 años (1950 - 1974).

La precipitación media anual es de 586,7 mm, con períodos lluviosos entre los meses de abril y julio, con 248,6 mm; octubre y noviembre, con 153,9 mm. Los períodos secos se registran entre los meses de enero a marzo, con 66 mm y de agosto a septiembre, con 80,5 mm.

La evaporación media anual de la tina para el mismo período es de 2.745,9 mm, siendo marzo y agosto los meses de mayor evaporación y los meses de noviembre y diciembre los de menor evaporación.

La temperatura promedio anual es de 27,0°C, variando de una temperatura máxima de 30,0°C. a una mínima de 18,0°C.

Hidrografía y Drenaje

El principal colector de aguas es el río Tocuyo, que junto a la quebrada Goajira y quebrada El Cercado, alimentan la Represa "Dos Cerritos".

El área en estudio, comprendida entre la represa "Dos Cerritos" y Boro San Francisco, recibe por la margen derecha las aguas de las quebradas Sanare, Los Loros, Quebrada Honda, Los Novillos y El Cazadero, y por su margen izquierda la quebrada El Hatillo, quebrada San Pedro, El Arco, el Cujizal y Quebrada Boro.

El drenaje de los suelos varía entre pobremente drenado, en suelos relativamente pesados (texturas arcillosas) con manchas de gley en el horizonte B, hasta excesivamente drenados, cuando el agua se elimina rápidamente del suelo por su posición relativamente alta y/o alto contenido de esqueletos gruesos.

Suelos

Los suelos de la depresión de El Tocuyo consisten en aridisoles, caracterizados por poseer, generalmente, texturas algo pesadas y por consiguiente presentan condiciones de drenaje restringido, lo cual origina una escasa profundidad de los niveles freáticos en las unidades que presentan regímenes de humedad caracterizados por fluctuaciones freáticas, como son el Aquic Cambortid y Fluvaquentic Cambortid, en las cuales se detectó niveles de aguas a menos de 40 cm de profundidad, aún en época seca, cuando se efectuaron los muestreos de suelos y aguas subterráneas.

Estos suelos también se caracterizan por ser profundos y presentar, a más de 2 metros, capas impermeables que dificultan aún más el drenaje interno.

De acuerdo con el estudio de suelos realizados por el MARNR, (1981) los suelos con drenaje restringido presentan problemas de salinidad, ya que su conductividad eléctrica, en extracto de saturación, es mayor o igual a 4

mmhos/cm. El citado estudio señala que existen problemas de salinidad en el horizonte superficial de las unidades taxonómicas Fluventic Cambortid, Aquic y Fluvaquentic Cambortid, a las cuales se les realiza el presente diagnóstico por recomendaciones del MARNR, (1981).

En la Tabla 1, se presenta un resumen de las unidades de suelos que componen el valle. Las descripciones de los perfiles típicos de las unidades con problemas de drenaje y salinidad aparecen en el "Estudio Semidetallado de Suelos del Valle Alto Tocuyo", (MARNR, 1981).

Tabla 1 Resumen de las Unidades de Suelos.

UNIDAD CARTO- GRAFICA	UNIDADES TAXONOMICAS	SUPERFICIE	
		Ha.	%
1	Typic Torrifluvents, esquelético arenosa, mixta, isohipertérmica	77,5	0,66
2	Fluventic Camborthids, francosa fina, mixta, isohipertérmica	511	4,31
3	Aquic Camborthids, arcillosa fina, isopertérmica	767,5	6,51
3-fmd	Aquic Camborthids, arcillosa fina, mixta, isohipertérmica-Fase mal drenada.	268	2,27
4	Ustollic Camborthids, arcillosa, fina, mixta, isohipertérmica	1.041,5	8,78
4-fip	Ustollic Camborthids, arcillosa, fina, mixta, isohipertérmica-Fase inclinada y pedregosa.	151	1,28
5	Ustollic Haplargids, esquelética francosa, mixta, isohipertérmica	1.198	10,11
5-fe	Ustollic Haplargids, esquelética francosa, mixta, isohipertérmica-Fase erosionada.	193	1,63
5-fi	Ustollic Haplargids, esquelética francosa, mixta, isohipertérmica-Fase inclinada.	109	0,93
6	Ustollic Paleatgids, esquelética arcillosa, mixta, isohipertérmica	2.908,7	24,50
6-fe	Ustollic Paleatgids, esquelética arcillosa, mixta, isohipertérmica-Fase erosionada.	391,8	3,3
7	Typic Ustifluvents, esquelética arenosa, mixta, isohipertérmica	512	4,32
8	Fluventic Carborthids, francosa fina/esquelética, mixta, isohipertérmica.	468	3,94
9	Fluvaquentic Camborthids, limosa fina, mixta, isohipertérmica	276	2,32
10	Ustollic Camborthids, arcillosa/esquelética, mixta isohipertérmica	206,5	1,74
10-fi	Ustollic Camborthids, arcillosa/esquelética, mixta, isohipertérmica Fase inclinada	29,5	0,24
10-fp	Ustollic Camborthids, arcillosa esquelética, mixta, isohipertérmica	30	0,25
11	Ustollic Haplargids, arcillosa fina, mixta, isohipertérmica	125,7	11,05
12	Typic Camborthids, esquelética francosa, mixta, isohipertérmica		
12-fiep	Typic Camborthids, esquelética francosa, mixta, isohipertérmica-Fase inclinada, erosionada y pedregosa.	131,5	1,11

Tabla 1 (Continuación)

UNIDAD CARTO- GRAFICA	UNIDADES TAXONOMICAS	SUPERFICIE	
		Ha.	%
12-fep	Typic Camborthids, esquelética francosa, mixta, isohipertérmica- Fase erosionada y pedregosa.	171,5	1,44
13	Typic Torrifluvents, esquelética francosa, mixta, isohipertérmica	289,	2,42
14	Ustollic Haplargids, francosa fina, mixta, isohipertérmica	131,3	1,10
14-fi	Ustollic Haplargids, francosa fina, mixta, isohipertérmica	28,8	0,23
14-fe	Ustollic Haplargids, francosa fina, mixta, isohipertérmica- Fase erosionada.	113	0,95
15	Fluventic Ustropepts, francosa fina/esquelética, mixta, isohipertérmica.	391	3,28
16	Aridic Haplustalfs, francosa fina, mixta, isohipertérmica	185,5	1,55
16-fi	Aridic Haplustalfs, francosa fina, mixta, isohipertérmica- Fase Inclinada	67,3	0,55
17	Mollic Haplustalfs, esquelética arcillosa, mixta, isohipertérmica	97	0,81
18	Typic Haplustalfs, francosa fina/esquelética, mixta, isohipertérmica.	139,7	1,16
18-fi	Typic Haplustalfs, francosa fina/esquelética, mixta, isohipertérmica - Fase inclinada.	55,5	0,46
19	Fluvaquentic Ustropepts, francosa gruesa, mixta, isohipertérmica	140,4	1,17
20	Aridic Haplustalfs, esquelética arcillosa, mixta, isohipertérmica	186	1,56
20-fi	Aridic Haplustalfs, esquelética arcillosa, mixta, isohipertérmica Fase inclinada	91	0,76
21	Asoc. Fluventic Ustropepts, francosa fina/esquelética, mixta, isohipertérmica (45%) - Fluvaquentic Ustropepts, francosa gruesa, mixta, isohipertérmica (40%),	314,9	2,64
	Total	11.877,8	100

Uso Actual y Vegetación

La vegetación del valle estudiado se resume en la Tabla 3. Esta tabla incluye datos del sector comprendido desde el Embalse "Dos Cerritos", hasta la vía Humocaros.

Tabla 2 Uso actual y vegetación

Nombre de la unidad	Denominación	Superficie	
		Ha.	%
1	Hortalizas	2.176,5	18,33
2	Plantación de caña	4.412,3	37,16
3	Pastizal natural atendido	229,0	1,92
4	Pastizal establecido atendido	101,0	0,85
5	Espinar claro	1.651,0	13,90
6	Espinar denso	592,0	4,99
7	Cultivos de subsistencia	120,0	1,01
8	Frutales	345,0	2,90
9	Asoc. Espinar + Cultivos de subsistencia	528,0	4,44
10	Asoc. Espinar + Pastizal natural no atendido	324,0	2,72
11	Area urbana	887,0	7,47
12	Bosque de galería	512,0	4,32

FUENTE: MARNR, 1981

En la tabla se aprecia que 37% del área está cultivada con caña de azúcar y un 18% de hortalizas. También existe un área considerable cubierta por espinar, propias de zonas áridas.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO IV

MATERIALES Y METODOS

Muestreo de Suelos

Para el muestreo de suelos se siguieron las consideraciones expuestas en el Hand book N° 60 del USDA, (1954) y para tales fines se usaron los siguientes materiales:

1. Barreno tipo Holandes con extensiones.
2. Bolsas plásticas.
3. Etiquetas de identificación
4. Mapa topográfico escala 1:25.000
5. Mapa de suelos escala 1:25.000
6. Fotografías aéreas escala: 1:25.000
7. Estereoscopio de bolsillo.

Metodología de Muestreo

Se tomaron muestras por unidades de suelo, a todo lo largo del valle. Los puntos de muestreo se ubicaron cartográficamente en las fotos aéreas, usando como guía el mapa de unidades de suelos y la ubicación geomorfológica de cada una de las unidades. También se cuidó de tomar muestras en todas las márgenes del río Tocuyo y sus quebradas tributarias.

La profundidad de muestreo se hizo coincidir con el límite edafológico, hasta un metro, extrayéndose muestras cada 20 cm. En algunos casos no se logró alcanzar dicha profundidad, debido a la presencia de estratos pedregosos impenetrables por el barreno. En total se establecieron 19 puntos de muestreo.

En cada punto de muestreo se hizo anotaciones sobre síntomas de toxicidad por sales en los cultivos, presencia de especie halófitas, profundidad del nivel freático y presencia de moteados en los horizontes, los cuales advierten sobre fluctuaciones de el plano de agua.

El muestreo se hizo por haciendas, tomando un punto en cada unidad de suelo, con lo cual se obtuvo un muestreo bastante representativo del valle. Es obvio que con este procedimiento se pretendió obtener un mayor número de muestras para la unidad de suelos más diseminada en el valle.

Muestreo de Aguas Superficiales

Este muestreo se realizó siguiendo los lineamientos propuestos por Chapman, (1965) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (1979), usando frascos plásticos de dos litros de capacidad.

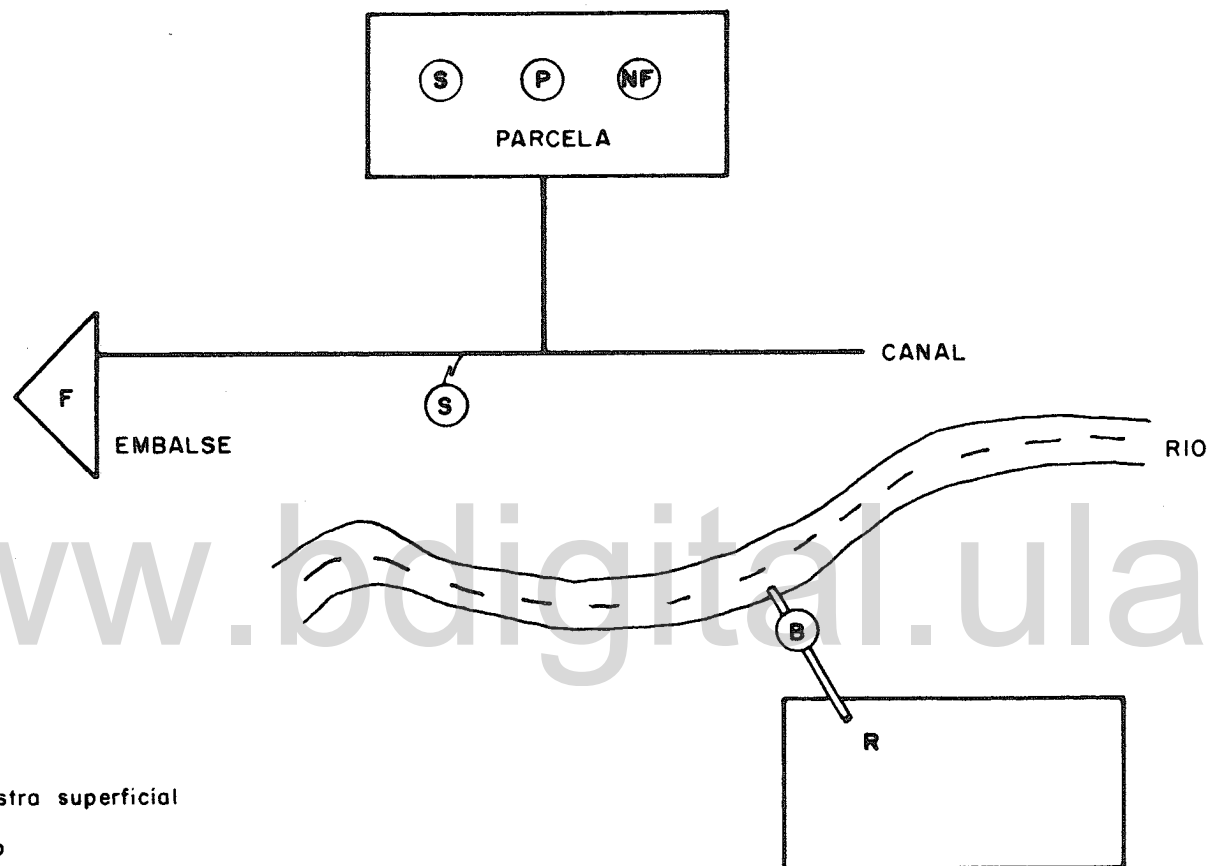
El agua se captó de los canales principales que alimentan cada una de las haciendas y se tomó una muestra del agua de riego en el sitio de aplicación. Los puntos de muestreo fueron ubicados cartográficamente en el plano 1:25.000 del área. En la Figura 3 se presenta un esquema del procedimiento de muestreo de aguas.

Muestreo de Aguas Subterráneas

Dentro de las aguas subterráneas se consideran todas las fuentes de abastecimiento del subsuelo y las aguas que forman los niveles freáticos en las unidades de suelos estudiados.

La toma de muestras en pozos se realizó después de una hora de funcionamiento del sistema de bombeo. El agua se captó en el punto de descarga de la tubería.

Para la toma de muestras de aguas en el nivel freático, se procedió a perforar pozos de 2 m de profundidad y 7,5 cm de diámetro, con un barreno ti-



S - Muestra superficial

P - Pozo

NF - Nivel freático

B - Bomba

R - Río

Figura 3 Esquema del muestreo de aguas.

po Holandes. Hecha esta perforación se dejó en reposo para que el agua freática alcanzara su nivel original. Luego se introdujo el dispositivo de muestreo, consistente en un tubo de dos metros con una válvula check en la parte inferior.

Debido a que las muestras se tomaron en la época más seca, sólo se pudo captar muestras de los niveles freáticos en las unidades de suelos Aquic Cambortid y Fluvaquentic Cambortid, las cuales son las más afectadas por la problemática de mal drenaje y salinidad.

Observaciones de Campo

Con el fin de relacionar los resultados con las condiciones actuales de los cultivos se realizó un conjunto de observaciones y anotaciones en cada uno de los puntos de muestreo de suelos. Dentro de estas observaciones, revisten mayor importancia: los síntomas visuales de toxicidad por sales en los cultivos, presencia de eflorescencias salinas en el suelo y evidencias de fluctuaciones freáticas.

Análisis de Laboratorio

Las determinaciones químicas en las muestras de suelos y aguas fueron realizadas en los laboratorios del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR), Zona 3, Barquisimeto y en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Centro-Occidental Lisandro Alvarado (UCLA).

A continuación se especifican las metodologías de análisis químicos para suelos y aguas.

Análisis de Suelos

Extracto de Saturación

Para obtener el extracto de saturación se procedió a preparar la pas-

ta saturada, siguiendo el procedimiento del manual de agricultura N° 60 del Laboratorio de Salinidad de los EE.UU. Luego de obtener la pasta se dejó reposar 24 horas, debido a que los suelos estudiados poseen texturas pesadas y se dificultaba obtener el punto de saturación. La obtención del extracto se hizo por medio de succión con bomba de vacío.

Determinaciones Químicas

Conductividad eléctrica. Para su determinación se utilizó un conductímetro, el cual suministra la lectura en mmhos/cm, de acuerdo a su calibración (Richards, 1977).

Cationes solubles. Su determinación se realizó por adsorción atómica el Ca^{++} y el Mg^{++} , y por flamometría el Na^+ y el K^+ . (Chapman, 1965; Richards 1977; IGAC, 1979).

Aniones solubles. Su determinación se realizó con métodos volumétricos y colorimétricos. Los carbonatos, bicarbonatos y cloruros se realizaron por titulación de acuerdo con Chapman, (1965).

La determinación de sulfato se hizo por el método de precipitación con cloruro de bario; (Chapman, 1965; Richards, 1977; IGAC, 1979).

Criterios de Clasificación de Suelos

Para la clasificación de los suelos afectados por sales se usaron los criterios propuestos por Pla, (1979). Los valores de sales totales se convertirán en equivalentes químicos por metro cúbico de suelo, tomando en consideración valores estimados de densidad aparente, (Norero, 1976).

Clasificación de Aguas

Para la clasificación de aguas para riego se utilizará la metodología propuesta por Pla, (1975) y cuyos conceptos básicos se presentan a continuación:

La utilización de valores de requerimiento de lixiviación, ya sea para el control de sales totales, sodio y otros iones, tomando en cuenta la posibilidad de precipitación de ciertas sales en el suelo, como base para calificar el agua de riego, permite una apreciación más objetiva y cuantitativa de sus posibilidades de uso y de los requerimientos que hagan posible su utilización de acuerdo a las condiciones.

Para todo esto se definen límites permisibles de sales, conforme a la tolerancia de los cultivos, y límites permisibles de sodio (expresado como RAS) de acuerdo a las características físicas y mineralógicas, así como las propiedades hidrológicas del suelo, al cual se va a aplicar el agua de riego.

En cuanto a los límites permisibles de sales totales en el suelo, según Pla, (1975), se hace la siguiente división:

- Cultivos sensibles: 40 meq/l.
- Cultivos tolerantes: 80 meq/l.
- Cultivos muy tolerantes: 160 meq/l.

En el caso del valle estudiado, cuya agricultura consiste en cultivos sensibles, sólo se escogerá el valor de 40 meq/l, de sales totales permisibles para decidir sobre la calidad del agua de riego.

En cuanto a las propiedades hidrológicas de los suelos, se tomarán los valores de RAS mínimos, debido a que predominan suelos con mal drenaje en el valle. En estos suelos se proponen los siguientes niveles de RAS en la solución:

RAS bajo = 5

RAS medio = 10

RAS alto = 15

Para la determinación de los requerimientos de lixiviación se utilizan las figuras del Apéndice B, o sus respectivas ecuaciones. La simbología de las mismas se describen a continuación:

$$STR = NAR + CAR$$

$$CACLR = CAR - BR = SR \text{ si } BR + SR < CAR$$

$$CASR = CAR - BR - CACLR \text{ si } BR < CAR$$

$$CACLR = 0 \text{ si } BR + SR > CAR$$

$$CASR = 0 \text{ si } BR > CAR$$

$$STES = NAES + CAES$$

$$CAES = CABES + CASES + CACLES$$

$$CABES < 10 \text{ meq/l. si } BR < CAR$$

$$CABES \approx CAR \text{ si } BR < CAR$$

$$CASES < 30 \text{ meq/l.}$$

$$CACLES = CACLR/L(ST)F$$

Donde

R = Agua de riego

ES = Extracto de saturación

CA = Ca + Mg

NA = Na

B = Bicarbonatos

S = Sulfatos

CL = Cloruros

Si = Concentración de sales totales.

Con los valores de lixiviación requeridos para el control de sales totales, $L(ST)F$, o sodio $L(NA)F$, en el suelo y tomando en cuenta las limita -

ciones e influencias de suelos y cultivos, se han desarrollado las Tablas 1 y 2, del Apéndice B, para establecer la calidad del agua de riego. En ellas, la primera cifra del sub-índice representa la calidad relativa del agua en cuanto a peligro de salinización o sodificación, y la segunda sirve como identificación de la tolerancia del cultivo o límites de RAS en el suelo, en base a los cuales se calcularon los requisitos de lixiviación. En el caso del área estudiada el segundo sub-índice será 1, ya que se toma la situación más crítica para sales totales y sodio.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSION

Sales Totales

La problemática de salinidad en el valle de El Tocuyo se puede apreciar en su conjunto en la Figura 4. En ésta se observa que la gran mayoría de las zonas no presenta problemas actuales ni potenciales de sales solubles, conteniendo cantidades menores que 90 equivalentes químicos por metro cúbico de suelo, cifra que está muy por debajo del nivel crítico de sales tolerado por los cultivos sensibles, que es el de 180 eq/m^3 , equivalente a una conductividad eléctrica de 4 mmhos/cm a 25°C en el extracto de saturación, para una densidad aparente promedio de $1,45 \text{ gr/cm}^3$.

Las zonas comprendidas entre el embalse "Dos Cerritos", "La Otra Banda" y "Las Charcas", son las más representativas de las condiciones descritas anteriormente, asociándose éstas al uso de aguas de buena calidad, hasta en suelos con drenaje deficiente y cultivos sensibles, según los criterios propuestos por Pla, (1975).

La Figura 4 muestra que existe una tendencia al incremento de sales totales, en las zonas más bajas del valle, llegando en algunos casos al nivel crítico de tolerancia en cultivos sensibles. Se observa que las zonas con elevación mayor que 600 m.s.n.m. no presentan problemas significativos de sales solubles y que problemas moderados de afectación por sales son detectados entre los 540 y 600 m de elevación, encontrándose zonas cuyos contenidos de sales totales oscilan entre los 90 y 180 eq/m^3 , cantidades equivalentes a conductividades eléctricas de 2 y 4 mmhos/cm , respectivamente.

