

# APTITUD PARA RIEGO Y DRENAJE DE UN SECTOR DE LA PLANICIE ALUVIAL DEL RIO CAUCA - COLOMBIA\*\*

Gloria Arevalo V. \*

## COMPENDIO

Para determinar la aptitud para riego de los suelos de la parte plana del Valle del Río Cauca (Colombia) se tomó como área piloto un sector representativo 4840 ha que la CVC (1970) ha tomado como zona piloto de regulación de aguas y manejo de suelos. La zona fue seleccionada por la variabilidad de suelos, uso de la tierra y régimen de lluvias. Siguiendo la metodología de levantamiento de suelos se revisó y ajustó el ya existente. Complementando con análisis de laboratorio, estudio climatológico para cuantificar aportes de agua y caracterización de calidad de aguas. Así mismo se hizo el mapa de uso actual de la tierra. Con base en lo anterior se definieron las unidades de Manejo de Tierras como se explica en la metodología expuesta por Arévalo y Botero (1990), evaluando la aptitud de cada Unidad para diferentes Tipos de Manejo Bajo Riego y Tipos de Uso de la Tierra; entre los que se analizaron caña de azúcar con riego por surcos y aspersión, algodón y soya con riego por aspersión y arroz por inundación. La aptitud de la tierra se determinó por el grado de acercamiento entre los requerimientos del cultivo y las condiciones de la Unidad de Tierra. También se encontró la aptitud potencial.

## ABSTRACT

In order to establish the irrigation suitability of the Soils in the flat Cauca Valley (Colombia), It was necessary to applying the model in 4840 ha in the pilot area. The soil survey was revised and adjusted its taxonomy, and complement with the laboratories analisis in soil samples. Climatological study was doing so, in order to determinate the quantity water contribution and quality of the irrigation water. The actual use map was doing to. Applying the model proposed by Arévalo and Botero (1990) land management units was determined. Over these was analysed their suitability with respect some Irrigation Management Types and Land Use Types and theirs requirements. They are: sugar cane with furrow and sprinkler irrigations, cotton and bean with sprinkler irrigation and rice with flooding irrigation method. The land suitability was establishment on basis approaching grade between Land Use Types and irrigation method requirements and Land Unites conditions. The potencial suitability was found too.

## 1. INTRODUCCION

Al plantear una metodología paramétrica para evaluar la aptitud de las tierras con fines de riego (Arévalo y Botero, 1990) fue necesario probarla mediante su aplicación en un área específica. Se seleccionó el Valle del Cauca por ser una región eminentemente agrícola y de gran desarrollo agroindustrial. Por otra parte ante la demanda creciente de alimentos se pretende aumentar la productividad de los cultivos a costa de un buen manejo, ya que la disponibilidad del recurso suelo se disminuye por urbanización y degradación.

El agua es uno de los principales factores para lograr el aumento de la productividad, y de su manejo depende que se cumpla con este objetivo. Según estudios recientes (Mejía *et al*, 1987) se prevee déficit de agua para riego en los próximos años, lo cual trae como consecuencia una baja en la producción. Se ha probado un aumento de ella por efecto del riego en 1 t para algodón, 50 t para caña, 700 kg en soya, referidas a 1 hectárea de tierra.

El principal objetivo de este trabajo fue determinar el potencial productivo bajo riego y drenaje de las 4840 ha de la zona piloto para

\* Profesor Universidad Nacional de Colombia. A. A. 237, Palmira

\*\* Trabajo realizado con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y la colaboración de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Río Cauca - C. V. C.

drenaje, en el sector que en adelante se denominará PBF y que a su vez sirviera para probar la metodología de evaluación de tierras para riego planteada por Arévalo, G. y Botero, P, 1990.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Caracterización del medio natural

#### 2.1.1. Suelos

El mapa de suelos del sector PBF se realizó con base en el estudio semidetallado de suelos del Valle del Cauca (IGAC-CVC, 1980) y levantamiento de suelos de algunas haciendas ubicadas dentro del área (CVC, 1978 y 1979; González, 1976 y 1974, Suarez, 1977, Ortégón, 1982 y Colmenares, 1978). Se seleccionaron cinco subzonas piloto con el fin de cubrir todos los paisajes, tipos de suelo y usos. Estas se ubicaron sobre fotografías aéreas previamente interpretadas y en el campo se hicieron chequeos de comprobación de contenido pedológico de cada unidad cartográfica, asimilándolos a los descritos por IGAC (1980). Una vez comprobadas las líneas se describieron los suelos modales y se caracterizaron en el laboratorio. Además, se realizaron pruebas de infiltración de los suelos bajo diferentes usos. Los suelos ubicados fuera de las zonas piloto se chequearon con menor intensidad.