Las zonas afectadas por las condiciones antes descritas, están comprendidas entre "El Amparo" y la "Hacienda San Rafael", las cuales están ubicadas en la margen derecha del río Tocuyo. En el sector comprendido entre "El Amparo" y "Quebrada Honda", el problema se concentra en la unidad de sue-

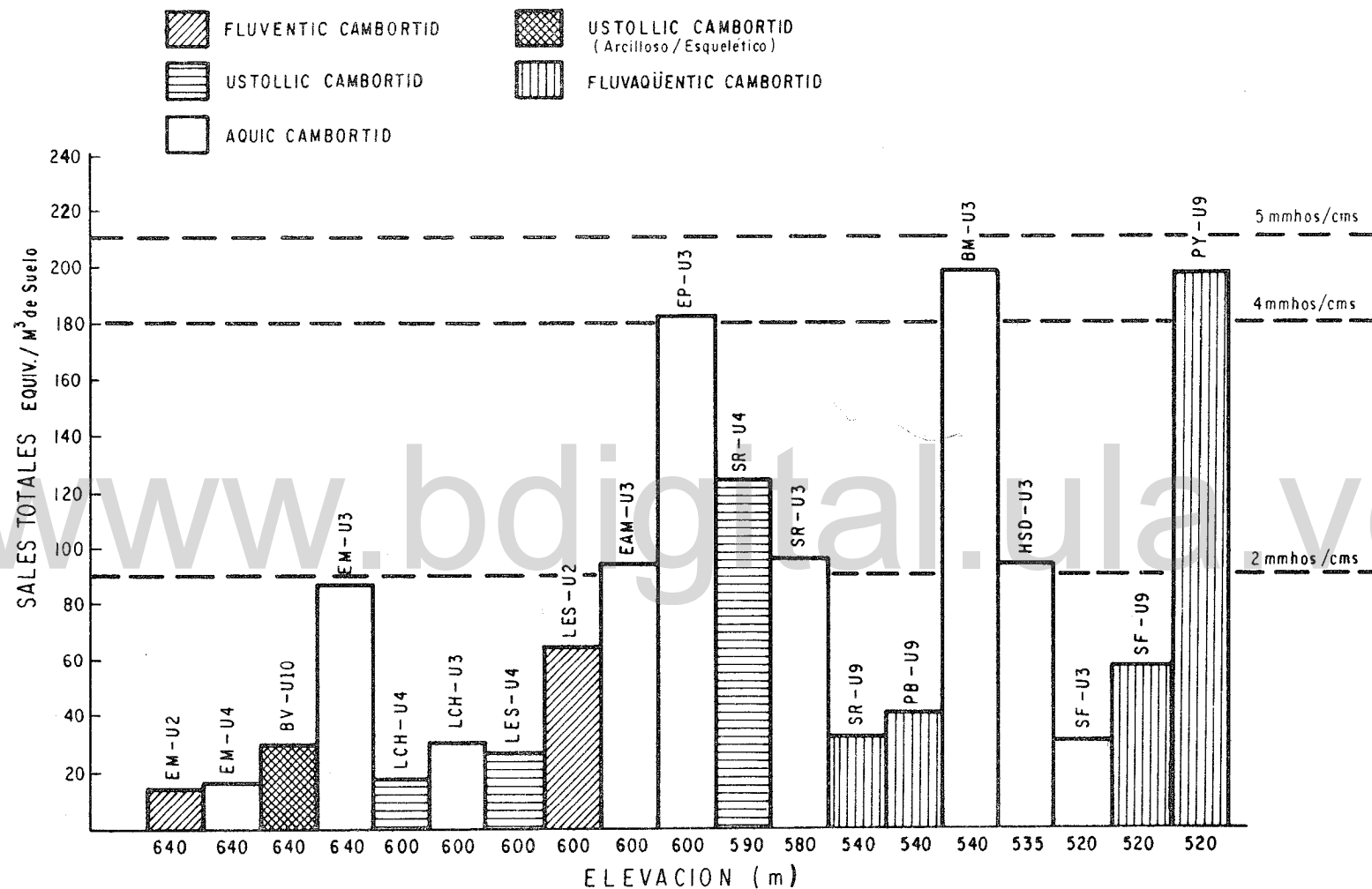


Figura 4 Contenido de sales totales en las unidades de suelos de acuerdo con su elevación.

lo Aquic Cambortid, la que se ubica en la máxima depresión morfológica.

Espacialmente el problema se incrementa a partir de "Quebrada Honda" hasta la "Hacienda San Rafael", donde se detectan problemas moderados de sales solubles hasta en la unidad de suelo Ustollic Cambortid, a pesar de poseer un drenaje externo e interno más eficiente. El origen de este incremento radica en el uso de aguas subterráneas de muy mala calidad en la "Hacienda El Callao", y en el aporte por escurrimiento superficial, de parte de las laderas de las montañas correspondientes a la formación geológica Barquisimeto, considerablemente rica en compuestos solinizantes.

Merece, también, especial mención, la pobre calidad de las aguas superficiales y de los niveles freáticos, presentando las últimas una conductividad eléctrica de hasta 6.000 micromhos por centímetro, lo que evidencia la existencia de un constante enriquecimiento salino por ascenso capilar, dado que el nivel freático en esta zona permanece a unos 50 cm de la superficie en el punto más crítico de la época seca.

Aunque en este sector los problemas de afectación por sales son moderados, es necesario considerar que el manejo de la agricultura de regadío debe hacerse cautelosamente, debido a que existen amplias posibilidades de una agudización de las condiciones actuales con el uso de las aguas superficiales y subterráneas, cuyos requerimientos de lixiviación alcanzan hasta 12% y 36% respectivamente, para controlar las sales totales, como se aprecia en las Tablas 3 y 4 sobre calidad de aguas.

El peligro de sodificación de estos suelos es muy bajo, a pesar de que las aguas subterráneas de "El Callao" poseen cantidades apreciables de sodio en solución; dicha situación se debe principalmente, a que predominan las sales sulfatadas, de alta solubilidad y por ende fácil lixiviación. Además, se aprecia en las Tablas 3 y 4 que el requerimiento de lixiviación por sodio es inferior al de sales totales, lo que permite "lavar" el sodio, manteniendo niveles de sales suficientes para amortiguar el efecto dispersante de éste.

Se detectaron problemas actuales de salinización en "Santa Teresa de Boro" y "El Playón", cuyas elevaciones oscilan entre 540 y 520 m, respectivamente, donde se registraron cantidades de sales totales próximas a los 200 eq/m³, equivalente a conductividades eléctricas cerca de 5 mmhos/cm en extracto de saturación y densidad aparente de 1,50 gr/cm³. Sin embargo, estas zonas no son superficies considerablemente grandes con respecto al total del valle.

En el sector de "Santa Terersa de Boro" se aprecian estas cantidades ocasionadas por el uso de aguas superficiales de baja calidad, cuyos requisitos de lixiviación alcanzan hasta un 9%, como se aprecia en la Tabla 3. Esta condición se une a las fluctuaciones del nivel freático, que está trasladando sales hacia los estratos superiores del suelo. El efecto de las sales se hace sentir en los cultivos de caña de azúcar, en cuyo follaje existían síntomas visuales de toxicidad por sales solubles y entrenudos más cortos que lo normal.

En el sector "El Playón", se presenta una problemática particular, debido a la no existencia de cultivos y, por consiguiente, ninguna práctica de riego. Además de detectarse cantidades altas de sales solubles, también se presentan altos niveles de sodio cuyo PSI alcanza valores cercanos a 12%. Sin embargo, no se observa ninguna evidencia de degradación estructural y de acuerdo con el MARNR, (1982), no existen horizontes nátricos en los perfiles descritos en el estudio edafológico.

Esto implica que, de acuerdo con el concepto propuesto por Pia (1979), sobre clasificación de suelos salinos, esta unidad no se considera "suelo salino-sódico", sino que simplemente se denominará "salino", desde el punto de vista cualitativo.

En este sector sólo abundan especies vegetales típicas de suelos salinos, además se observó la presencia de eflorescencias salinas unos 5 días después de una lluvia. El fenómeno de acumulación de sales en el perfil de esta área, está asociada a los aportes hídricos provenientes del escurrimiento su-

perificial de las laderas de la formación geológica Barquisimeto.

La unidad de suelos Fluvaquentic Cambortid, ubicada en ambas márgenes del río Tocuyo, no alcanza niveles salinos mayores de 60 eq/m^3 , a pesar de poseer un régimen de humedad aquíco. Esta condición está asociada a la presencia de un horizonte arenoso en profundidad, que actúa como drenaje natural, provocando un desplazamiento de las sales hacia este estrato muy permeable.

Distribución de las Sales

La distribución de las sales en el perfil muestra un comportamiento bastante similar en toda el área estudiada. En general, existe una tendencia de acumulación de sales en profundidad, en los sectores que presentan mayores cantidades totales, y más aún si las aguas de riego son de buena calidad. El caso típico lo presenta la unidad de suelos Aquic Cambortid en el sector comprendido entre "Dos Cerritos" hasta "El Amparo", como se aprecia en las Figuras 5, 6, y 7. Esta condición evidencia que, inconscientemente, los productores están aplicando láminas de exceso que han lavado las sales hacia el subsuelo enriqueciendo relativamente la solución de iones HCO_3^- , que regularmente están en menor proporción, según los conceptos expuestos por Richards, (1977) y Ravina, (1977).

En el sector comprendido entre "El Amparo" y "San Rafael" la distribución en el perfil es prácticamente homogénea en todos los estratos, como se aprecia en las Figuras 8, 9, A.7 y A.8, demostrando aún más el estrecho vínculo entre la calidad del agua de riego y la distribución de sales en el perfil de suelo. Se observa que las aguas usadas no son capaces de lavar las sales con las láminas actuales, aunque su naturaleza sea de alta solubilidad.

En los sectores de "Santa Teresa" y "El Mamonal" las sales se acumulan en profundidades intermedias, entre 40 y 70 cm, presentando muy bajas proporciones en los estratos profundos, como se aprecia en las Figuras 10 y 11. En estos sectores, donde existen aguas de inferior calidad, se están aplicando láminas tan insuficientes que permiten un ligero ascenso de sales a los

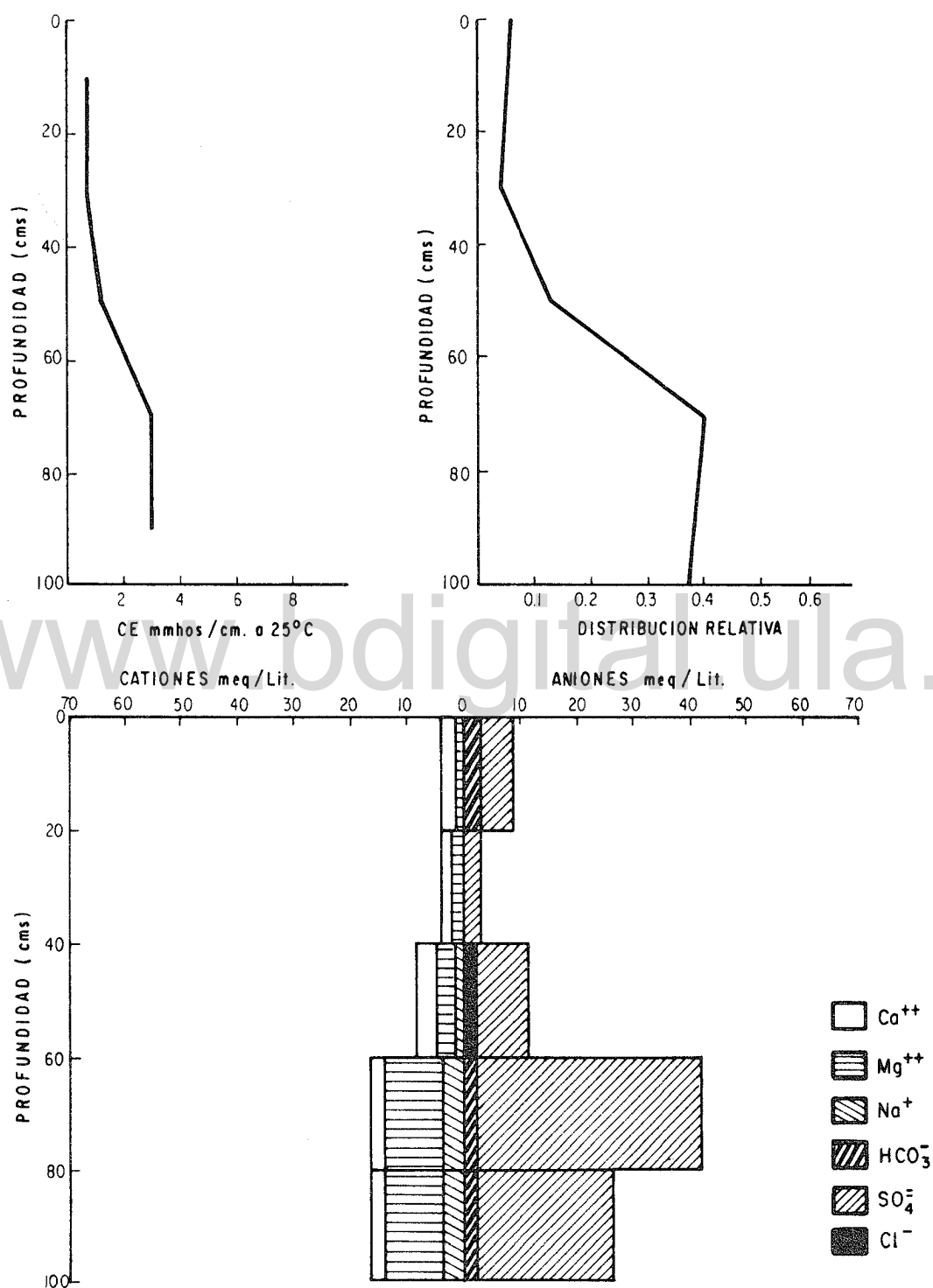


Figura 5 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Aquic Cambortid en El Molino.

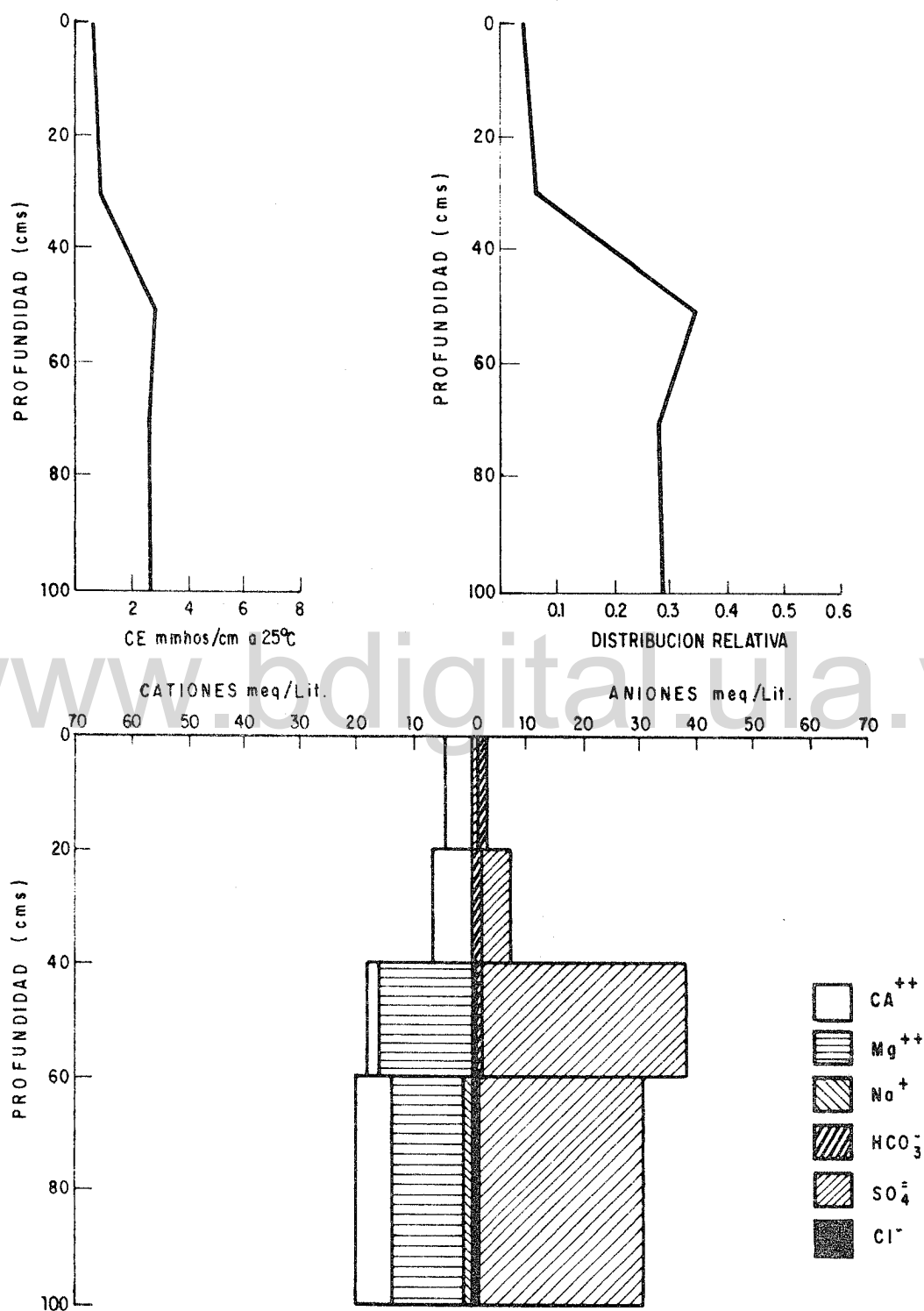


Figura 6 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Aquic Cambortid en El Amparo.

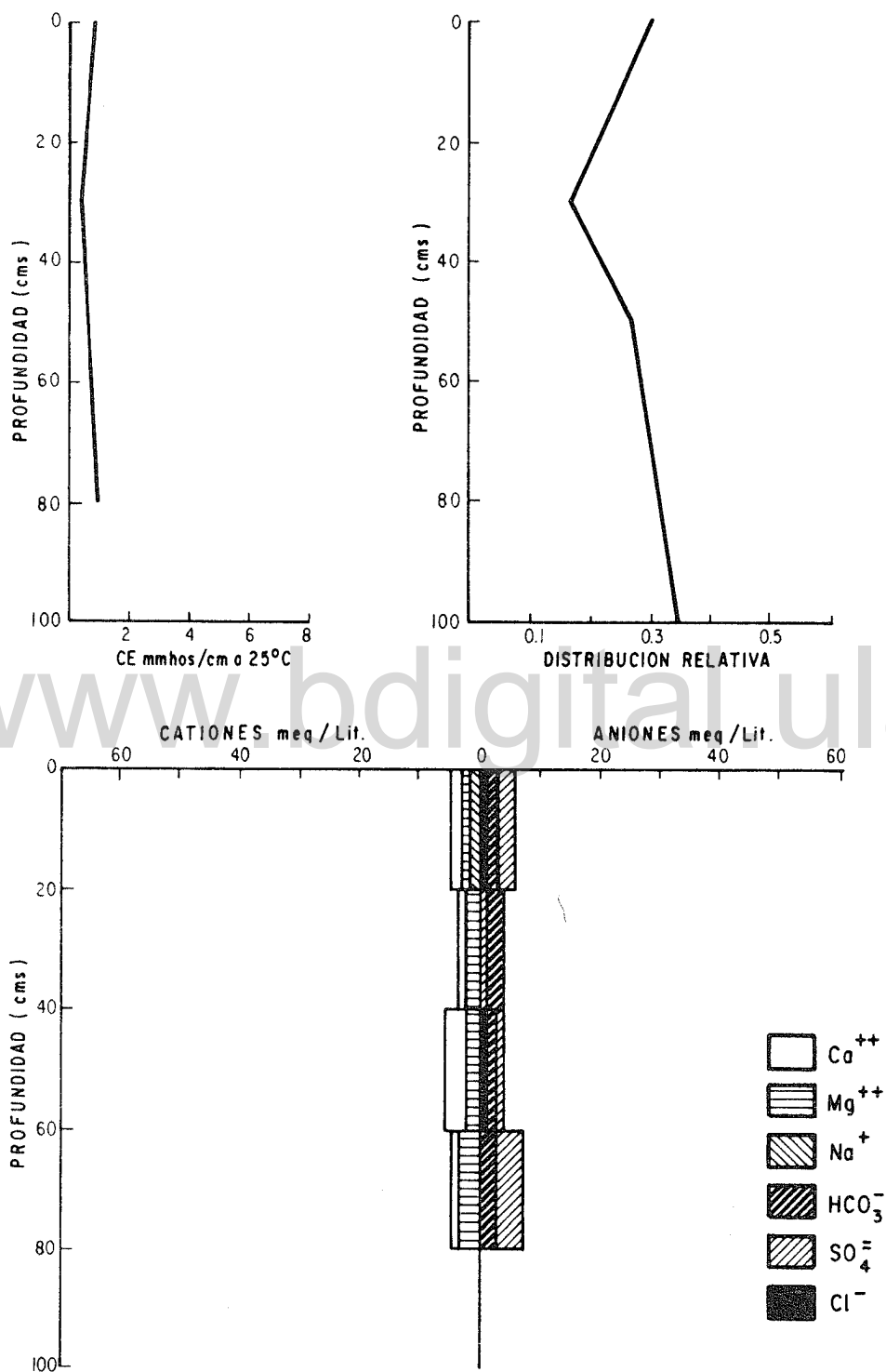


Figura 7 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Aquic Cambortid en Las Charcas.

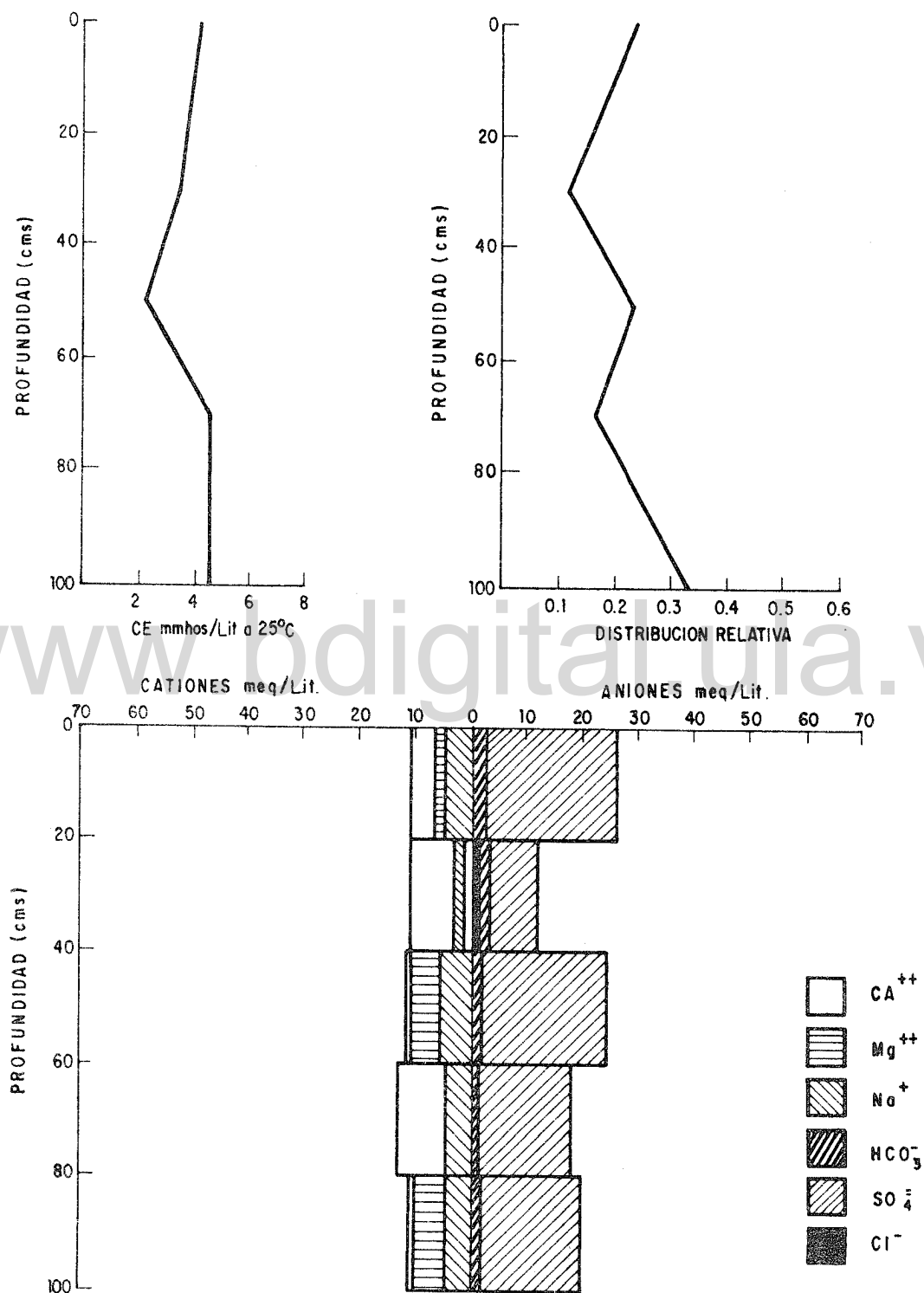


Figura 8 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Aquic Cambortid en Las Cruces - San Rafael.

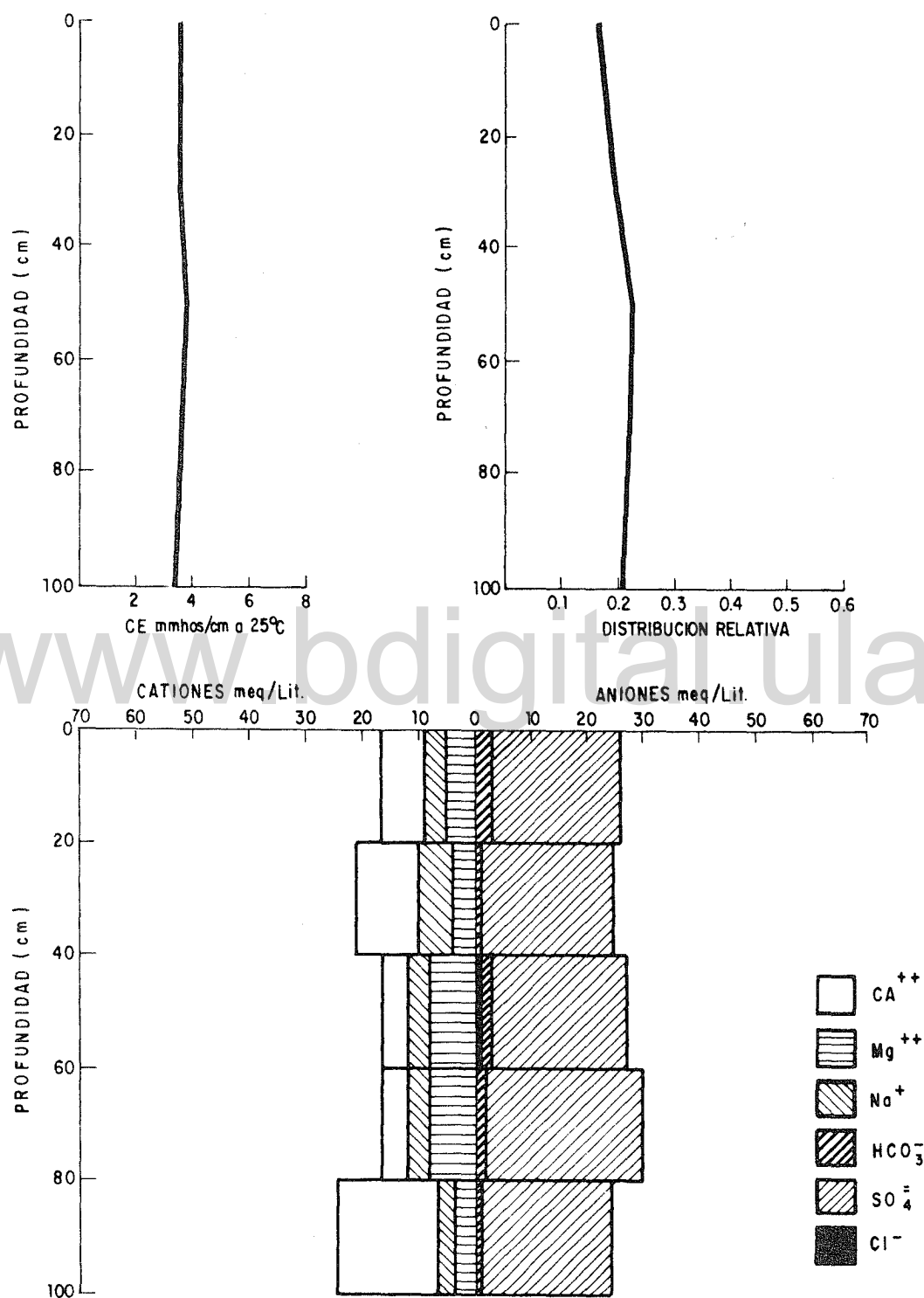


Figura 9 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Ustollic Cambortid en Las Cruces-San Rafael.

estratos superiores, independientemente de las cantidades totales de sales.

La teoría de distribución propuesta se fortalece con el examen de la Figura 12, donde se aprecia que casi el 50% de las sales se acumula en los primeros 40 cm del perfil, debido, fundamentalmente, a la ausencia de técnicas de riego en este sector de "El Playón" cuyas sales son de alta solubilidad, como se aprecia en la misma figura.

La forma de distribución salina, en el perfil presentado en este trabajo, tiene mucha significación, debido a que el muestreo se realizó en la época más crítica de sequía donde se maximiza la expresión de la problemática de salinidad, ya que el agua que penetra al suelo proviene, casi exclusivamente, del riego. Esto significa que en época lluviosa el problema se reduce aún más.

Naturaleza de las Sales

De acuerdo con las figuras del Apéndice A, que muestran las concentraciones de aniones y cationes se puede inferir sobre la naturaleza de las sales predominantes. Se aprecia en el conjunto que las sales más importantes en estos suelos consisten, principalmente, en sulfatos de calcio y magnesio, a excepción de "El Playón" donde prevalece el sulfato de sodio.

En el sector comprendido entre el embalse "Dos Cerritos" y "Las Charcas", las sales sulfatadas han sido lavadas hacia los niveles freáticos, originando un incremento relativo de bicarbonatos, como se aprecia en las Figuras A.1, A.3 y A.4 del Apéndice A.

En los suelos comprendidos dentro del sector "El Amparo" hasta "Santa Teresa", se incrementan considerablemente los contenidos de sulfatos. Estos provienen básicamente del subsuelo por fluctuaciones del nivel freático, y están ejerciendo un efecto benéfico, controlando el peligro de afectación por sodio, que representa el uso de los pozos subterráneos en la "Hacienda El Callao", cuyas aguas son de mala calidad desde el punto de vista de sales totales y de sodio.

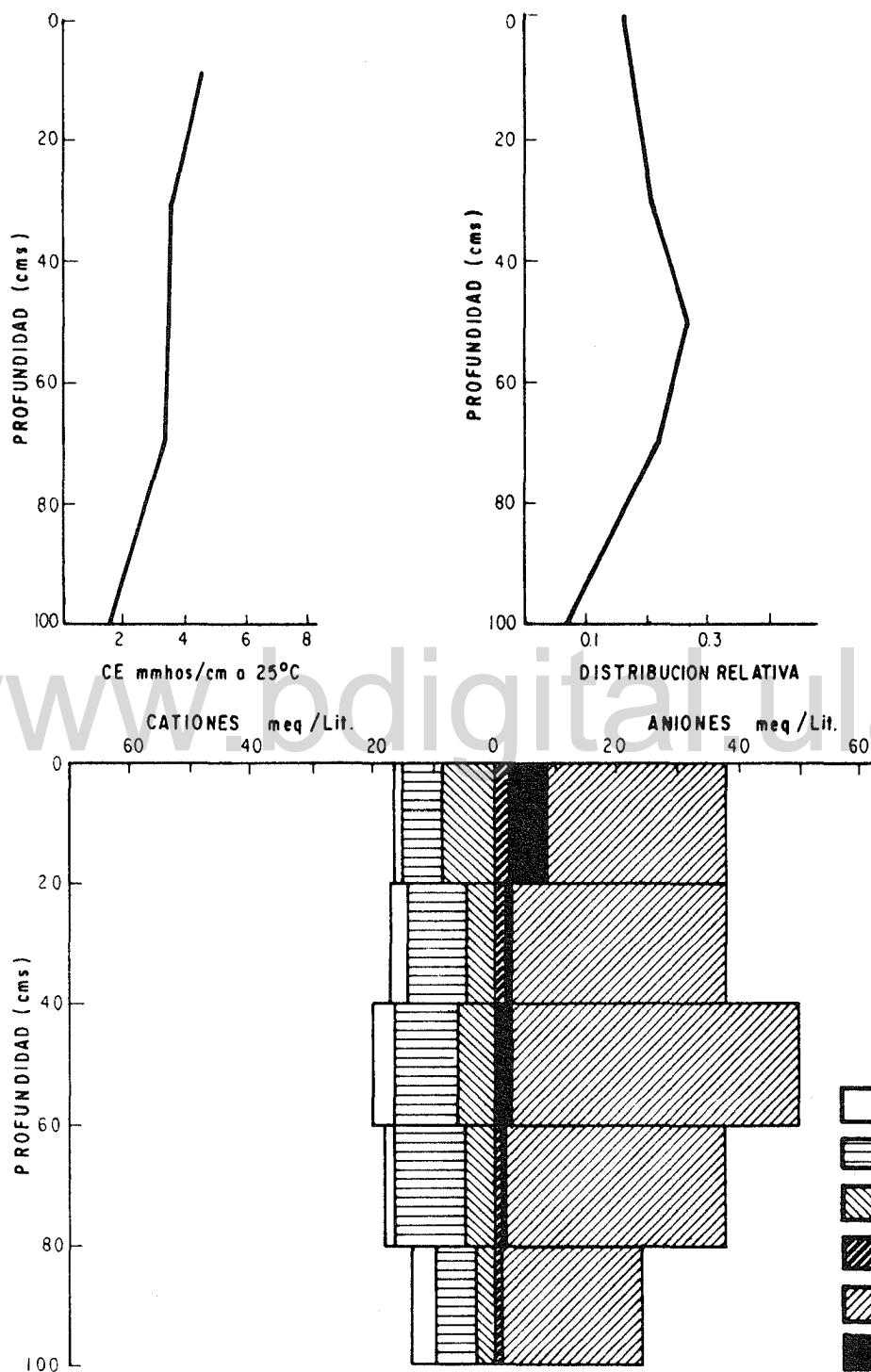


Figura 10 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Aquic Cambortid en Santa Teresa.

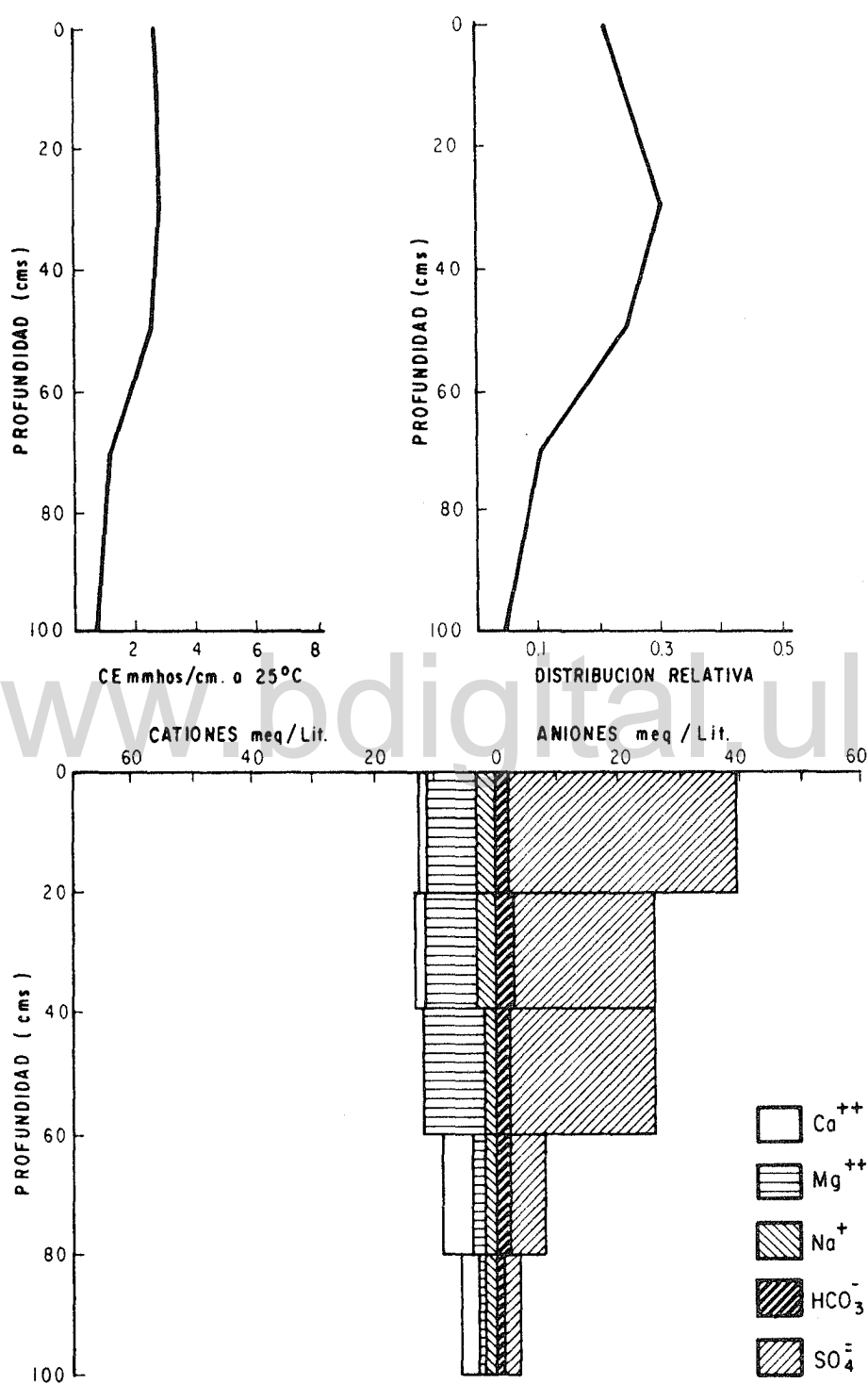


Figura 11 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Aquic Cambortid en El Mamonal.

"El Playón" es el único lugar donde prevalecen las sales de sodio pero en forma de sulfatos, lo que significa que son de fácil lixiviación y no representan peligro actual de sodificación.

Calidad de las Aguas

Aguas Superficiales

La mayoría de las aguas utilizadas en el valle son de fuentes superficiales, provenientes del embalse "Dos Cerritos" y cuyas aguas tienen muy buena calidad desde el punto de vista de sales totales, y su uso no representa un peligro de sodificación en los suelos en que se aplica. Los análisis y clasificación de estas aguas se presentan en la Tabla 3. En ella se aprecia que las aguas superficiales conservan su buena calidad hasta la "Hacienda La Estrella".

El uso de estas aguas en "El Molino", "Monte Carmelo", "La Pandita", "Las Charcas", "La Otra Banda" y "El Amparo" no representa ningún peligro de acumulación de sales en las unidades de suelo Fluventic Cambortid y Ustollic Cambortid. En la unidad Aquic Cambortid, tampoco es peligrosa si se aplica cumpliendo con los requisitos de lixiviación dados en el método propuesto por Pla, (1975) y los cuales sólo alcanzan valores máximos de 5%.

La calidad de las aguas superficiales se reduce considerablemente a partir de "Quebrada Honda" hasta la parte más baja del valle, como se aprecia en la Tabla 3, en la que se presentan análisis químicos de muestras colectadas en "San Rafael", "Santa Teresa" y "San Francisco de Boro". El uso de estas aguas en suelos con drenaje deficiente, puede provocar acumulación de sales en el perfil, si no se aplica con sus requisitos de lavado de sales y los cuales pueden llegar hasta 12%. Sin embargo, el uso de ellas no representa peligro de sodificación en ninguno de los suelos del valle. Es evidente que la aplicación de volúmenes de estas aguas, considerando la fracción de lavado, conlleva a que se consideren los criterios económicos para mantener la concentración de sales en el suelo con 40 meq/l, para asegurar el desarrollo normal de los

Tabla 3 Resultados analíticos y clasificación de las Aguas Superficiales.

Muestra	Sitio de muestreo	Fuente	CEX10 ⁶	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	RAS _{AJ}	LIXIVIACION SALES TOTALES			LIXIVIACION DE SODIO			CLASIFICACION									
														L(ST)F 40	L(ST)F 80	L(ST)F 160	L(NA)F 5	L(NA)F 10	L(NA)F 15	U - 2		U - 3		U - 4		U - 9		U - 10	
														ST	NA	ST	NA	ST	NA	ST	NA	ST	NA	ST	NA	ST	NA	ST	NA
SP-11	San Pablo	Canal	270	8,1	2,5	0,42	0,1	-	-	2,53	-	0,2	0,15	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MC-11	Monte Carmelo	Canal	300	8,0	2,1	1,5	0,1	-	-	2,70	-	0,6	0,14	0,033	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
MC-12	Monte Carmelo	Parcela	270	8,0	2,0	1,5	0,1	-	-	2,70	-	1,0	0,15	0,033	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
BV-11	Bella Vista	Canal	280	8,0	2,70	1,0	0,1	-	-	2,80	-	1,3	0,15	0,033	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
LCH-11	Las Charcas	Canal	280	8,1	2,90	0,5	0,1	-	-	2,83	-	0,50	0,15	0,033	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
LCH-12	Las Charcas	Parcela	280	8,3	2,50	0,4	0,1	-	-	2,78	-	0,70	0,16	0,033	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
EAM-11	El Amparo	Canal	240	8,1	2,60	1,40	0,1	-	-	2,70	-	1,00	0,14	0,033	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
EAM-12	El Amparo	Parcela	280	8,2	2,50	0,40	0,1	-	-	2,60	-	0,60	0,16	0,033	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
LOB-11	La Otra Banda	Canal	280	8,2	2,30	1,50	0,1	-	-	2,80	-	1,00	0,14	0,033	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
LOB-12	La Otra Banda	Parcela	280	8,2	2,60	0,80	0,1	-	-	2,8	-	0,70	0,15	0,033	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
LES-11	La Estrella	Canal	300	8,2	2,30	1,20	0,1	-	-	2,9	-	0,60	0,15	0,033	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
ASJ-11	Agrícola S. José	Canal	290	8,2	2,50	0,8	0,1	-	-	2,9	-	0,85	0,15	0,033	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
SRO-11	Santa Rosa	R. Tucuyo	350	8,3	2,3	1,40	0,3	-	-	2,50	-	1,40	0,42	0,05	< 0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
SRA-11	San Rafael	Canal	700	8,2	5,1	2,50	0,6	-	-	4,50	-	2,2	0,73	0,12	< 0,053	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	2	1	4	1	3	1	3	1	3	1
SST-11	Santa Teresa	Canal	410	8,6	1,8	0,50	2,50	-	0,80	2,1*	-	1,1	3,82	0,09	< 0,04	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	2	1	3	1	2	1	2	1	2	1
ABO-12	Agrícola Boro	Parcela	600	8,3	4,70	1,1	0,4	-	0,40	2,50	2,6	1,50	0,50	0,12	0,03	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	3	1	4	1	3	1	3	1	3	1
ABO-11	Agrícola Boro	Canal	400	8,3	2,50	2,40	0,2	-	0,50	2,0	2,0	1,0	0,27	0,10	0,03	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	3	1	4	1	3	1	3	1	3	1

1 = Muy buena calidad
2 = Regular calidad
3 = Mala calidad
4 = Muy mala calidad

cultivos sensibles.

Es importante señalar que las aguas pierden calidad debido a los aportes de agua que provienen del drenaje de las parcelas irrigadas y que tienden a concentrar las sales considerablemente. Estas consideraciones conducen a inferir que su calidad se podría mejorar con el manejo adecuado del agua de drenaje en todo el valle.

Aguas Subterráneas

El uso de aguas subterráneas en el valle sólo se observó en la "Hacienda El Callao", en la cual existen cuatro pozos. Los análisis de muestras de ellos aparecen en la Tabla 4. En ella se observa que el uso de estas aguas representa un alto peligro de salinización en cualquier unidad de suelo en que se usen. Los datos de la Tabla 4 muestran que estas aguas tienen conductividades eléctricas que oscilan entre 1,0 y 1,4 mmhos/cm.

El uso de estas aguas ha generado problemas moderados de sales en el sector comprendido entre "Quebrada Honda" y "Quebrada Los Novillos", donde las sales totales alcanzan valores cercanos a 130 eq/m³. También existe el peligro de afectación por sodio, pero como se aprecia en la Tabla 4, los requerimientos de lixiviación de sodio son menores que los de sales totales; lo que implica que si se aplica una fracción de lavado por sodio, quedarán sales suficientes en la solución edáfica para amortiguar el efecto dispersante del ion sodio.

La discusión del tema de aguas subterráneas no debe pasar por alto la composición de las aguas del nivel freático, las cuales son una fuente permanente de enriquecimiento de sales por ascenso capilar. La Tabla 4 muestra los resultados analíticos de muestras del mismo en "Monte Carmelo", "Las Charcas", "San Rafael", "Puente Boro" y "San Francisco de Boro".

Las aguas freáticas son un problema considerable en "San Rafael", donde el nivel se encontró a unos 50 cm de la superficie, y como se observa en la

Tabla 4 Resultados analíticos y clasificación de las Aguas Subterráneas

Muestra	Sitio de muestreo	Fuente	CEx10 ⁶	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	RAS _{PJ}	LIXIVIACION SALES TOTALES			LIXIVIACION DE SODIO			CLASIFICACION									
														L(ST)F	L(ST)F	L(ST)F	L(NA)F	L(NA)F	L(NA)F	U - 2		U - 3		U - 4		U - 9		U - 10	
														40	48	160	5	10	15	ST	NA	ST	NA	ST	NA	ST	NA	ST	NA
ECA-20	El Callao	Bomba	1200	8,1	7,3	3,20	2,25	-	-	2,70	5,8	3,20	2,25	0,32	0,10	0,04	0,08	0,03	0,01	4	2	4	3	4	2	4	2	4	2
ECA-21	El Callao	Bomba	1000	7,4	7,2	2,10	1,40	-	0,30	0,20	5,0	2,00	1,42	0,25	0,09	0,012	0,01	0,01	0,01	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1
ECA-22	El Callao	Bomba	1100	7,3	7,7	1,20	2,70	-	0,60	2,00	7,0	2,5	0,15	0,29	0,07	0,02	0,12	0,06	0,04	4	3	4	4	4	3	4	3	4	3
ECA-23	El Callao	Bomba	1400	7,4	10,1	1,88	2,60	-	0,30	1,90	9,2	2,6	2,34	0,36	0,08	0,03	0,11	0,05	0,03	4	3	4	4	4	3	4	3	4	3
MCA-2NF	Monte Carlo	N. Frent.	700	7,9	3,40	2,0	2,0	-	0,50	2,80	1,9	1,1	0,50	0,11	0,05	0,01	0,03	0,01	0,01	3	1	4	2	3	1	3	1	3	1
LCA-2NF	Las Charcas	"	3200	7,4	26,2	7,1	2,30	-	0,30	2,30	28	1,3	1,61	0,76	0,15	0,043	0,08	0,037	0,01	4	2	4	4	4	2	4	2	4	2
SR -2NF	San Rafael	"	6000	7,8	20,1	10,4	10,0	-	0,60	2,5	36	4,8	4,8	1,01	0,25	0,10	0,51	0,22	0,15	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
PB -3NF	Puente Boro	"	1010	7,7	8,2	1,7	1,0	-	0,35	2,9	5,0	1,3	1,17	0,27	0,07	0,02	0,09	0,04	0,01	4	2	4	3	4	2	4	2	4	2
AB -2NF	Agrícola Boro	"	1700	7,4	13,2	2,8	2,0	-	0,50	2,6	10,2	2,3	1,82	0,45	0,13	0,04	0,07	0,02	0,01	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2

1 = Muy buena calidad

2 = Regular calidad

3 = Mala calidad

4 = Muy mala calidad

Tabla 4, posee una conductividad eléctrica de 6.000 micro mhos/cm. Sin embargo, las sales dominantes son principalmente sulfatos de calcio y magnesio.