La cartografía se adelantó de acuerdo con las normas establecidas por Cortés y Malagón (1983), para estudios de tipo detallado replanteando la clasificación taxonómica a nivel de mayor detalle. Para definir fases cartográficas se siguieron los criterios de la CVC, que aparecen en los mapas del estudio realizado por Tenorio y Barrero (1983). Las fases por encharcamiento se encontraron a partir del mapa de isóbatas realizado por los mismos autores, corroborando con los tonos oscuros de las fotografías aéreas en los sectores donde coincidían.

Los análisis de caracterización se realizaron en el laboratorio de suelos del IGAC siguiendo los métodos analíticos propuestos por

IGAC (1980) tanto de caracterización química, salinidad, textura, densidad real, retención de humedad, estabilidad estructural y COEL. En el laboratorio de física de suelos de la U. Nal. de Colombia, Seccional Palmira se determinó la densidad aparente por el método de los anillos. La infiltración se midió en el campo por el método de los anillos concéntricos y los datos de conductividad hidráulica se tomaron del estudio realizado por Tenorio y Barrero (1983). El cálculo de la fertilidad de los suelos se hizo por el método del IGAC (Ortega, 1987).

#### 2.1.2. Uso actual

El mapa se elaboró a partir de fotografías aéreas de la zona y recorrido en el terreno, diferenciando tipo de cultivo, método de riego y calidad de agua para riego.

### 2.2. Definición y valoración de los Tipos de Uso de la Tierra (TUT)

Se siguieron los criterios establecidos en la metodología FAO (1985), teniendo en cuenta la importancia económica, social, magnitud del área sembrada actualmente, y manejo con respecto a suelo, clima y requerimientos de agua. Se establecieron los requerimientos de cada TUT en los términos de cualidades como lo expone la metodología a probar. Para la definición en cuenta los factores que influyen en rendimiento.

### 2.3. Definición y valoración de las Unidades de Manejo de Tierras (UMAT)

Las series y fases de suelos identificados en el mapa se agruparon en Unidades de Manejo de Tierra (UMAT) por su similitud en cuanto a necesidad o facilidad de manejo, con criterio similar al de la unidad cartográfica de "grupo indiferenciado" expuesto por el SSMC (1988). Cada unidad se calificó dentro de una escala cualitativa valorada numéricamente como lo propone la metodología. Los UMATs se representaron en un mapa con su respectiva leyenda.

La metodología se probó sobre estas unidades, encontrando una aptitud diferencial de acuerdo con los niveles de manejo sugeridos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1. Caracterización del medio natural

##### 3.1.1. Clima

En el sector PBF el clima es cálido seco al norte y transicional humedo hacia el sur (Tenorio y Barrero, 1983), correspondiente a la zona de vida bosque seco - premontano (bs - PM). Las estaciones ubicadas en el área informan precipitación promedio anual entre 1000 - 1200 mm al sur y 900 mm al norte, con mínimas de 400 mm y máximas de 1600 mm. La temperatura media anual es de 24°C (Escobar y Terán, 1984).

##### 3.1.2. Agua de riego

Con base en datos recogidos sobre volúmenes de agua lluvia disponible para la zona se calculó el volumen disponible en  $m^3/ha$  al 95 o/o de probabilidad. Para la época seca (enero, julio y agosto) el promedio fue de  $30 m^3/ha/mes$ . A principios del invierno (febrero, junio, septiembre y diciembre) osciló entre  $150 - 200 m^3/ha/mes$  y en época de lluvias (marzo, abril, mayo, octubre y noviembre) fue de  $400 m^3/ha/mes$ .