En "Monte Carmelo" y "Las Charcas", las aguas freáticas están enriquecidas por el lavado de sales por las aguas de riego y no se detectó tendencias de fluctuaciones que puedan afectar los estratos superficiales.

Origen de las Sales

Luego de considerar todos los componentes del problema, se observa que las zonas afectadas por sales coinciden con lugares donde las aguas son de mala calidad, como es el caso del sector comprendido entre "Quebrada Honda" y "San Rafael". En esta zona, el origen de las sales está asociado a las condiciones cualitativas de las aguas subterráneas y superficiales. Es importante señalar que una de las fuentes de sales en el sector son las aguas del nivel freático. También es de consideración los aportes superficiales provenientes de laderas de montañas de la formación geológica Barquisimeto.

El sector "Santa Teresa" y "El Mamonal" la fuente de sales solubles se fundamenta en el agua de riego y en las fluctuaciones de los niveles freáticos, que las desplazan desde el subsuelo hasta los estratos superficiales.

En los suelos ubicados en "El Playón", las sales provienen del escurrimiento superficial del agua sobre las laderas de la formación Barquisimeto, descartándose el riego como causante, por no existir esta práctica en el área.

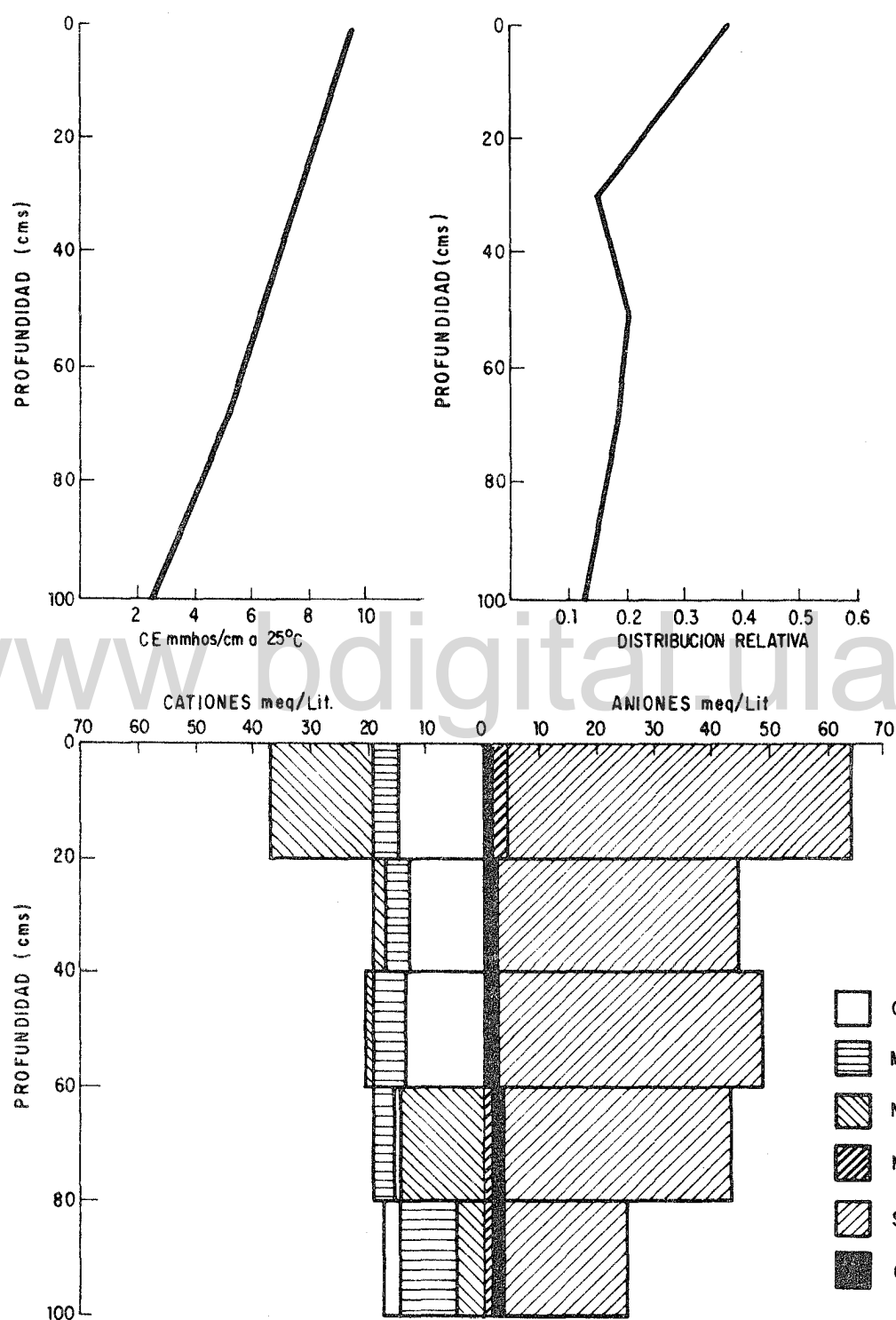


Figura 12 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Fluvuquentic Cambortid en El Pláyon.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Luego del análisis y discusión de los datos obtenidos en el campo, se puede concluir que en sentido general, la problemática de salinidad de los suelos del área estudiada no reviste gravedad, y que sólo en áreas relativamente pequeñas se detectaron contenidos de sales que alcanzan el límite crítico tolerado por los cultivos sensibles al efecto de las sales solubles. En la actualidad, aproximadamente 230 hectáreas están afectadas por sales y unas 800 están en peligro de salinización. Especialmente el problema se complica en los puntos de menor elevación del valle y se detalla a continuación:

- En el sector que comprende las Haciendas "El Molino", "Monte Carmelo", "La Vega", "San Pablo", "La Pandita", "Las Charcas" y "La Otra Banda", no existen problemas actuales, ni potenciales de afectación por sales solubles, ya que éstas han sido lixiviadas por el uso de aguas de riego, de muy buena calidad, para cualquiera de las unidades de suelos.

- En el sector comprendido entre "El Amparo" y "San Rafael" existen problemas moderados de sales solubles, y aunque no alcanzan niveles mayores de 180 eq/m^3 , máximo tolerado por cultivos sensibles, están propensos a un incremento, si no se tiene un control de drenaje en los suelos y se regula el uso de las aguas superficiales y subterráneas para el riego. Actualmente ocupan unas 620 hectáreas del valle.

- En el sector antes mencionado predominan sales sulfatadas, de alta solubilidad, lo que alivia significativamente el problema y reduce considerablemente la potencialidad de los mismos.

- Los problemas actuales de afectación por sales solubles se limitan a los sectores de "Santa Teresa de Boro" y "El Playón", presentando este últio

mo, altos contenidos de sodio, cuya naturaleza sulfatada, y la no degradación de la estructura del suelo facilitan el lavado. Sin embargo, no son superficies mayores de 230 hectáreas que son porciones relativamente pequeñas con respecto al área total.

- La unidad de suelos Fluvaquentic Cambortid, ubicada en ambas márgenes del río Tocuyo, desde el poblado El Tocuyo, hasta "San Francisco de Boro" no alcanza niveles salinos superiores a 60 eq/m^3 , debido a la presencia de un estrato arenoso en profundidad, que actúa como drenaje subterráneo.

Distribución de Sales en el Perfil

Esta distribución está estrechamente vinculada a la calidad de las aguas que se utilicen para el riego. Las condiciones se detallan a continuación:

- En el sector comprendido entre "Dos Cerritos", "San Pablo", "Las Charcas" y "La Estrella", las sales se acumulan en profundidad, especialmente en las unidades con mayores contenidos de sales.

- El área que comprende "El Palmar" hasta "San Rafael", las sales están distribuidas homogéneamente en todo el perfil.

- Desde "Santa Teresa de Boro" hasta "San Francisco", la mayor parte de las sales se acumulan en las profundidades intermedias, por el uso de aguas de mala calidad y láminas insuficientes para el lavado.

- En "El Playón" las sales están acumuladas en los estratos superiores por ausencia de técnicas de riego en este sector.

- En resumen, los productores aplican inconscientemente, láminas de exceso que están lavando las sales, totalmente en zonas donde el agua es de buena calidad, e insuficiente cuando desmejora la clasificación.

Naturaleza de las Sales

En la mayor parte del área estudiada prevalecen las sales de sulfatos de calcio y magnesio, excepto en "El Playón", donde la sal que más abunda es el sulfato de sodio.

En el sector que comprende "El Molino", "Monte Carmelo" y "La Pandi - ta", existe un incremento relativo de bicarbonatos, por un lavado intenso de los sulfatos hacia el subsuelo.

En términos generales, cuando existen altas concentraciones de sales, predominan los sulfatos, y por consiguiente, son de fácil lixiviación con la aplicación de láminas de riego adecuadas.

Ninguno de los suelos estudiados puede ser clasificado como salino-sódicos o sódicos, debido a la naturaleza sulfatada de las sales y a que no existen evidencias de degradación estructural en los perfiles descritos.

Origen de las Sales

En términos generales, el origen de las sales en la mayoría de las zonas del valle, radica en las fluctuaciones del nivel freático, el cual presenta altas concentraciones de sales y una escasa profundidad, que facilita el ascenso capilar de estas sales a través del perfil. Uno de los casos típicos de este fenómeno se presenta en la "Hacienda San Rafael", en la cual existen problemas moderados de sales, y el ascenso de éstas es favorecido por una red de drenaje mal proyectada, que mantiene el pleno freático muy cercano a la superficie.

Una fuente considerable de sales en el valle son los aportes laterales, por escurrimiento de la formación Barquisimeto, y cuyos efectos son notorios en el sector "Quebrada Honda-San Rafael", así como en "El Playón", donde el origen de las sales es prácticamente exclusivo de estos aportes.

El agua de riego es una fuente de sales, pero en el área estudiada se encuentra en un tercer plano, ya que sólo en casos aislados, como la "Hacienda El Callao", son considerables las aguas procedentes del subsuelo por bombeo.

Calidad de las Aguas

Las aguas superficiales, en general, son de buena calidad, desmejorándose ésta en las partes más bajas del valle, por efecto de aportes salinos del agua del drenaje parcelario en las zonas más altas. En conclusión, las aguas superficiales no representan un peligro de acumulación de sales y sodio, no obstante deben ser usadas con cautela en la fase mal drenada de la unidad Aquic Cambortid.

Sin embargo, las aguas subterráneas son de muy mala calidad y su utilización, en riego, son una fuente considerable de sales solubles, y hasta de sodio, en la mayoría de los casos. El peligro de sodificación se reduce debido a que los requisitos de Lixiviación por sodio son menores que los de sales totales, permitiendo niveles de sales en el suelo, suficientes para amortiguar el efecto dispersante del sodio.

Recomendaciones

Para el control de los problemas actuales y potenciales de salinización, se dan lineamientos generales para el manejo de la agricultura en los suelos del valle estudiado.

- Desde el punto de vista del manejo de aguas es importante señalar que para el control de los problemas actuales de salinidad, es necesario el empleo de láminas excedentes, como fracción de lavado, para desplazar las sales hacia el subsuelo. Este exceso estará sujeto al nivel de concentración salina tolerado por los cultivos.

- En las haciendas "El Molino", "La Vega", "Monte Carmelo", "La Pan-

dita", "Las Charcas" y "San Pablo", se deben aplicar fracciones de lavado equivalentes a 4% de la lámina total, para mantener el nivel salino por debajo de 40 meq/l con sales totales.

- Es necesario la implementación de técnicas de manejo del agua para drenaje parcelario, y con ello la aplicación racional del riego, para evitar el desmedro cualitativo de las aguas usadas en las partes más bajas del valle, especialmente en el sector "Santa Teresa - San Francisco".

- En "San Rafael", "Santa Teresa", "El Mamonal" y "San Francisco de Boro", el uso de las aguas superficiales, debe condicionarse al cumplimiento de los requisitos de lixiviación, y un adecuado sistema de drenaje para evacuar los excesos. La fracción de lavado de las aguas de este sector es equivalente a un 12% del volumen de agua total de aplicación.

- La aplicación de fracciones de lavado se deben efectuar, principalmente en la fase mal drenada del Aquic Cambortid, ubicada desde "Santa Teresa", hasta "San Francisco de Boro".

- Las aguas subterráneas, usadas en el "El Callao", deben ser aplicadas con mucha cautela y, por lo menos, suministrando la fracción de lavado por sodio, la cual es de un 10%, y analizar la factibilidad técnica y económica de aplicar fracciones de lavado para sales totales, equivalentes a 32%.

- Es conveniente que el uso de estas aguas subterráneas se limitan al riego de pastizales, cuyas características les permiten soportar condiciones de inundaciones periódicas.

- El control de las fluctuaciones freáticas debe mantenerse con una red de drenaje, diseñada con datos climáticos y edafológicos reales.

- La efectividad de las medidas anteriores estará condicionada a su aplicación en conjunto, ya que su uso localizado no generaría soluciones satisfactorias, y pueden provocar problemas en las áreas vecinas.

- Para la aplicación de medidas correctivas y de recuperación en el sector "El Playón", es necesario ponderar la factibilidad técnica y económica de éstas, a pesar de que con sólo técnicas de lavado se recuperan estas áreas.

- En el sector "Santa Teresa", la corrección de los problemas actuales de sales están sujetos al uso de la fracción de lavado de 12% y la instalación de un sistema de drenaje adecuado.

- Para el manejo de los suelos no es necesaria la aplicación de enmiendas químicas de recuperación y/o control de problemas actuales.

- En todas las unidades de suelos es conveniente conocer la humedad óptima para la labranza, a fin de favorecer una máxima estabilidad estructural y por ende el drenaje interno de ellos.

- La incorporación y manejo de la materia orgánica son convenientes para mejorar, considerablemente, la infiltración y almacenamiento del agua de riego, especialmente en la unidad de suelos Aquic Cambortid, la cual posee un drenaje interno y externo deficiente por su ubicación geomorfológica.

- El fuego es un factor que destruye los residuos vegetales que sostienen la materia orgánica, por ello es necesario analizar la factibilidad técnica y económica de mecanizar el corte de la caña de azúcar, y así dejar los residuos de cosechas en la superficie, para reducir con ello la evaporación en la superficie del suelo.

- En las áreas señaladas con problemas actuales de salinización, el uso de los cultivos de caña y hortalizas estará condicionado al mantenimiento de niveles de sales en el suelo menores que 40 meq/l, aplicando los requerimientos de lixiviación correspondientes al agua utilizada.

En la unidad de suelo Aquic Cambortid es fundamental la nivelación uniforme del terreno, y cultivar en camellones para aliviar los efectos del

mal drenaje y favorecer el uso eficiente del agua de riego.

- La aplicación de cada una de las recomendaciones de este diagnóstico debe sostenerse en un análisis de factibilidad técnica y socio-económica.

- Las medidas agronómicas son complementarias entre sí, y los resultados satisfactorios de ellas estarán sujetos a la aplicación de técnicas de fertilización idoneas, recomendadas por un estudio de fertilidad en cada una de las unidades de suelos y a través de todo el valle, para con ello obtener un aumento de los rendimientos cualitativos y cuantitativos de los cultivos.

- Este diagnóstico debe llevarse a un nivel más detallado, por unidades de producción, en las áreas salinizadas actual y potencialmente, estudiando el balance de sales en el suelo.

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

BIBLIOGRAFIA

- Academia de Ciencias de la U.R.S.S. 1964. La Aplicación del Drenaje en la Recuperación de Suelos Salinos. Traducción del Ruso por Jesús López Llañés. México. 217 p.
- Alvarez M., J. 1974. Requerimientos de Lixiviación de un Suelo Salino - Sódico en el Sistema de Riego El Cenizo. Tesis para completar requisitos para optar por el Grado de Magister Scientiae en Suelos y Riegos. CIDIAT. 108 p.
- Arconaua, J. y J. Parra. 1974. Análisis de La Dinámica de Formación del Proceso de Salinidad en los Suelos del Sistema de Riego "El Cenizo". Primera Etapa, MOP. División de Edafología. Maracaibo. 31 p.
- Ayers, A., A. Vázquez, J. De La Rubia, F. Blasco and S. Sampson. 1960. "Saline and So. Dic. Soils of Spain". Soil. Sci. 90(2): 133-138.
- Bower, C.A. 1959. "Cation - Exchange Equilibria in Soils Affected Sodium Salts". Soil Sci. 88(1): 32-35.
- Cataño de G., A. 1981. Estudio de Suelos Semidetallado del Valle Alto Tocuayo, Estado Lara. MARNR. Zona 3, Barquisimeto. 140 p.
- COPLANARH. 1975. Estudio Geomorfológico de las Regiones Costa Noroccidental, Centro Occidental y Central. Publicación N° 44. Caracas 160-170 p.
- Curiel, O. 1975. Revisión de la información existente en Areas con Problemas de Salinidad en los Estados Lara-Falcón-Yaracuy. M.O.P., Dirección de Información Básica, División de Edafología. Barquisimeto. 35 p.
- Dieleman, O.S. (Ed). 1972. Reclamation of Salt Affected Soils in IRAQ. ILRI. NETHERLANDS. 175 p.
- Fernández, N. 1980. Evaluación del Contenido y Calidad de Sales en Riego por Surco. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae en Riegos y Drenaje. CIDIAT. Mérida. 3-6 p.
- Fermin, N. 1974. Compendio de Métodos de Análisis de Calicatas. Oficina Edafológica de Occidente. M.O.P. Guanare. 42 p.
- Franco, E. 1976. La Rehabilitación de Tierras Empatanadas y/o Salinas. Seminario sobre Drenaje de Tierras Agrícolas. CIDIAT. Mérida. 75 p.
- Grillo, M., y P. Domínguez. 1979. "Efectos de la Salinidad y la Alcalinidad de los Suelos en la Producción de La Caña de Azúcar. Algunas Experiencias en El Ingenio Providencia. Colombia". Suelos Ecuatoriales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Palmira. 2(10): 115-121.

- González, F. y M.A. Perdomo. 1979. "Uso de Suelos Salinos y/o Sódicos con El Arroz. Fangueo". Suelos Ecuatoriales, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Palmira 2(10): 95-97.
- IGAC. 1979. Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos". IGAC, Subdirección Agrológica. Bogotá D.E. 450-500 p.
- Norero, A. 1976. Cálculos Agronómicos relacionados con el Riego. CIDIAT. Mérida. 25 p.
- FAO. 1976. El Drenaje de Suelos Salinos. FAO. Roma. 50-69 p.
- Pizarro C., F. 1979. "Lavado de Suelos Salinos. Métodos de Cálculo y Procedimiento de Aplicación". Suelos Ecuatoriales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Palmira. 10(2): 7-12.
- . 1979. "El Drenaje Subterráneo en La Recuperación de Suelos Salinos y/o Sódicos". Suelos Ecuatoriales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Palmira. 2(10): 89-94.
- Pla, I., F. Dappo. 1975. Sistema Racional para La Evaluación de Calidad de Aguas para Riego. FUDECO, Barquisimeto. 49 p.
- Pla Sentis, I. 1967. "Evaluación Cuantitativa de los Efectos de los Bicarbonatos en el Agua de Riego, Sobre Las Propiedades Químicas y Físicas de los Suelos y Factores que influyen sobre La Magnitud de Tales Efectos". Rev. Fac. Agronomía. Maracay. Alcance 12. 88 p.
- Pla Sentis, I. 1968. Calidad de Aguas de Riego y Requerimientos de Drenaje". III Jornadas Venezolanas de Riego. Tema III. Documento N°. 20. Colegio de Ingenieros de Venezuela. Caracas. 45-63 p.
- . 1968. Effects of Bicarbonates in Irrigation Waters on Soil Chemical and Physical Properties as Influenced by Leaching an Irrigation Management. Tesis Ph.D., Dept. of Soils and Plant Nutrition, Univ. of California. Riverside. 140 p.
- . 1979. "Calidad y Uso de Agua para Riego". Suelos Ecuatoriales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Palmira. 2(10): 26-50.
- Pulido, R. y H. del Valle. 1980. "Instructivo para El Análisis de Suelos y Aguas para Riego". Universidad Autónoma. Chapingo. México. 45 p.
- Ravina, I. 1979. "Recuperación de Suelos Salinos y Sódicos". Suelos Ecuatoriales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 2(10): 73-88.
- Richards, L.A. (ed.): 1977. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Manval N°. 60. Limusa, México. 266 p.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. 1970. Balance de Sales. Eficiencia de Riego y Diseño de Drenaje. Memorandum Técnico N° 285. México. D.F. 45 p.

_____. 1975. La Salinización del Suelo y del Agua Subterránea, bajo una agricultura diversificada. Memorandum Técnico N° 338. México. D.F. 36 p.

_____. 1973. Efecto de la Temperatura del Suelo sobre el Crecimiento de las Plantas en los Suelos Salinos. Memorandum Técnico N° 317. México. D.F. 30 p.

Sequera, P. 1967. Los Suelos Salinos y la Caña de Azúcar. Universidad Central de Venezuela. Caracas, 61 p.

U.S.D.A. 1975. Soil Conservation Service Soil Taxonomy. Washington. D.C.

Zinck, A. y Suárez, C. 1980. Condiciones de Salinidad y Alcalinidad en la Depresión de Quibor, Estado Lara. M.O.P., División de Edafología. 39 p.

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

A P E N D I C E A

Tablas de resultados analíticos de las muestras de suelo y
Figuras de análisis del comportamiento de la conductividad
eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en las
unidades de suelos estudiados

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

Tabla A.1 Resultados analíticos del punto de muestreo EM-U2, correspondiente a la unidad de suelo Fluventic Cambortid en El Molino.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales Eq/m ⁵	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.7	7.4	0.72	6.00	1.5	-	0.01	7.51	3.28	1.00	1.71	5.99	1.71	1.14	3.85	0.25
20-40	7.8	7.4	0.43	3.00	1.03	0.34	-	4.37	2.58	1.00	1.51	5.09	2.57	2.33	3.64	0.24
40-60	7.5	7.1	0.45	2.50	-	2.44	0.03	4.97	2.03	1.00	1.51	4.54	0.13	0.0	2.78	0.18
60-80	7.2	7.0	0.51	3.00	1.2	-	0.03	4.23	2.18	1.00	1.71	4.89	0.0	0.0	2.36	0.16
80-100	7.5	6.9	0.61	3.50	1.1	1.29	0.07	5.96	2.18	1.00	2.16	5.34	0.26	0.0	2.57	0.17

$$\Sigma = 15.20$$

Tabla A.2 Resultados analíticos del punto de muestreo EM-U4, correspondiente a la unidad de suelo Us -
tollic Cambortid en El Molino.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ³	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.7	7.5	1.64	7.38	0.6	3.78	0.05	11.81	4.53	27.0	1.96	33.49	1.89	1.40	6.54	0.38
20-40	7.8	7.6	0.45	2.75	1.25	-	-	4.00	2.83	1.00	1.61	5.44	0	0	2.83	0.16
40-60	7.9	7.3	0.39	2.50	1.01	-	-	3.51	2.23	1.00	1.56	4.79	0	0	2.44	0.14
60-80	7.8	7.1	0.39	2.50	0.90	-	-	3.40	1.83	1.00	1.58	4.41	0	0	2.32	0.13
80-100	7.8	6.9	0.42	2.38	2.10	-	-	4.48	1.53	1.00	1.60	4.13	0	0	3.13	0.18

Σ = 7.26

Tabla A.3 Resultados analíticos del punto de muestreo EM-U3, correspondiente a la unidad de suelo Aquic Cambortid en El Molino.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ³	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.7	7.3	0.63	4.0	0.90	0.79	-	5.69	3.18	8.60	1.81	13.59	0.55	0	4.31	0.05
20-40	7.8	8.0	0.75	3.75	1.50	0.89	-	5.25	2.20	2.40	1.83	6.43	0.48	0	3.64	0.04
40-60	7.7	7.6	1.34	7.50	4.63	1.69	0.01	13.83	2.08	11.0	1.51	14.59	1.13	0.37	11.13	0.13
60-80	7.5	6.9	2.99	16.38	13.89	3.58	0.01	33.86	2.03	42.0	1.05	45.08	0.91	0.34	35.02	0.40
80-100	7.6	6.8	2.99	16.38	13.89	3.58	0.01	33.86	1.93	26.0	0.71	28.64	0.54	0	33.73	0.38

$$\Sigma = 87.83$$

Tabla A.4 Resultados analíticos del punto de muestreo LCH-U3, correspondiente a la unidad de suelo Aquic Cambortid en Las Charcas.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ³	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.8	7.9	0.90	4.64	2.61	1.64	0.01	8.89	3.33	6.00	1.26	10.59	0.86	0	8.03	0.26
20-40	7.9	7.3	0.52	2.50	2.09	0.69	-	5.28	3.73	0.80	0.86	5.39	0.46	0	5.35	0.17
40-60	7.8	6.9	0.75	5.50	1.90	0.45	-	7.85	3.08	4.00	1.36	9.16	0.23	0	8.47	0.27
60-80	7.6	6.6	0.98	4.92	3.63	0.24	0.01	8.80	2.63	6.00	1.26	9.89	0.12	0	9.38	0.30
80-100																

$$\Sigma = 31.23$$

Tabla A.5 Resultados analíticos del punto de muestreo BV-U10, correspondiente a la unidad de suelo Ustollic Cambortid en Bella Vista - Las Charcas.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ³	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.6	7.3	1.04	8.75	2.42	-	0.03	11.2	2.93	3.00	1.46	7.39	0.91	0.34	7.28	0.23
20-40	7.5	7.5	1.34	11.63	1.92	0.69	0.01	14.3	2.48	13.00	1.91	17.39	0.26	0	8.49	0.27
40-60	7.6	7.2	1.64	13.0	3.75	0.44	0.01	17.2	1.83	12.60	2.50	16.93	0.15	0	15.25	0.49
60-80	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd					
80-100																

Σ = 31.02

nd = no determinado por presencia de estrato pedregoso.