El caudal asignado para riego por la corporación encargada es de 2337 LPS (litros / segundo) y corresponde a  $1298 m^3/ha/mes$ .

Dentro de la zona operan 16 pozos de agua subterráneas cuyas características son: pH entre 7 y 8 con promedios cercanos a 7.6; la conductividad eléctrica oscila entre  $230 \times 10^{-3}$  y  $499 \times 10^{-3} ds/m$  y sólidos disueltos entre 140 y 400 mg/l. Todas las aguas son clase  $C_2 S_1$ , ligeramente salinos - no sódicos.

La calidad del agua de las corrientes superficiales en general fue  $C_2 S_1$  con pH entre 7 y 7.9, con conductividad eléctrica entre  $350 \times 10^{-3}$  y  $160 \times 10^{-4} ds/m$  y Calcio como ca-

ción dominante en una relación 2:1 con respecto al Mg. Los aniones dominantes son el sulfato y el bicarbonato.

##### 3.1.3. Uso y manejo actual de los suelos

Se elaboró un mapa de uso y manejo con su respectiva leyenda (Fig. 1). Al cuantificar el área se encontró que el principal cultivo es la caña de azúcar que ocupa el 67.3 o/o del área. Le siguen en importancia los cultivos semestrales 19.3 o/o, pastos 8.2 o/o, cacao 0.97 o/o, otros 1.23 o/o, zona urbana 2.3 o/o y licorera 0.7 o/o. En cuanto a manejo del agua predomina el riego por gravedad 57.41 o/o del área, riego por aspersión 14.64 o/o, sin riego 23.73 o/o y otros 4.28 o/o. El riego por aspersión se utiliza para los cultivos semestrales (algodón, sorgo y soya) y para pequeñas parcelas de pastos mejorados.

##### 3.1.4. Suelos

Los suelos del sector PBF se encuentran sobre la planicie aluvial de desborde del Río Cauca en diferentes tipos de geoformas aluviales. Dependiendo del lugar que ocupen alcanzan cierto grado de evolución. En general son suelos jóvenes ya que su origen y formación se deben a sucesivas depositaciones recientes de materiales arrastrados por el Río Cauca y sus afluentes. La distribución de los suelos se refleja en la Fig. 2 y su leyenda en el Cuadro 1. Las fases cartográficas que se establecieron por salinidad y sodicidad fueron:

- N = Suelo normal
- X = Suelo en peligro inmediato de afección por sodio (PSI entre 7 y 15 o/o).
- Na = Suelo sódico (PSI) mayor de 15)
- Y = Suelo en peligro inmediato de afección por sales (CE de 2 a 5 ds/m).
- $S_1$  = Suelo ligeramente salino (CE de 4 a 8 ds/m).
- $S_2$  = Moderadamente salino (CE de 8 a 12 ds/m).
- $S_3$  = Severamente salino (CE de 12 a 16 ds/m).
- $S_4$  = Muy severamente salino (CE mayor de 16 ds/m).



MAPA DETALLADO DE SUELOS. PROYECTO - PALMIRA-BOLO-FRAILE- DEPARTAMENTO DEL VALLE

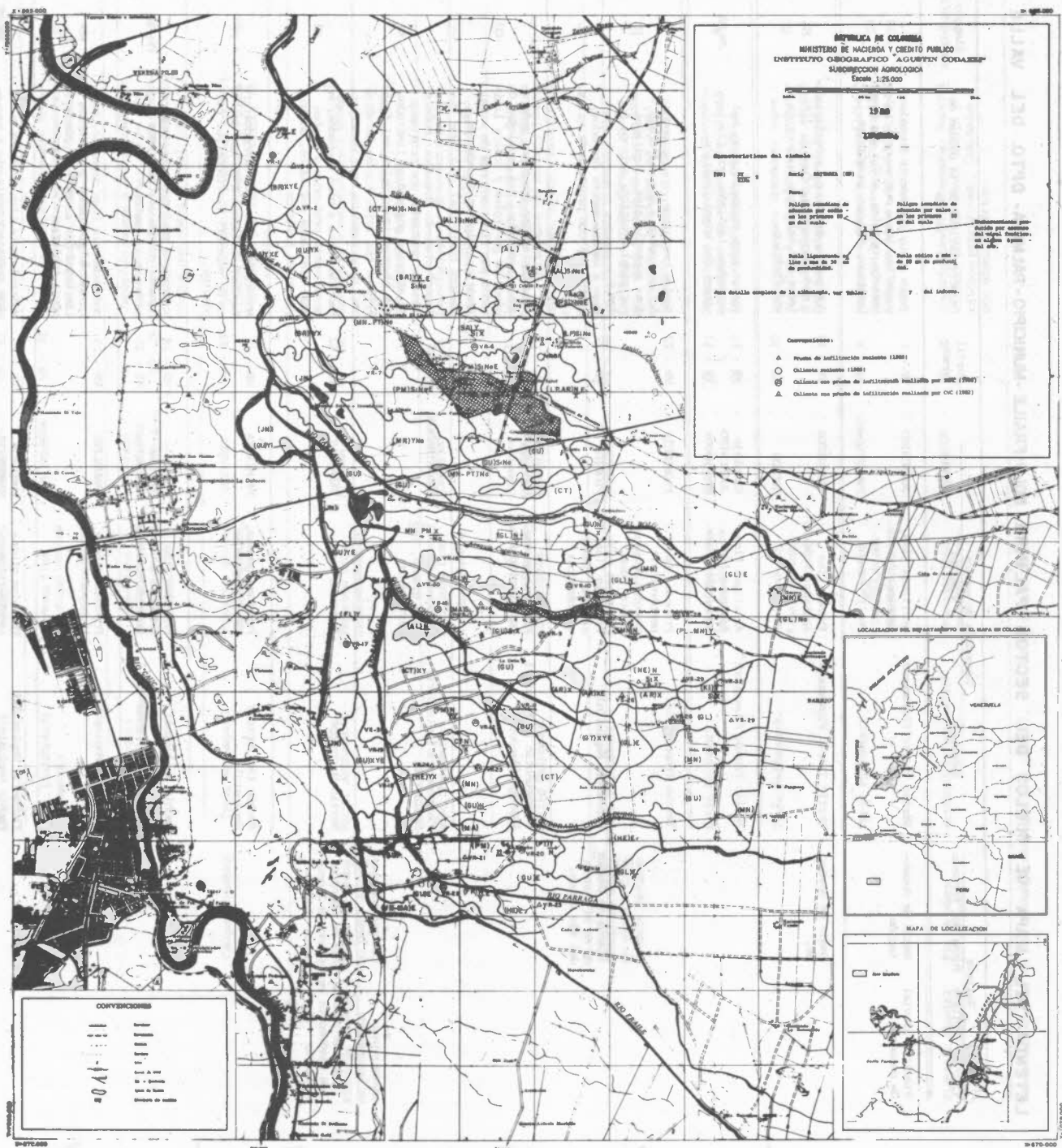


Fig. 2. Mapa de suelos del sector PBF

Quadro 1

LEYENDA DEL MAPA DE SUELOS DEL SECTOR PALMIRA - BOLO-FRAILE - MUNICIPIO - PALMIRA - DPTO. DEL VALLE

Relieve	Tipo de relieve	Forma del terreno	Subgrupo	Taxonomía de suelos	Familia	Serie	Perfil número	Características de la unidad de tierra	Símbolo cartográfico
Planicie aluvial de desborde	Basin de decantación.	Vertic Tropic Fluvaquent	Vertic Tropic Fluvaquent	Arcillosa fina, isohipertérmica.	FRANCOSA FINA, isohipertérmica.	JUANCHITO	VR - 1	Pobre a muy pobremente drenados; superficiales a muy superficiales; limitados por sales, sodio y/o nivel freático; algunos inundables.	JN
	Basin de desborde.	Vertic Tropic Fluvaquent	Vertic Tropic Fluvaquent	Franco fina, isohipertérmica.	FRANCOSA FINA, isohipertérmica.	MARRUECOS	VR - 13	Pobremente drenados; superficial a moderadamente profundos; limitados por sales y/o sodio y nivel freático.	MA
		Vertic Tropic Fluvaquent	Vertic Tropic Fluvaquent	Arcillosa fina, francosa fina isohipertérmica.	FRANCOSA FINA, isohipertérmica.	Complejo JUANCHITO-MARRUECOS	VR - 4 y VR - 13	Suelos poco evolucionados; mal drenados; limitados por fluctuaciones del nivel freático.	JN-MA
		Terric Troposaprist	Terric Troposaprist	Francoza isohi - peritérmica.	FRANCOSA FINA, isohi - peritérmica.	FLORENCIA	VR - 22	Suelos orgánicos, con epidición órica; pobre a muy mal drenados; superficiales, limitados por nivel freático; salinos ácidos.	FR
	Planos de desborde de afluentes del Río Cauca.	Fluventic Haplustoll	Fluventic Haplustoll	Francoza fina/arenosa, isohi - peritérmica.	FRANCOSA FINA, isohi - peritérmica.	FLORIDA	VR - 17	Bien a excesivamente drenados; profundos; con problema de sales.	FL