Tabla A.6 Resultados analíticos del punto de muestreo LCH-U4, correspondiente a la unidad de suelo Ustollic Cambortid en Las Charcas.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ³	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.8	7.20	0.54	4.50	1.49	-	0.01	6.00	3.63	1.60	0.96	6.19	0	0	4.20	0.22
20-40	7.8	7.00	0.52	4.50	1.70	-	-	6.20	2.93	1.60	1.96	6.49	0	0	3.93	0.21
40-60	7.8	7.00	0.48	3.63	1.35	-	-	4.98	2.43	1.60	1.21	5.24	0	0	3.75	0.20
60-80	8.0	7.10	0.49	3.63	1.15	-	-	4.78	2.23	1.60	1.71	5.33	0	0	3.48	0.18
80-100	7.8	7.00	0.46	3.63	1.47	-	-	5.10	2.23	1.60	2.13	5.96	0	0	3.65	0.19

$\Sigma = 19.01$

Tabla A.7 Resultados analíticos del punto de muestreo EAM-U3, correspondiente a la unidad de suelo Aquic Cambortid en El Amparo.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ³	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.7	7.6	0.75	4.00	—	—	0.01	4.01	2.80	1.60	1.93	6.33	0	0	3.48	0.04
20-40	7.5	7.4	0.90	6.13	—	0.29	0.01	6.43	2.38	7.00	1.41	10.79	0.17	0	5.90	0.06
40-60	7.5	7.0	2.84	17.88	16.20	0.69	0.01	34.78	1.98	48.00	1.36	51.34	0.17	0	32.33	0.34
60-80	7.5	7.1	2.69	19.63	13.89	0.59	0.01	34.12	1.48	44.00	1.41	46.89	0.14	0	26.19	0.28
80-100	7.5	6.9	2.39	19.63	13.89	0.09	0.01	33.62	1.38	40.00	0.91	42.28	0.021	0	27.20	0.29

Σ = 95.10

Tabla A.8 Resultados analíticos del punto de muestreo LES-U4, correspondiente a la unidad de suelo Ustollic Cambortid en La Estrella.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ³	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.70	8.30	1.49	9.50	2.00	0.54	0.23	12.3	2.83	11.00	1.41	15.24	0.23	0	7.88	0.28
20-40	7.70	7.00	0.58	3.00	1.20	0.10	0.03	4.33	1.87	2.00	1.65	6.12	0.42	0	3.78	0.14
40-60	7.70	8.10	1.60	12.30	1.20	0.54	0.13	14.17	1.73	14.0	1.46	17.19	0.21	0	8.71	0.31
60-80	7.50	8.00	0.55	2.20	1.00	0.09	0.03	3.32	1.38	2.50	1.76	5.64	0.07	0	2.73	0.10
80-100	7.30	7.90	0.59	4.30	1.03	0.54	0.05	5.92	1.63	2.80	1.41	5.84	0.33	0	4.58	0.17

Σ = 27.68

Tabla A.9 Resultados analíticos del punto de muestreo LES-U2, correspondiente a la unidad de suelo Fluvio Cambortid en La Estrella.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ³	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.8	8.0	1.94	12.20	1.00	2.08	0.51	15.79	2.83	13.50	2.61	18.94	0.81	0	10.87	0.17
10-40	7.6	7.0	1.19	6.50	2.20	1.19	0.03	9.92	2.23	11.00	1.41	14.64	0.42	0	9.89	0.15
40-60	7.6	8.1	2.84	13.90	1.00	2.88	0.13	17.91	2.27	27.00	1.21	30.48	1.06	0.27	14.00	0.21
60-80	7.7	8.1	1.70	9.70	4.20	0.31	0.15	14.31	1.63	8.00	1.56	11.19	0.12	0	10.85	0.17
80-100	7.7	7.7	2.69	15.20	8.10	1.84	0.27	25.41	1.73	15.00	1.46	18.19	0.54	0	19.52	0.30

Σ = 65.13

Tabla A.10 Resultados analíticos del punto de muestreo EP-U3, correspondiente a la unidad de suelo
Aquic Cambortid en El Palmar.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ⁻⁵	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ³	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.5	7.2	3.58	15.88	16.20	5.76	0.11	37.95	3.03	46.00	1.96	50.99	1.44	0.79	31.44	0.17
20-40	7.7	7.0	3.88	15.58	18.52	4.76	0.01	38.79	2.18	65.00	1.46	68.64	1.15	0.40	36.18	0.20
40-60	7.6	7.1	5.07	13.75	18.50	9.54	0.01	41.78	2.33	60.00	0.86	63.19	2.38	2.06	39.62	0.22
60-80	7.4	6.9	5.37	11.50	20.83	6.79	0.01	39.13	0.71	38.67	0.63	40.01	1.69	1.13	34.21	0.19
80-100	7.4	7.6	5.07	12.10	20.83	10.44	0.01	43.30	0.81	42.70	0.49	44.00	2.57	2.33	40.81	0.22

$\Sigma = 182.25$

Tabla A.11 Resultados analíticos del punto de muestreo SR-U9, correspondiente a la unidad de suelo Fluvaquentic Cambortid en San Rafael.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ³	Disolución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.7	7.6	0.90	4.75	2.27	0.79	0.07	7.88	2.83	4.00	2.01	8.84	0.42	0	6.75	0.21
20-40	7.8	7.4	0.72	3.63	2.51	0.74	0.01	6.89	2.48	2.40	2.41	7.29	0.42	0	6.16	0.19
40-60	7.7	7.1	0.75	4.00	2.08	0.94	-	7.02	1.53	4.00	1.76	7.29	0.54	0	6.08	0.19
60-80	7.8	7.1	0.90	5.25	1.51	0.24	0.01	7.01	1.58	4.40	1.61	7.59	0.13	0	5.97	0.18
80-100	7.8	7.1	0.90	4.63	3.50	0.74	0.01	8.88	1.93	4.00	1.91	7.84	0.37	0	7.61	0.23

Σ = 32.57

Tabla A.12 Resultados analíticos del punto de muestreo SR-U4, correspondiente a la unidad de suelo Ustollic Cambortid en Las Cruces.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ³	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.5	8.1	3.43	16.45	4.75	8.34	0.46	30.00	3.18	26.0	1.21	30.29	2.56	1.51	21.76	0.17
20-40	7.3	7.8	3.43	19.73	3.29	9.81	0.17	33.00	1.03	25.00	0.81	26.84	2.08	1.66	23.43	0.19
40-60	7.4	8.1	3.88	15.95	7.89	11.02	0.14	35.00	2.28	27.00	0.89	30.17	2.51	2.25	27.05	0.22
60-80	7.4	8.1	3.75	15.94	7.67	10.78	0.14	34.52	2.30	30.49	1.21	34.20	2.51	2.25	27.04	0.22
80-100	7.4	7.9	3.58	24.28	2.91	6.06	0.25	33.50	1.77	25.00	0.76	27.53	1.18	0.44	25.73	0.21

$$\Sigma = 125.01$$

Tabla A.13 Resultados analíticos del punto de muestreo SR-U3, correspondiente a la unidad de suelo Aquic Cambortid en Las Cruces.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ³	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.4	8.1	3.88	10.80	6.2	4.62	0.09	21.71	2.47	26.00	1.41	29.88	1.58	0.99	19.12	0.20
20-40	7.5	8.2	3.43	10.80	0.70	2.22	0.15	13.87	3.23	12.0	1.28	16.51	0.93	0.09	12.10	0.12
40-60	7.5	7.2	2.24	11.30	10.40	5.07	0.07	26.84	2.23	24.00	0.89	27.12	1.54	0.93	23.60	0.24
60-90	7.4	7.7	4.63	12.25	0.20	4.17	0.09	16.71	1.43	18.00	0.81	20.24	1.67	1.10	16.70	0.17
80-100	7.4	8.0	4.63	10.80	9.60	4.02	0.47	24.89	1.73	20.00	0.76	22.49	1.26	0.54	26.20	0.27

$$\Sigma = 97.72$$

Tabla A.14 Resultados analíticos del punto de muestreo PB-U9, correspondiente a la unidad de suelo Fluvaquentic Cambortid en Puente Boro.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ³	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.6	7.0	1.94	8.75	4.63	1.24	0.01	14.63	4.38	16.00	3.06	23.44	0.48	0	12.81	0.31
20-40	7.8	7.6	1.19	5.75	4.63	2.58	-	12.96	3.48	5.60	2.11	11.19	1.13	0.37	11.18	0.27
40-60	7.8	7.5	0.75	2.75	3.54	0.69	-	6.98	3.03	1.00	1.91	5.94	0.39	0	5.34	0.13
60-80	7.9	7.8	0.75	3.50	3.07	0.99	0.01	7.57	2.93	1.60	3.01	7.54	0.55	0	6.54	0.16
80-100	7.7	7.5	0.75	3.00	2.32	0.14	0.05	5.51	3.13	3.60	2.51	9.24	0.09	0	4.98	0.12

$$\Sigma = 40.85$$

Tabla A.15 Resultados analíticos del punto de muestreo BM-U3, correspondiente a la unidad de suelo Aquic Cambortid en Santa Teresa de Boro.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ³	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.5	7.1	4.50	16.30	16.20	8.79	0.57	41.86	2.73	38.00	8.76	49.49	2.18	1.80	36.33	0.18
20-40	7.5	7.1	3.58	17.05	13.89	3.76	0.09	34.79	2.08	38.00	3.06	43.14	0.96	0.13	42.22	0.21
40-60	7.5	7.9	3.58	19.50	16.20	5.76	0.05	41.51	2.03	50.00	2.46	54.49	1.36	0.69	52.69	0.27
60-80	7.4	7.1	3.28	18.00	16.20	4.48	0.05	38.73	0.73	38.12	1.17	40.02	1.08	0.31	43.42	0.22
80-100	7.5	7.1	2.09	13.25	9.26	2.80	0.07	25.38	0.72	24.00	0.98	25.70	0.83	0	23.94	0.12

$$\Sigma = 198.60$$

Tabla A.16 Resultados analíticos del punto de muestreo HSD-U3, correspondiente a la unidad de suelo Aquic Cambortid en El Mamonal.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ³	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.6	7.0	2.69	13.75	11.58	2.48	0.01	27.82	2.98	40.00	2.46	45.44	0.70	0.21	23.72	0.25
20-40	7.5	7.0	2.84	14.55	13.89	3.18	0.01	31.63	2.63	27.00	2.26	31.89	0.84	0.01	29.11	0.31
40-60	7.7	6.9	2.54	11.13	11.57	3.03	-	25.76	2.48	27.00	2.10	31.58	0.90	0.06	23.62	0.25
60-80	7.7	7.0	1.19	8.75	2.31	1.49	-	12.55	2.18	8.60	1.91	12.69	0.74	0	10.67	0.11
80-100	7.6	7.3	0.90	5.33	2.30	1.54	0.01	9.20	1.83	4.00	1.38	7.21	0.94	0.12	6.94	0.07

$$\Sigma = 94.06$$

Tabla A.17 Resultados analíticos del punto de muestreo SF-U9, correspondiente a la unidad de suelo Fluvaquentic Cambortid en San Francisco de Boro.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ³	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.7	6.9	2.24	11.25	6.94	2.88	0.03	21.10	3.33	24.00	1.76	29.09	0.95	0.13	16.41	0.29
20-40	7.7	7.2	1.34	7.13	5.65	1.39	0.03	14.20	2.60	8.00	1.86	12.54	0.55	0	11.85	0.21
40-60	7.6	6.9	1.19	7.75	4.15	1.29	0.01	13.20	2.68	11.00	1.61	15.29	0.53	0	12.65	0.22
60-80	7.5	7.3	0.60	3.13	3.06	0.79	0.01	6.99	1.33	8.00	1.76	11.09	0.45	0	2.94	0.05
80-100	7.6	6.9	1.19	7.75	5.30	1.34	0.01	14.4	2.38	11.20	1.71	15.29	0.52	0	13.23	0.23

Σ = 57.08

Tabla A.18 Resultados analíticos del punto de muestreo SF-U3, correspondiente a la unidad de suelo Aquic Cambortid en San Francisco de Boro.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ³	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.5	7.9	1.19	8.85	2.43	1.09	0.13	12.25	5.28	5.6	2.35	13.23	0.46	0	8.27	0.27
20-40	7.7	7.5	0.90	5.75	2.41	0.69	0.03	8.88	4.38	3.6	1.21	9.19	0.34	0	5.72	0.19
40-60	7.7	7.5	0.75	5.38	2.22	0.39	0.01	8.00	3.18	2.0	1.76	6.94	0.20	0	7.57	0.25
60-80	7.9	7.1	0.75	4.33	2.78	0.79	0.05	7.95	1.98	2.0	3.06	7.04	0.42	0	2.94	0.10
80-100	7.6	6.9	1.64	10.25	4.63	1.89	0.01	16.78	2.73	13.0	1.91	17.64	0.69	0	6.29	0.20

$$\Sigma = 30.79$$

Tabla A.19 Resultados analíticos del punto de muestreo PY-U9, correspondiente a la unidad de suelo Fluvaquentic Cambortid en El Playón.

Prof. (cm)	pH Pasta	pH Ext. Sat.	CE.10 ³	CATIONES meq/Lit					ANIONES meq/Lit				RAS	PSI	Sales Totales EQ/m ²	Distribución Relativa
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Total				
0-20	7.5	7.2	8.96	14.50	18.52	37.73	0.53	71.28	4.65	52.20	2.07	71.92	9.29	11.44	56.73	0.30
20-40	7.6	7.1	7.46	12.38	18.52	16.68	0.07	47.65	1.48	44.98	1.55	48.01	4.24	4.60	28.71	0.15
40-60	7.6	7.0	6.27	13.38	18.52	19.68	0.03	51.61	1.46	48.97	2.07	52.5	4.93	5.93	38.58	0.21
60-80	7.9	7.3	8.07	14.38	18.51	14.26	-	47.18	2.06	43.59	2.55	48.2	3.52	3.62	35.08	0.19
80-100	7.6	7.0	3.58	16.38	18.89	3.84	-	34.11	2.04	30.41	2.55	35.00	0.99	0.18	28.38	0.15

Σ = 187.48

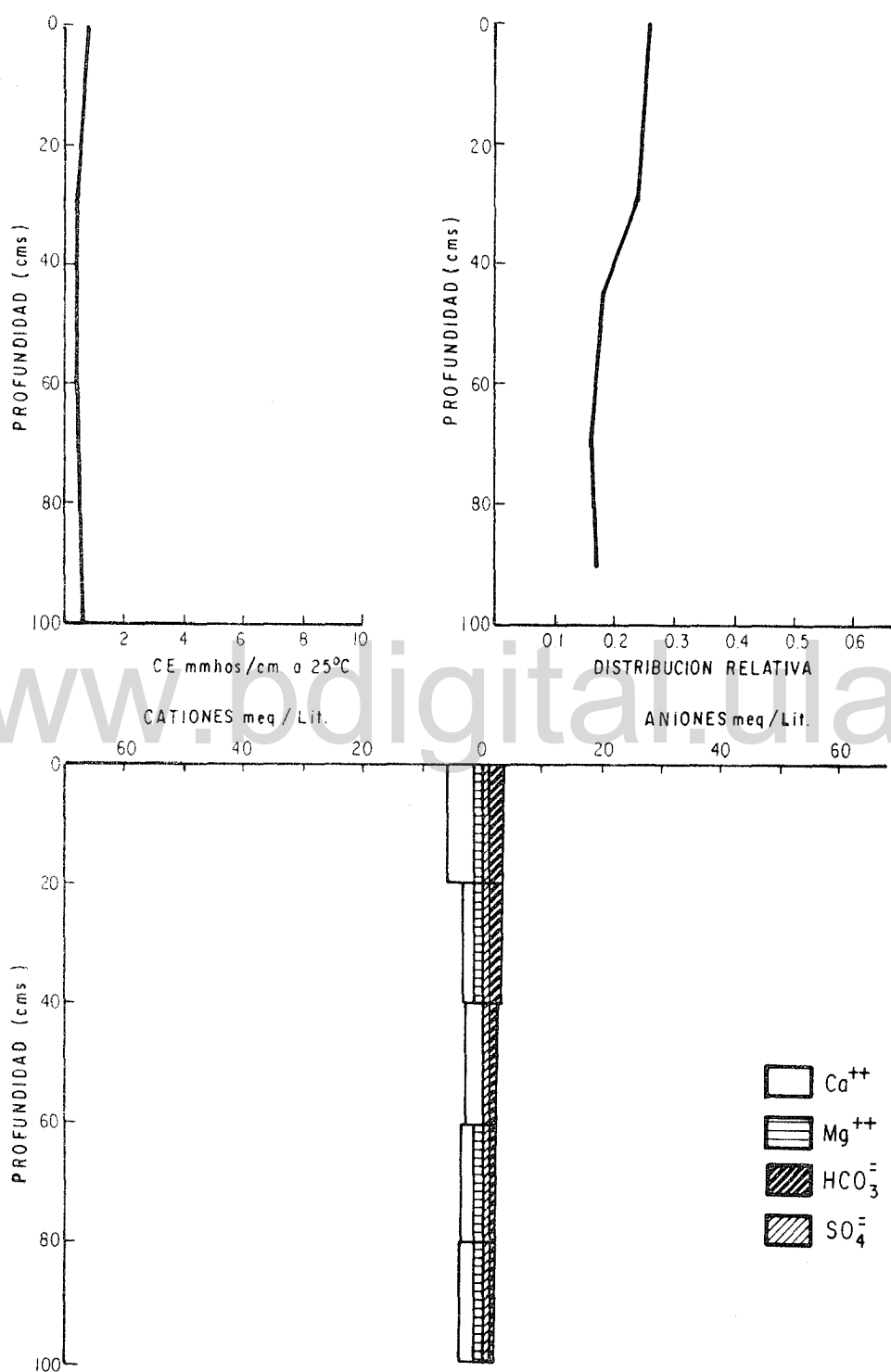


Figura A.1 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Fluventic Cambortid en El Molino.

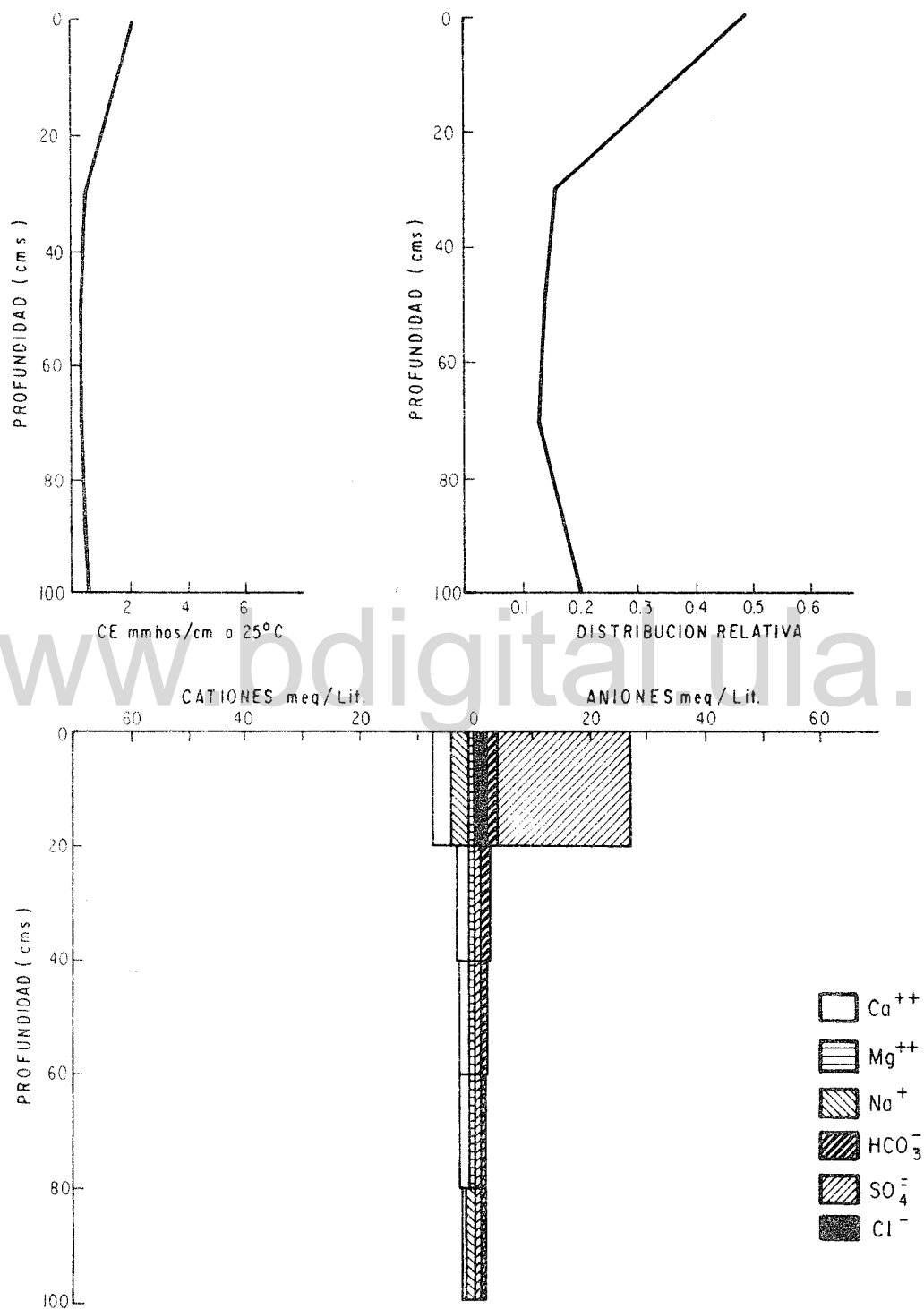


Figura A.2 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Ustollic Cambortid en El Molino.

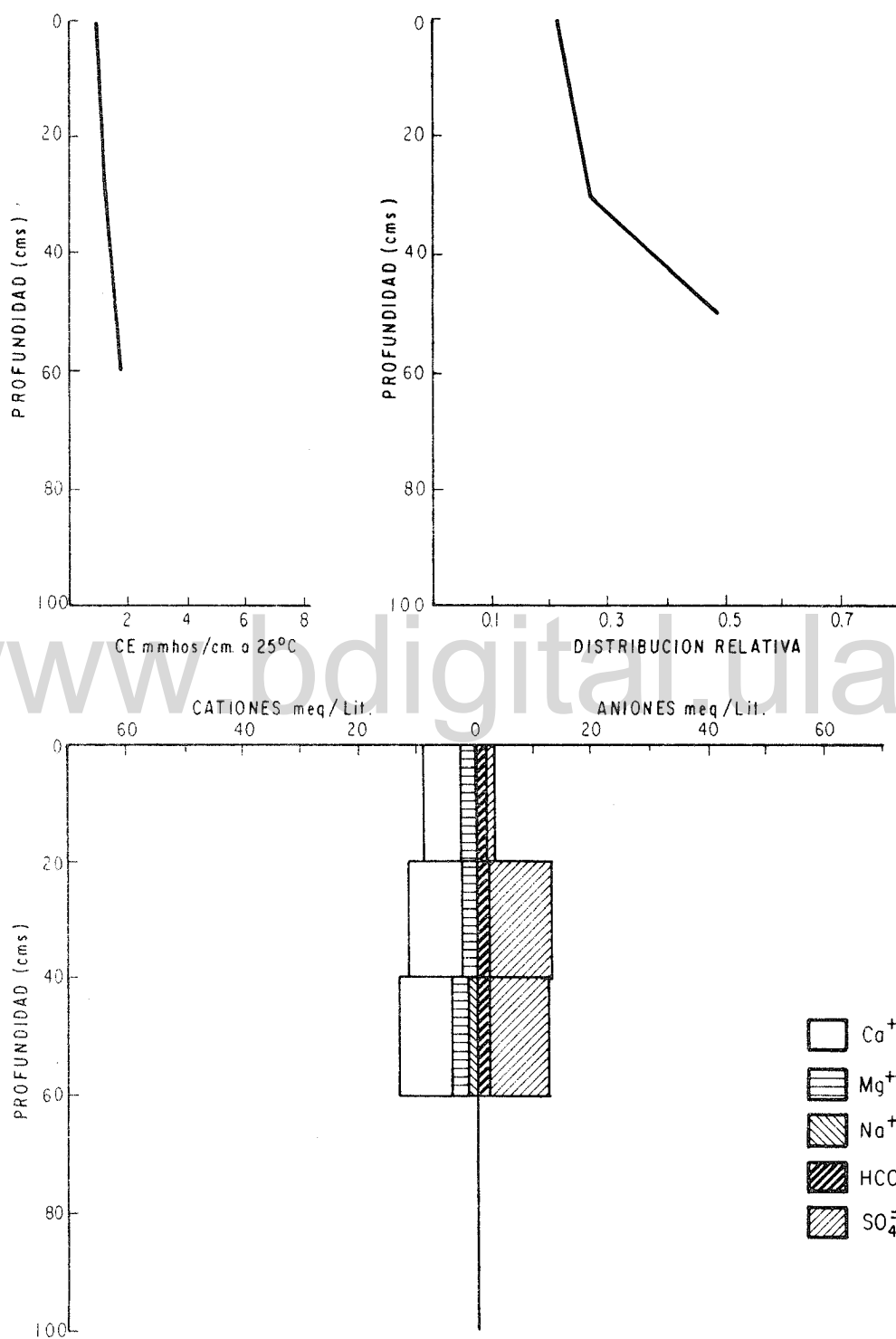


Figura A.3 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Ustollic Cambortid, arcilla/esquelética, en Bella Vista.

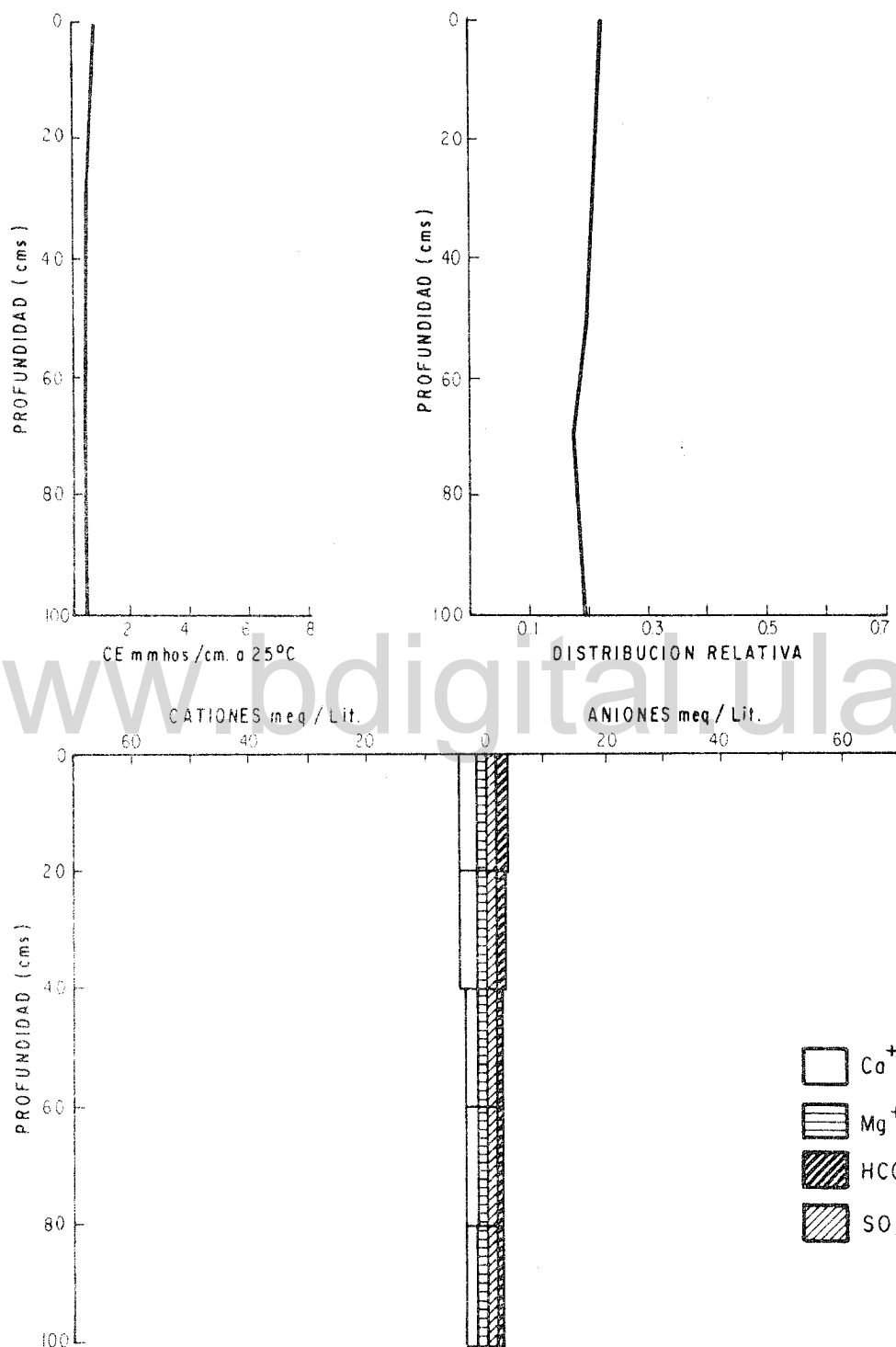


Figura A.4 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Ustollic Cambortid, en Las Charcas.

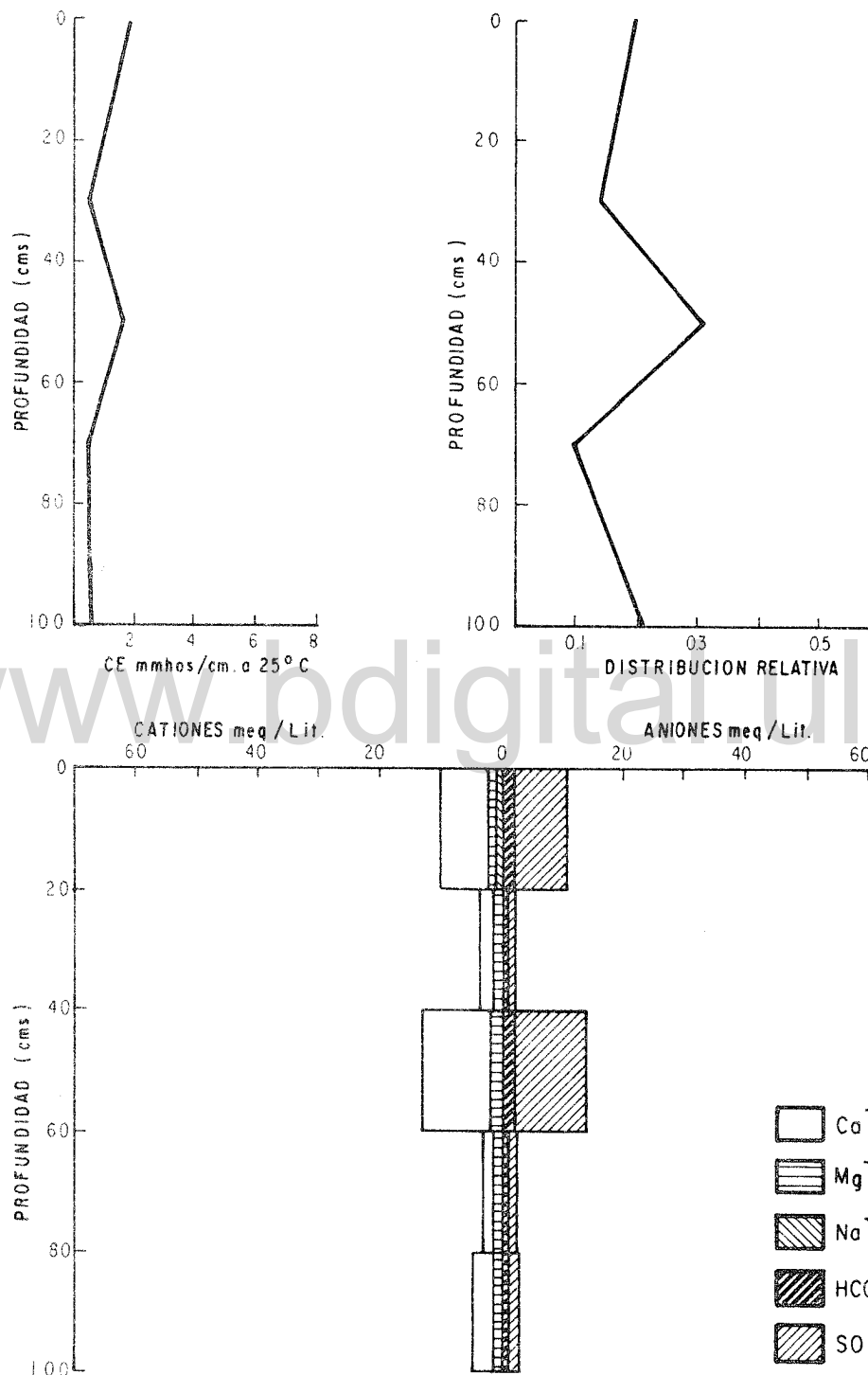


Figura A.5 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Ustollic Cambortid en La Estrella.

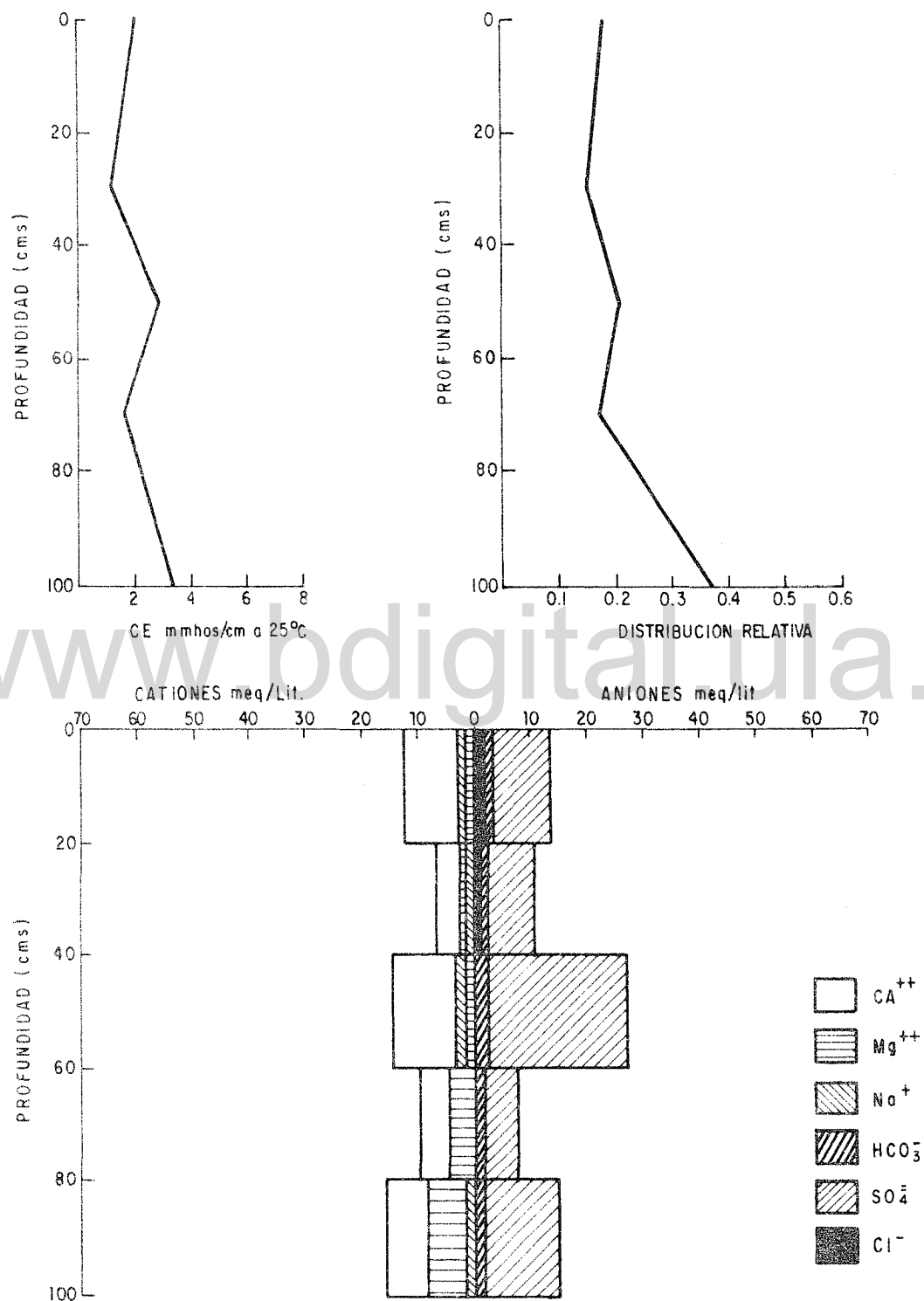


Figura A.6 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Fluventic Cambortid en La Estrella.

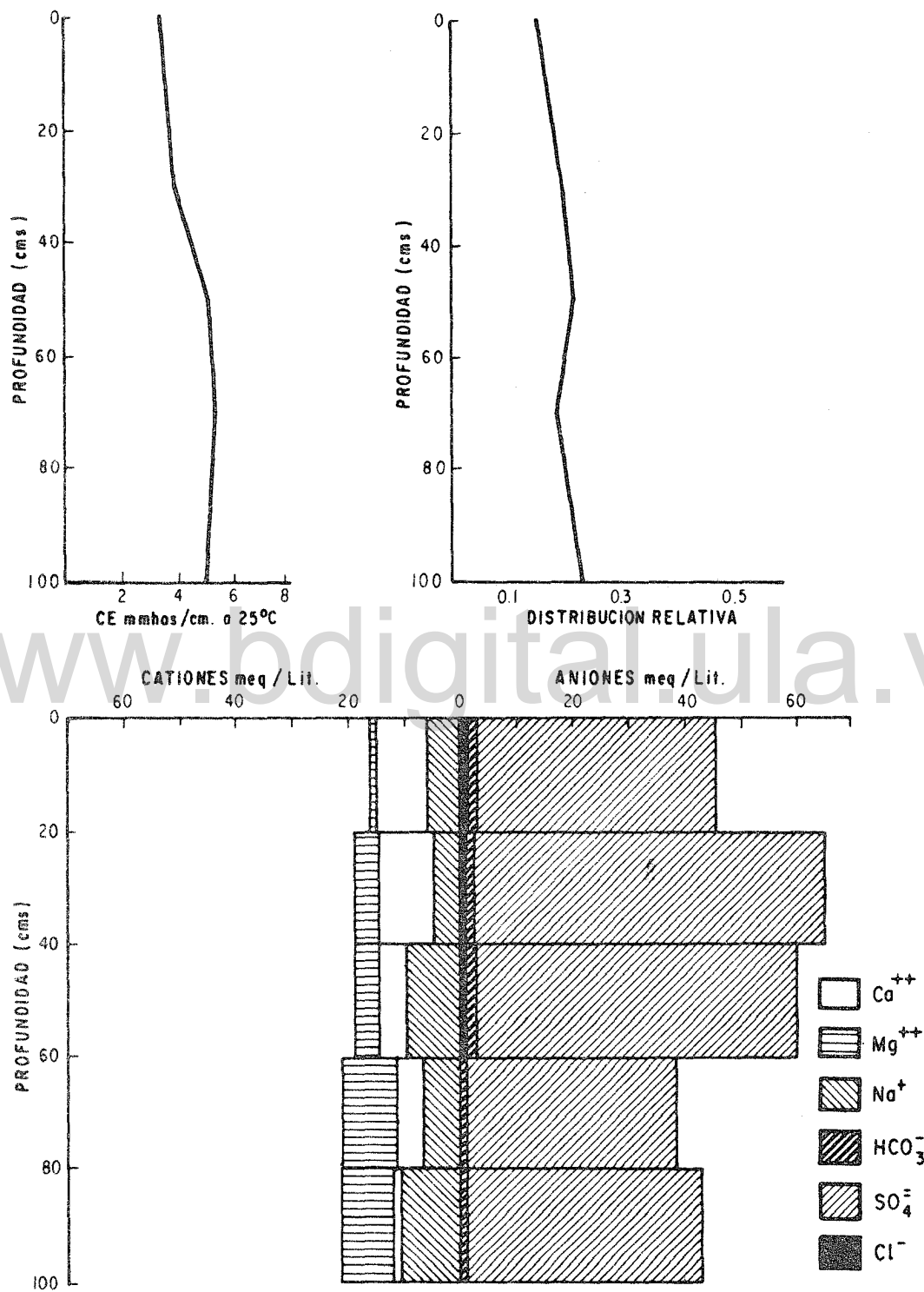


Figura A.7 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Aquic Carbortid en El Palmar.

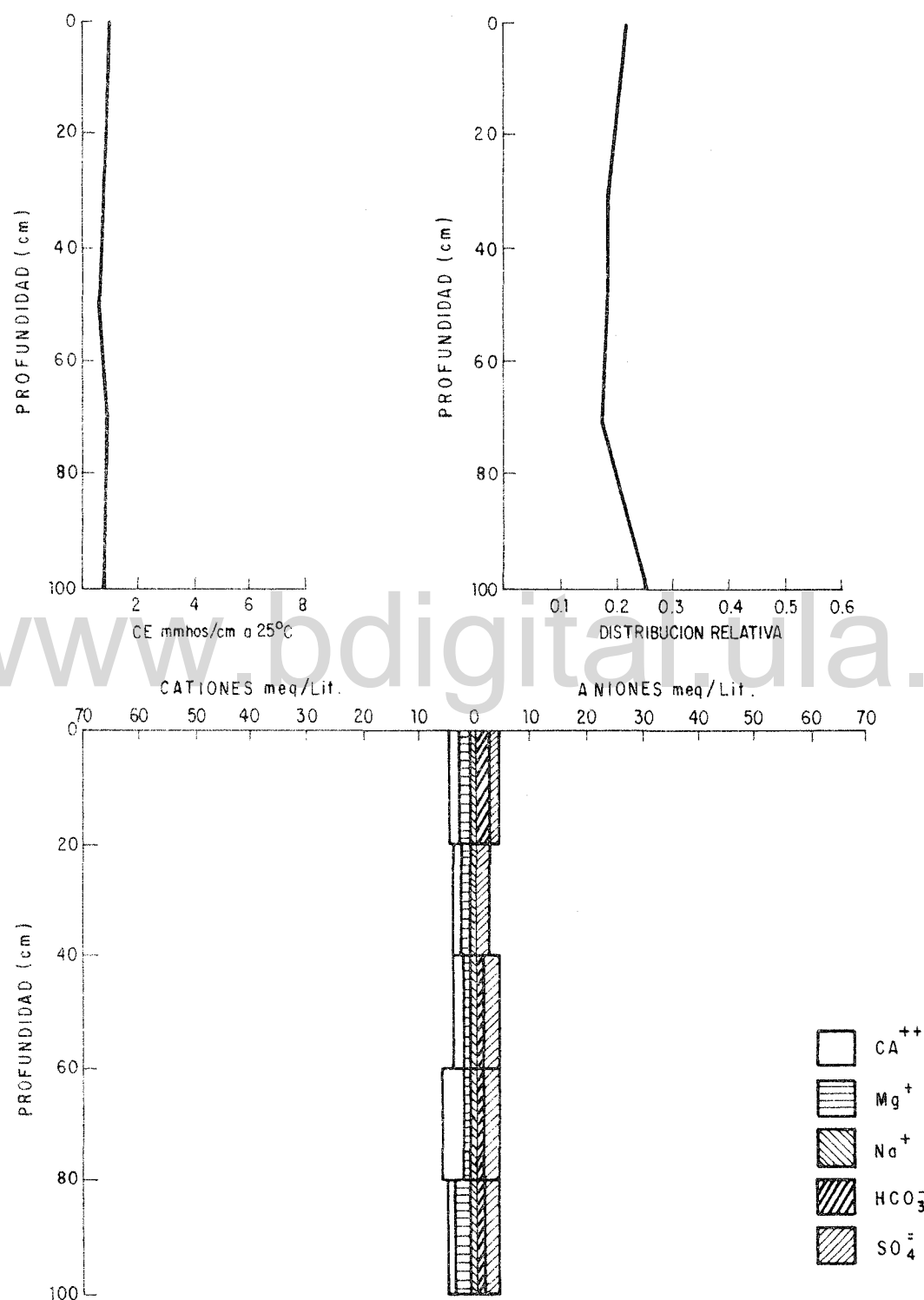


Figura A.8 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Fluvuquentic Cambortid en San Rafael.