		Fluvaquentic (Antropic?) Haplustoll	Fluvaquentic (Antropic?) Haplustoll	Francoza gruesa, isohipertérmica.	FRANCOSA GRUESA, isohipertérmica.	GUADALUPE	VR - 9	Imperfectamente drenados; moderados a profundos; con problemas de afección por sales y sodio; limitados por fluctuaciones de nivel freático; algunos inundables.	GU
		Fluvaquentic (Antropic?) Haplustoll	Fluvaquentic (Antropic?) Haplustoll	Francoza fina/lisa gruesa, isohipertérmica.	FRANCOSA FINA/LISA, isohipertérmica.	ARRASTRADERO	VS - 26	Imperfectamente drenados; moderadamente profundos con problemas de afección por sodio; limitados por fluctuaciones del nivel freático.	AR
	Planicie aluvial de piedemonte recientemente concavos.	Vertic Ustroscept	Vertic Ustroscept	Francoza fina	FRANCOSA FINA	PALMERAS	VR - 12	Moderadamente a bien drenados; moderadamente profundos a profundos; limitados por sales, sodio y/o nivel freático.	PM
		Pachic (Antropic?) Haplustoll.	Pachic (Antropic?) Haplustoll.	Francoza gruesa, isohipertérmica.	FRANCOSA GRUESA, isohipertérmica.	PALMIRITA	VR - 20	Moderadamente a bien drenados; profundos; horizonte A de más de 50 cm de espesor; limitados por carbonatos.	PT
		Pachic Haplustoll	Pachic Haplustoll	Francoza fina, francosa gruesa, isohipertérmica.	FRANCOSA FINA, FRANCOSA GRUESA, isohipertérmica.	Complejo PALMIRA-MANUELITA	VR - 28 y VR - 25	Moderado a bien drenados; moderadamente profundos; limitados por carbonatos o sales.	PL-MN
		Fluventic Haplustoll	Fluventic Haplustoll	Francoza gruesa, isohipertérmica.	FRANCOSA GRUESA, isohipertérmica.	MANUELITA	VR - 25	Moderadamente bien drenados; moderadamente profundos a profundos; limitados por sales y/o sodio y nivel freático.	MN
		Fluventic Haplustoll	Fluventic Haplustoll	Francoza gruesa, isohipertérmica.	FRANCOSA GRUESA, isohipertérmica.	Complejo MANUELITA-PALMIRITA	VR - 25 y VR - 20	Moderadamente bien drenados a bien drenados; horizonte A variable en profundidad de 20 a 50 cm; limitados por sodio.	MN-PT