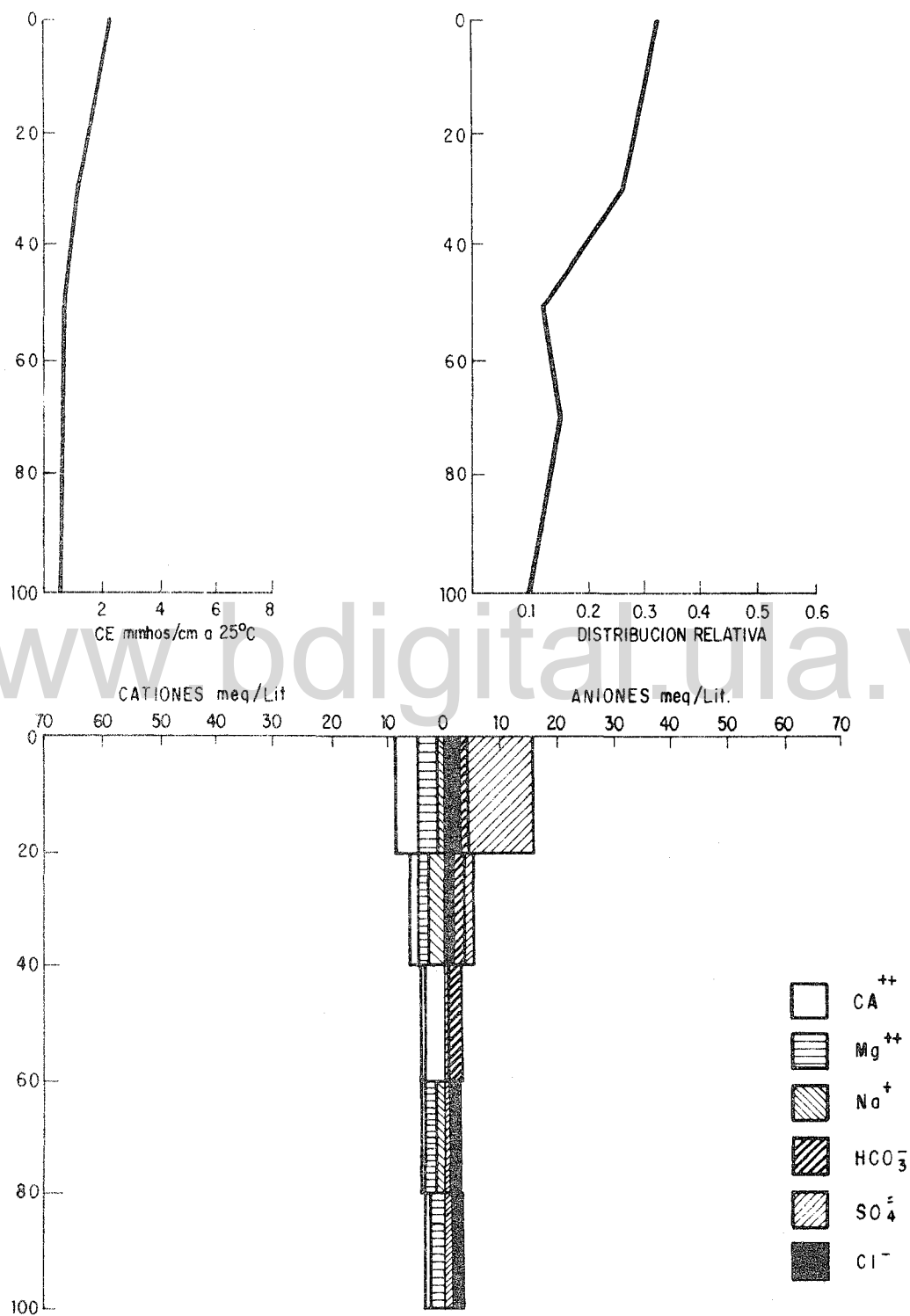


Figura A.9 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Fluvaquentic Cambortid en El Puen te Boro.

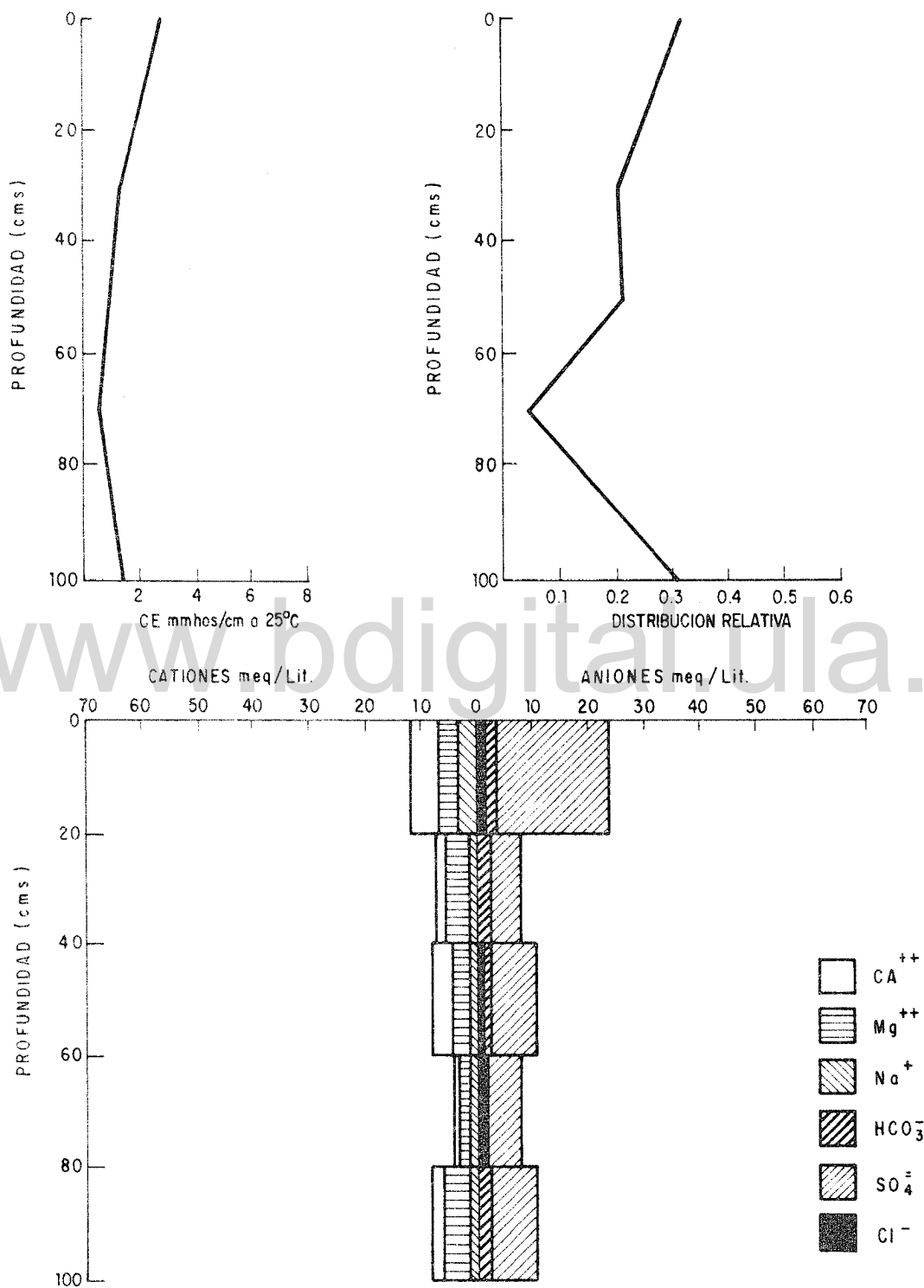


Figura A.10 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Fluvuquentic Cambortid en San Francisco de Boro.

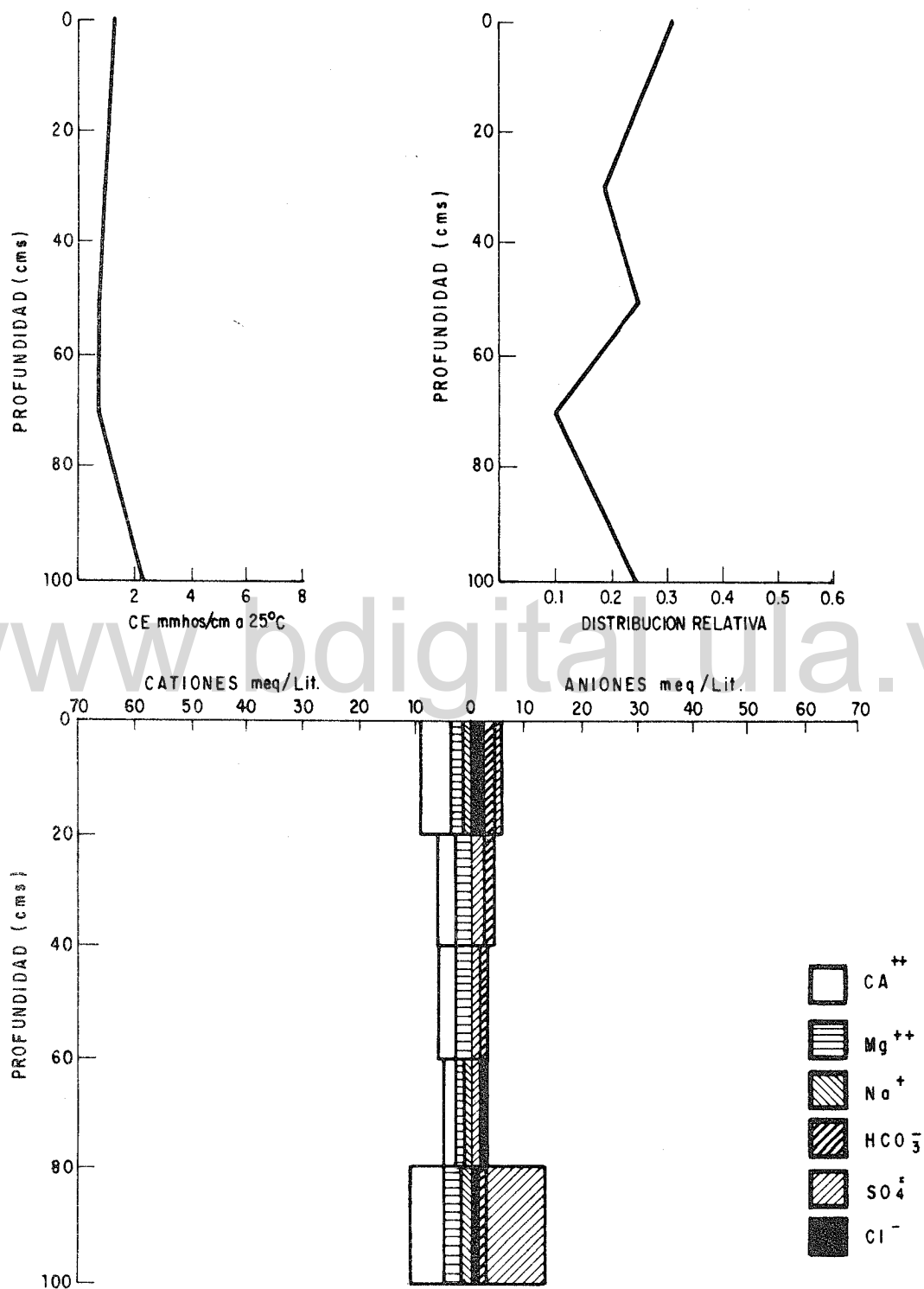


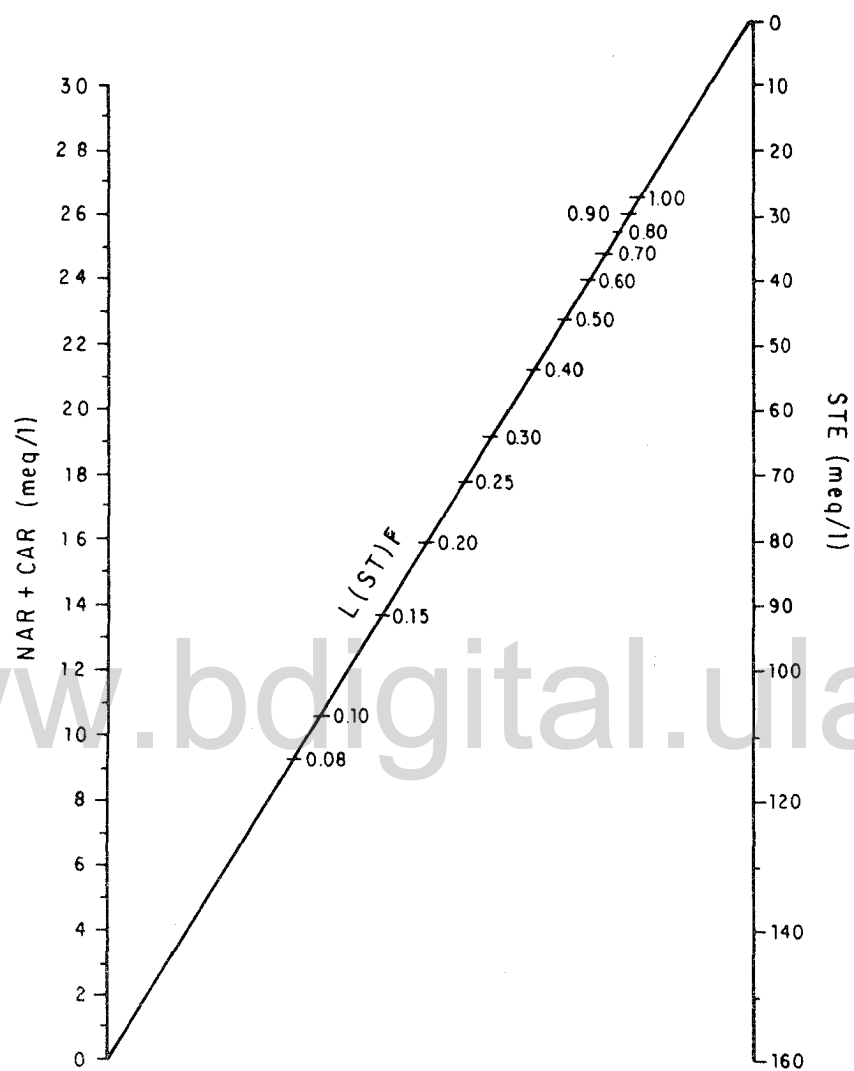
Figura A.11 Comportamiento de la conductividad eléctrica, distribución y naturaleza de las sales en la unidad Aquic Cambortid en San Francisco de Boro.

APENDICE B

Figuras y Tablas usadas para la calificación de las aguas
de Riego

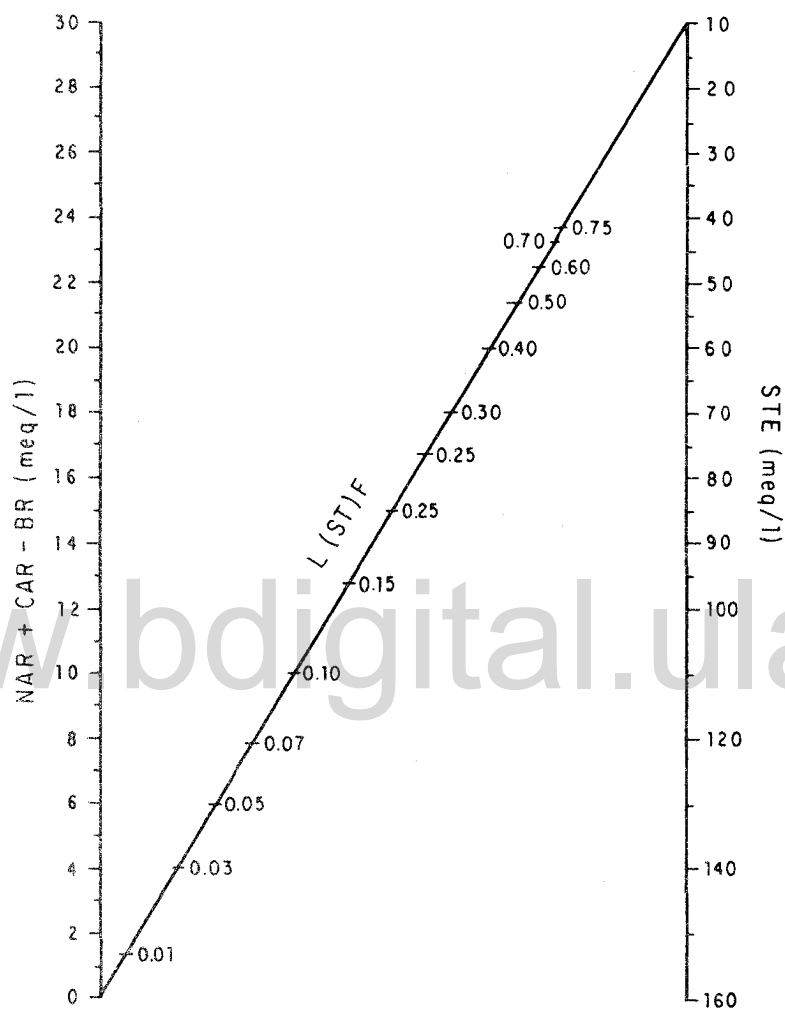
www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve



$$\begin{aligned}
 BR &\leq 10 \times L(ST)F \\
 BR &\leq CAR \\
 CASR &\leq 30 \times L(ST)F \\
 L(ST)F &= (NAR + CAR) / STES
 \end{aligned}$$

Figura B.1 Fuente: Pla y Dappo, (1975)



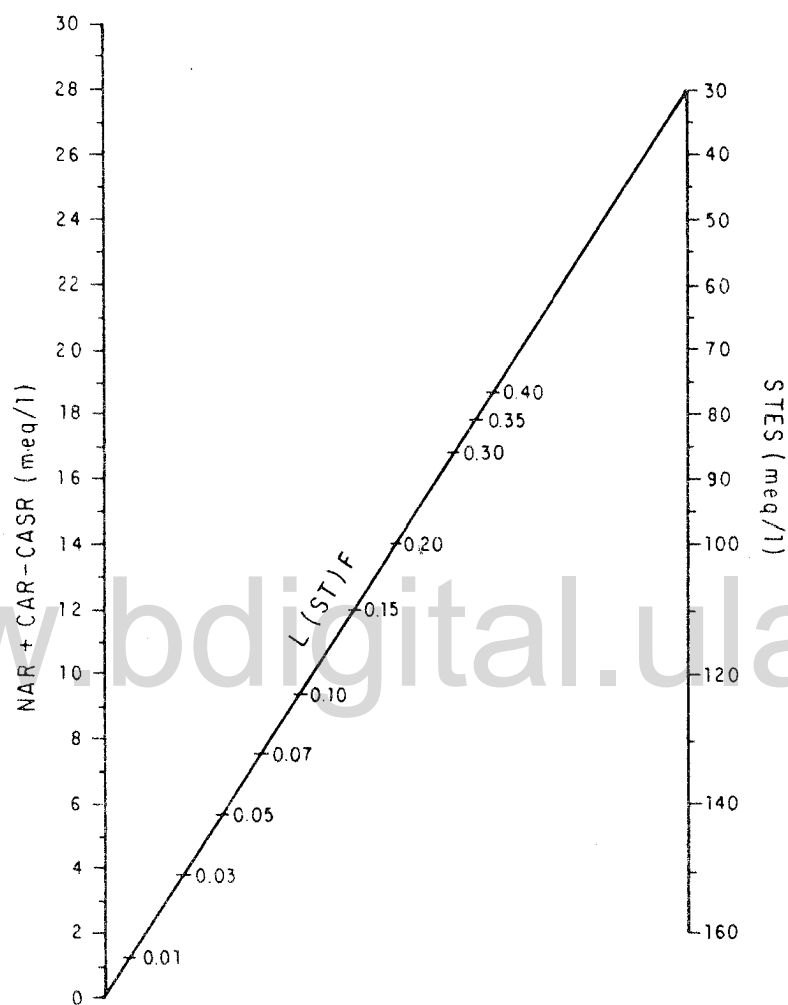
$$CASR \leq 30 \times L(ST)F$$

$$BR > 10 \times L(ST)F$$

$$BR \leq CAR$$

$$L(ST)F = (NAR + CAR - BR) / (STE - 10)$$

Figura B.2 Fuente: Pla y Dappo, (1975)



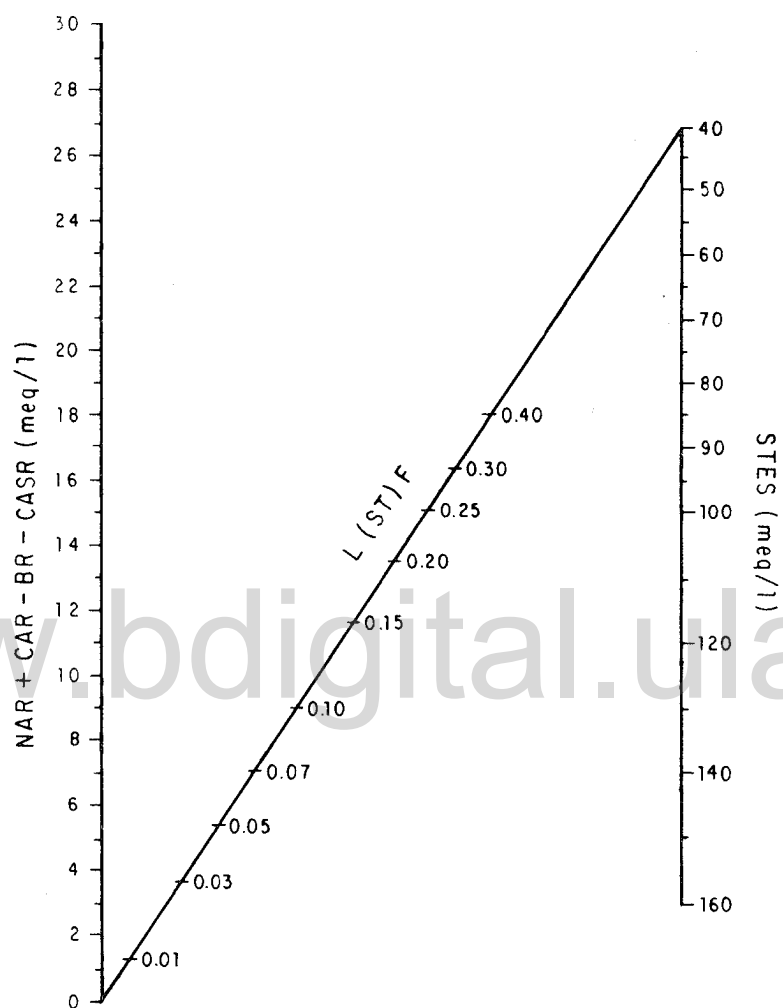
$$BR \leq 10 \times L(ST)F$$

$$BR \leq CAR$$

$$CASR > 30 \times L(ST)F$$

$$L(ST)F = (NAR + CAR - CASR) / (STES - 30)$$

Figura B.3 Fuente: Pla y Dappo, (1975)