P L A N I C I E

A	Fluventic Haplustoll Vertic Ustrocept	Francosa gruesa francosa fina, isohipertérmica	Complejo MANUELITA- Palmeras	VR - 25 VR - 12	Moderadamente bien drenados; moderadamente profundos; limitados por sales y sodio.	MA-PM
	Udic (Antropici?) Haplustoll	Limosa fina isohipertérmica	LA PALMERA	VR - 31	Moderada a imperfectamente drenados; superficiales a moderadamente profundos; limitados por sales, sodio y nivel freático.	LP
L	Udic Haplustoll Fluvisquentic Haplustoll	Limosa fina Francosa fina/li- mosa fina, isohi- pertérmica	Complejo LA PALMERA- Arcastradero	VR - 31 VS - 26	Imperfectamente a mal drenados en las partes cóncavas; suelos más desarrollados y moderadamente drenados en las partes convexas; limitados por sodio y nivel freático.	LP-AR
	Typic Haplaquoll	Francosa gruesa isohipertérmica.	BRITANIA	VS - 15	Imperfectamente drenados; superficiales a moderadamente profundos; limitados por nivel freático, sales y sodio.	BR
U						
	Vertic Argiustoll	Francosa fina isohipertérmica	KITSUNA	VR - 32	Imperfecta a moderadamente drenados; moderadamente profundos; limitados por sales y/o sodio; agrietados superficialmente en verano; con horizonte argílico.	KI
V	Udic Chromustert	Arcillosa fina, isohipertérmica	CORINTIAS	VS - 31	Imperfectamente drenados; moderadamente profundos; limitados por nivel freático, sales y/o sodio.	CT
	Udic Chromustert Vertic Ustrocept	Arcillosa fina y franca fina, iso- hipertérmica	Complejo CORINTIAS- Palmeras	VS - 31 VR - 12	Imperfecto a moderadamente bien drenados; moderadamente profundos; agrietados en verano; limitados por sales, sodio y nivel freático.	CT-PM
I	Udic Pellustert	Arcillosa fina/ franca fina, isohipertérmica	HERRADURA	VS - 29	Imperfectamente drenados; superficiales a moderadamente profundos; poco permeables; agrietados en verano; limitados por nivel freático, sales y/o sodio.	HE
	Entic Pelludert	Arcillosa fina, isohipertérmica	ALICIA	VR - 3 VR - 15	Imperfecto a pobremente drenados; agrietados en verano; superficiales a moderadamente profundos.	AL
A	Typic Pellustert	Arcillosa muy fina, isohiper- térmica	CALPON	VR - 10	Imperfectamente drenados; superficiales a moderadamente profundos; agrietados en verano; afectados por sales y/o nivel freático.	GL
	Typic Pellustert	Arcillosa muy fina; isohiper- térmica.	SAN ALFONSO	VR - 6	Pobremente drenados; superficialles; con horizontes salinos; limitados por sodio; agrietados en verano.	SA
L	Petrocalcic Natrustalf	Francosa fina, isohipertérmica	PALMASECA	VR - 8	Imperfectamente drenados; superficiales; con horizonte sódico y cálcico petrificado, limitados por nivel freático.	PS

\*Para explicación de las unidades cartográficas (fase), ver Tabla 4° del texto.

Los símbolos se colocaron en forma de quebrados si la situación era diferencial en las profundidades de 00 a 50 cm y de 50 a 100 cm. La letra E fuera del parentesis indica fase por encharcamiento y la i fase por inundación.

En el sector PBF los ordenes de suelos corresponden a entisoles (Vertic tropic Fluvaquent) 9.48 o/o, inceptisoles (Vertic Ustropept) 3.31 o/o, alfisoles (Petrocalcic Natrustalf) 1.42 o/o, molisoles (Fluventic, fluvaquentic, pachic, Udic y Typic Haplustoll, Typic Haplaquoll, y vertic Argiustoll) 51.39 o/o, histosoles (Terric Troposaprist) 0.65 o/o y vertisoles (Udic, Entic, Typic Pelludert y Pellustert y Udic Chromustert) 31.44 o/o, zona urbana 2.31 o/o. El 60 o/o del área está afectada en diverso grado por sales y sodio: en peligro de afección el 32 o/o de los cuales el 7 o/o se encharca y/o inunda, ligeramente salinos ( $S_1$ ) el 7 o/o, salino-sódicos 10 o/o, el 7 o/o de los cuales se inunda, y sódicos el 11 o/o, de los cuales se encharca o inunda el 3 o/o. La zona es plana con pendientes no mayores al 3 o/o por lo cual no se considera la fase por pendientes.