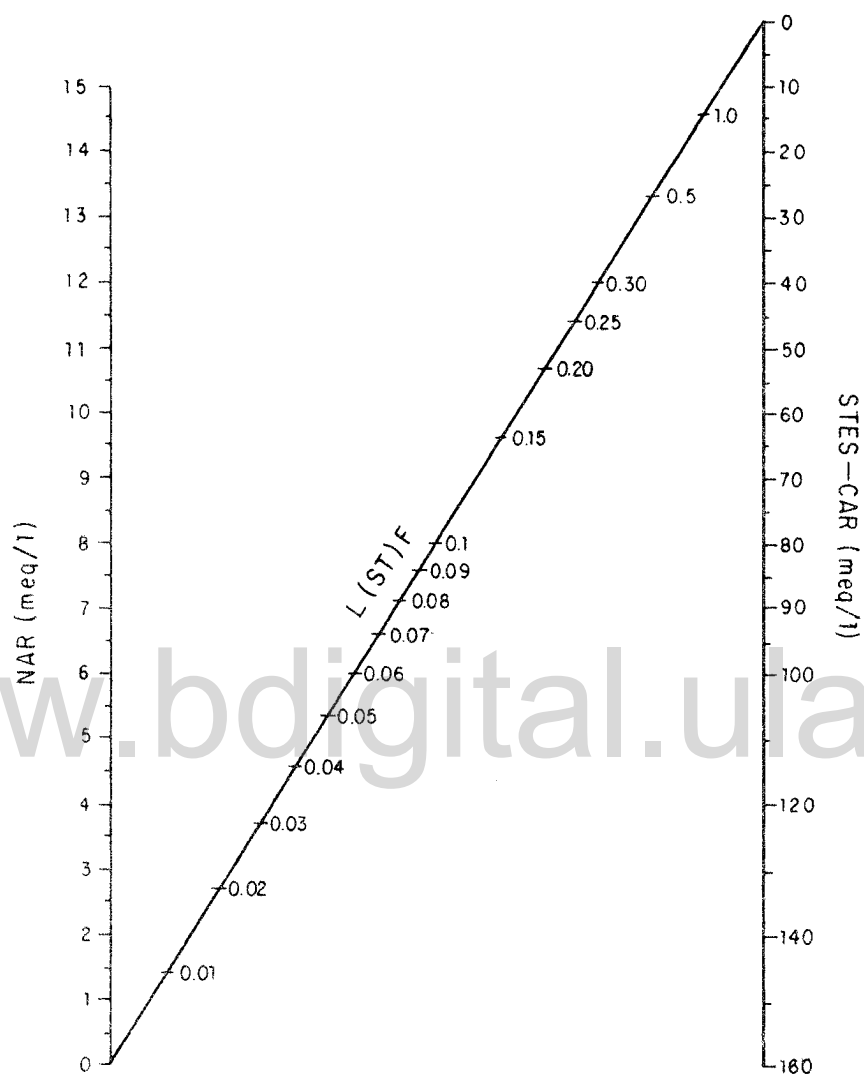
$$BR \leq CAR$$

$$BR > 10 \times L(ST)F$$

$$CASR > 30 \times L(ST)F$$

$$L(ST)F = (NAR + CAR - BR - CASR) / (STES - 40)$$

Figura B.4 Fuente: Pla y Dappo, (1975)



BR > CAR
 $L(ST)F = NAR / STES CAR$

Figura B.5 Fuente: Pla y Dappo, (1975)

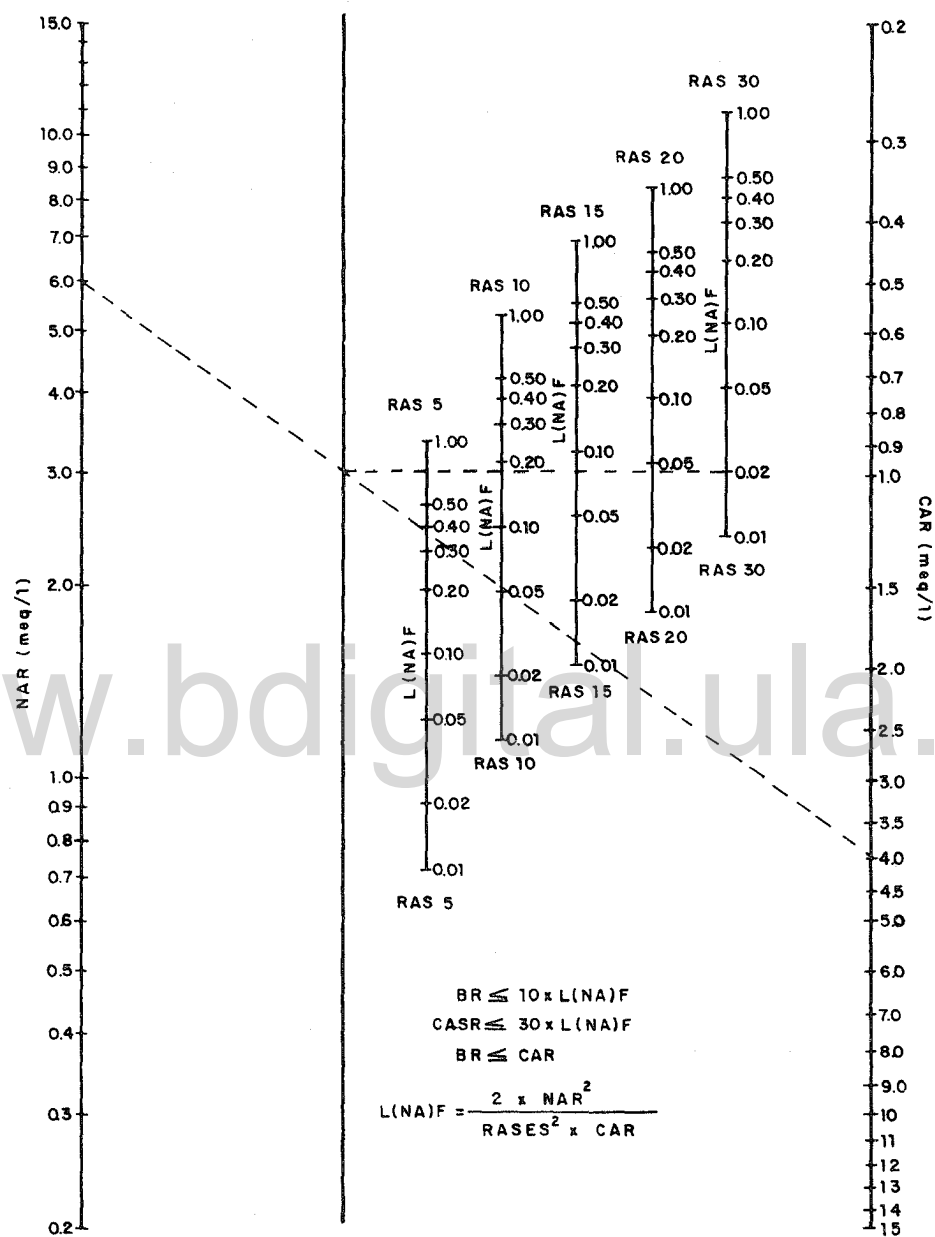


Figura B.6 Fuente: Pla y Dappo, (1975)

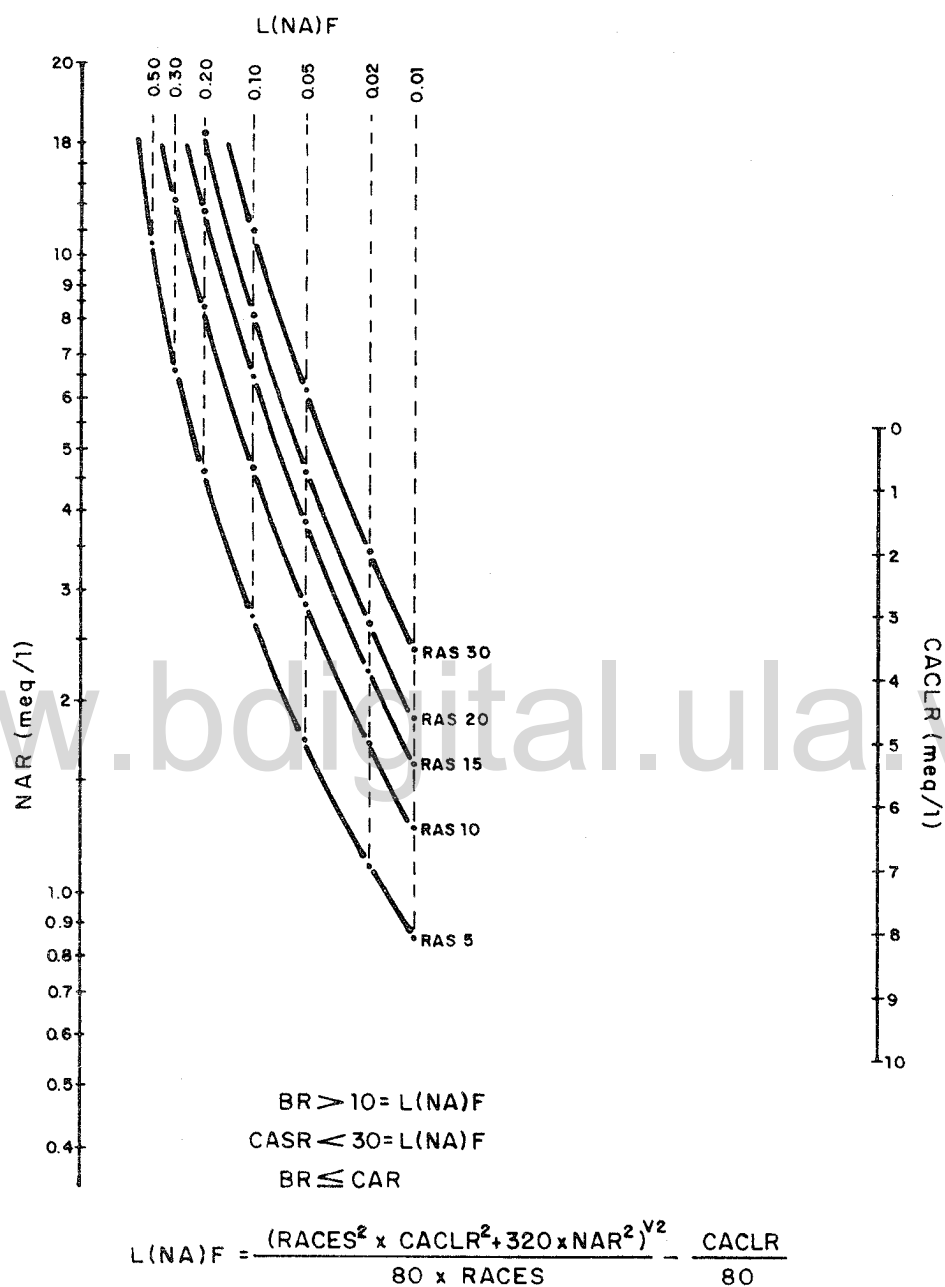


Figura B.8 Fuente: Pla y Dappo, (1975)

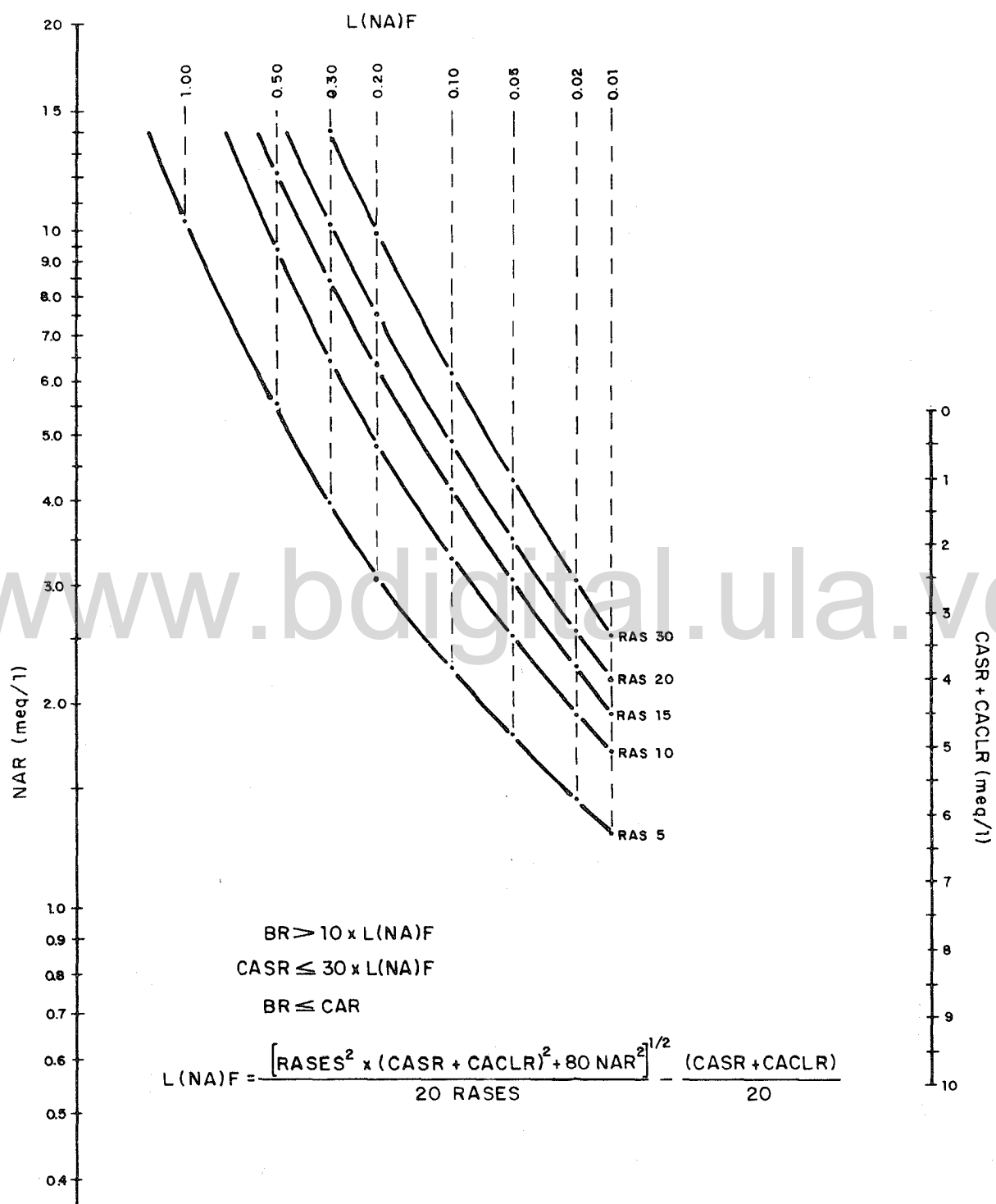


Figura B.7 Fuente: Pla y Dappo, (1975)

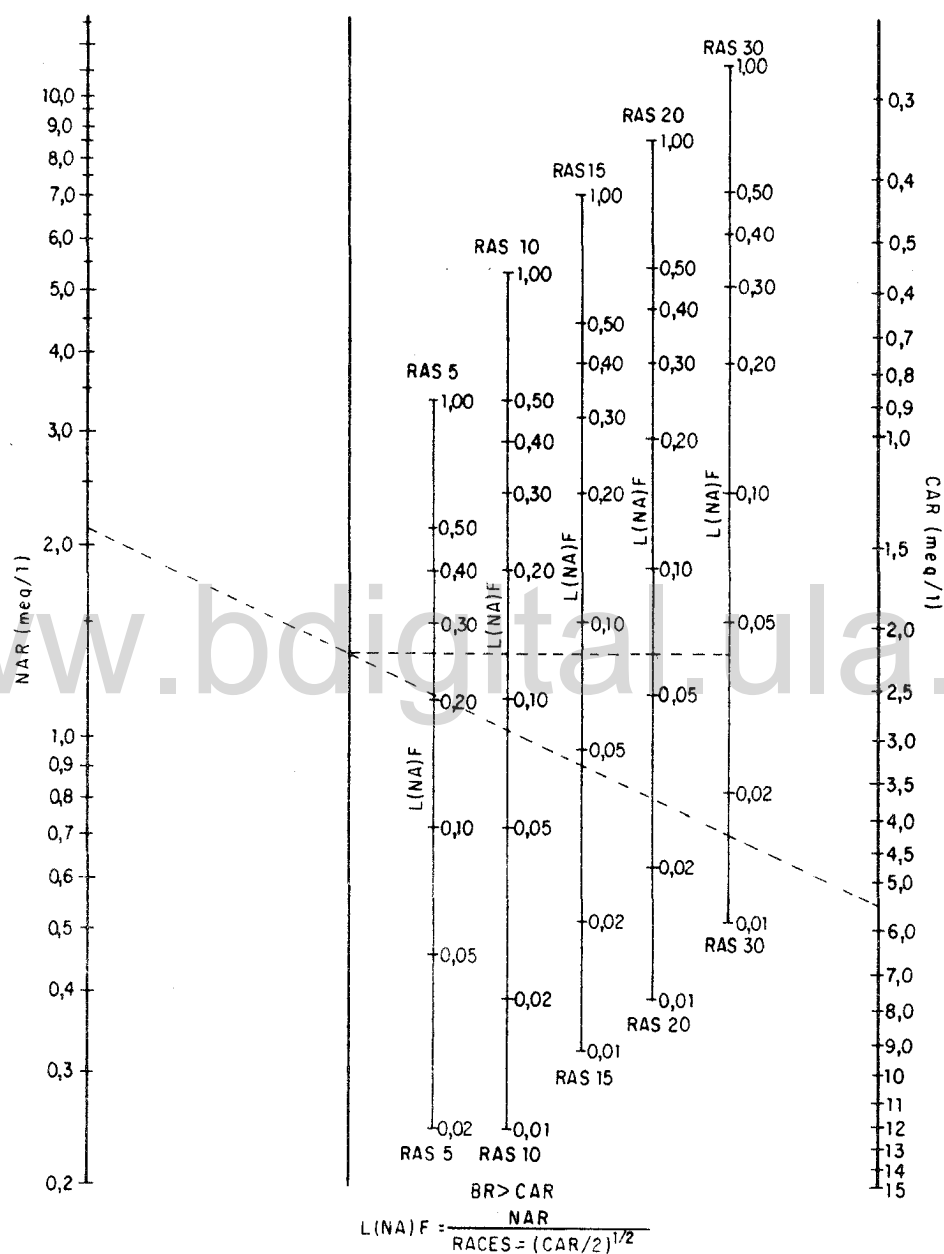


Figura B.9 Fuente: Pla y Dappo, (1975)

Tabla B.1 Clasificación de Aguas de Riego de acuerdo al peligro de Acumulación de Sales (ST). En la Solución del Suelo.

Permeabilidad del suelo (o condiciones de drenaje)	Cultivo (stes máximo)	L (S T) F						
		< 0,01	0,01 - 0,02	0,02 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	> 0,30
A L T A (BUENO)	Sensible (40 meq/l)	ST ₁₁	ST ₁₁	ST ₁₁	ST ₁₁	ST ₂₁	ST ₃₁	ST ₄₁
	Tolerante (80 meq/l)	ST ₁₂	ST ₁₂	ST ₁₂	ST ₁₂	ST ₂₂	ST ₃₂	ST ₄₂
	Muy Tolerante (160 meq/l)	ST ₁₃	ST ₁₃	ST ₁₃	ST ₁₃	ST ₂₃	ST ₃₃	ST ₄₃
M E D I A N A (REGULAR)	Sensible (40 meq/l)	ST ₁₁	ST ₁₁	ST ₁₁	ST ₂₁	ST ₃₁	ST ₄₁	ST ₄₁
	Tolerante (80 meq/l)	ST ₁₂	ST ₁₂	ST ₁₂	ST ₂₂	ST ₃₂	ST ₄₂	ST ₄₂
	Muy Tolerante (160 meq/l)	ST ₁₃	ST ₁₃	ST ₁₃	ST ₂₃	ST ₃₃	ST ₄₃	ST ₄₃
B A J A (DEFICIENTE)	Sensible (40 meq/l)	ST ₁₁	ST ₁₁	ST ₁₁	ST ₃₁	ST ₄₁	ST ₄₁	ST ₄₁
	Tolerante (80 meq/l)	ST ₁₂	ST ₁₂	ST ₂₂	ST ₃₂	ST ₄₂	ST ₄₂	ST ₄₂
	Muy Tolerante (160 meq/l)	ST ₁₃	ST ₁₃	ST ₂₃	ST ₃₃	ST ₄₃	ST ₄₃	ST ₄₃
MUY BAJA (MUY DEFICIENTE)	Sensible (meq/l)	ST ₁₁	ST ₂₁	ST ₃₁	ST ₄₁	ST ₄₁	ST ₄₁	ST ₄₁
	Tolerante (80 meq/l)	ST ₁₂	ST ₂₂	ST ₃₂	ST ₄₂	ST ₄₂	ST ₄₂	ST ₄₂
	Muy Tolerante (160 meq/l)	ST ₁₃	ST ₂₃	ST ₃₃	ST ₄₃	ST ₄₃	ST ₄₃	ST ₄₃

FUENTE: Pla y Dapp, (1975)

L: Lixiviación requerida; ST: Sales Totales en Solución; F: Eficiencia de lixiviación
STES: Concentración de Sales en el extracto de Saturación.

1° Subíndice: (1) Agua de muy buena calidad. (2) Agua de regular calidad
(3) Agua de mala calidad (4) Agua de muy mala calidad

2° Subíndice: (1) Cultivo sensible (2) Cultivo tolerante.
(3) Cultivo muy tolerante.

Tabla B.2 Clasificación de Aguas de Riego de acuerdo al peligro de Acumulación de Sodio (Na) en el suelo

Permeabilidad del suelo	Rases máximo	L (NA) F						
		< 0,01	0,0 - 0,02	0,02 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	> 0,30
A L T A	15	NA ₁₁	NA ₁₁	NA ₁₁	NA ₁₁	NA ₂₁	NA ₃₁	NA ₄₁
	20	NA ₁₂	NA ₁₂	NA ₁₂	NA ₁₂	NA ₂₂	NA ₃₂	NA ₄₂
	30	NA ₁₃	NA ₁₃	NA ₁₃	NA ₁₃	NA ₂₃	NA ₃₃	NA ₄₃
M E D I A N A	10	NA ₁₁	NA ₁₁	NA ₁₁	NA ₂₁	NA ₃₁	NA ₄₁	NA ₄₁
	15	NA ₁₂	NA ₁₂	NA ₁₂	NA ₂₂	NA ₃₂	NA ₄₂	NA ₄₂
	20	NA ₁₃	NA ₁₃	NA ₁₃	NA ₂₃	NA ₃₃	NA ₄₃	NA ₄₃
B A J A	5	NA ₁₁	NA ₁₁	NA ₂₁	NA ₃₁	NA ₄₁	NA ₄₁	NA ₄₁
	10	NA ₁₂	NA ₁₂	NA ₂₂	NA ₃₂	NA ₄₂	NA ₄₂	NA ₄₂
	15	NA ₁₃	NA ₁₃	NA ₂₃	NA ₃₃	NA ₄₃	NA ₄₃	NA ₄₃
M U Y B A J A	5	NA ₁₁	NA ₂₁	NA ₃₁	NA ₄₁	NA ₄₁	NA ₄₁	NA ₄₁
	10	NA ₁₂	NA ₂₂	NA ₃₂	NA ₄₂	NA ₄₂	NA ₄₂	NA ₄₂
	15	NA ₁₃	NA ₁₃	NA ₃₃	NA ₃₃	NA ₄₃	NA ₄₃	NA ₄₃

FUENTE: Pla y Dappo, (1975)

L: Lixiviación requerida, NA: Sodio, F: Eficiencia de lixiviación

RASES: Relación de adsorción de sodio en el extracto de saturación.

1º Subíndice: (1) Agua de muy buena calidad. (2) Agua de regular calidad.
(3) Agua de mala calidad. (4) Agua de muy mala calidad

2º Subíndice: (1) Rases bajo (2) Rases medio
(3) Rases alto.

www.bdigital.ula.ve

A P E N D I C E C

Mapa de las áreas afectadas por sales en el valle estudiado

44

www.bdigital.ula.ve