### 3.1.5. Fertilidad de los suelos

Para la evaluación de la fertilidad se tomó en cuenta: pH, saturación de aluminio, CIC, bases totales, saturación de bases, contenido de C.O y fósforo total, y correcciones por salinidad y sodio. El cálculo corresponde a los 50 primeros centímetros. Los suelos de fertilidad muy alta tienen pH óptimo (6.1 y 7.3) alta CIC (más de 20 meq/100 g suelo) saturación de bases mayor del 75 o/o aunque contenidos regulares a bajos de C.O y fósforo. Corresponden a este grupo los suelos de símbolos en la Figura 2, AR, FL, GU, HE, KI, PM, PL, LP y SA. Los de alta fertilidad tienen saturación de bases entre 50 y 75 o/o, bases totales de más de 16 meq/100 g de suelo, alta CIC aunque pH ligeramente alcalino, bajo o/o CO, bajo contenido de fósforo y bajo potasio (entre 0.2 y 0.4 meq/100 g). Son los suelos SS, CT, LP, GU, MA y AL salinos.

De fertilidad media son los suelos JN, MA y BR debido al pH mayor de 7.4 y deficien-

cias de fósforo y potasio. La fertilidad baja y muy baja se presenta en suelos con diferente grado de afección por sales y sodio.

### 3.1.6. Propiedades físicas de los suelos

La distribución de partículas (textura) y el estado de agregación son los factores que determinan las propiedades hidrodinámicas de estos suelos. La granulometría varía en relación directa con la posición fisiográfica; así, en los basines o concavidades y posiciones plano-concavas predominan suelos de textura arcillosa, arcillo-limosa y franco-arcillosos correspondientes a los vertisoles y entisoles vérticos. En la planicie aluvial de relieve plano suceden las texturas intermedias (franca, franco arcilloso-limosa y limosa) que corresponden a los molisoles. En pocos casos ocurren suelos de textura gruesa. Las zonas de relieve variado presentan contrastes texturales de fino sobre media o media sobre gruesa. Es importante este contraste, ya que el drenaje se modifica según suceda la textura fina sobre gruesa o viceversa. La estructura de los suelos en general mostró bajo grado de desarrollo. Los suelos afectados por sodio tienden a perder su estructura.

El estado de agregación se determinó a través de la estabilidad de agregados. Los de mas baja estabilidad son aquellos de texturas gruesas (FL, GU y PT) y los de texturas medias afectados por sodio (PS, LP).

En cuanto a la capacidad de retención de humedad se encontró que todos los suelos del sector PBF tienen alta o muy alta capacidad, de más de 20 cm/m, atribuible a la clase de arcillas que conforman los suelos es decir tipo 2-1. La permeabilidad fue medida por Tenorio y Barrero (1983) y en términos generales se caracterizó como rápida a muy rápida con valores mayores a 3 m/día. La infiltración varía de muy alta a baja dependiendo de muchos factores.

### 3.2. Unidades de Manejo de Tierras (UMATs)

De acuerdo con sus características, los sue-



los del sector PBF se agruparon en cuatro grupos de manejo de tierras representados en la Figura 3 por los símbolos A, B, C y D.

El grupo A lo forman suelos químicamente normales o con problemas potenciales de salinidad aún no limitantes. En el grupo B se incluyeron suelos normales en superficie pero con ligero grado de afección por sales y/o sodio por debajo de los 50 cm. El grupo C lo constituyen suelos salinos y/o sódicos que pueden encharcarse o no; y el grupo D son suelos con problemas de drenaje superficial por ascenso del nivel freático, encharcamientos o inundaciones ocasionales.

Cada grupo se subdividió con base en familia textural, condición de drenaje, COEL, porosidad, familia de infiltración y estabilidad estructural. Las características de cada UMAT se explican en la respectiva leyenda del mapa.

### 3.3. Area ocupada por cada UMAT

La unidad A se dividió en 6 subunidades ocupando en total 2 333 128 ha que corresponden al 48.24 o/o del área. La unidad B se subdividió en 2 unidades y ocupa 452.5 ha o sea el 9.35 o/o del área. La unidad C correspondiente a suelos salinos y/o sódicos tiene 3 subáreas que ocupan 848.43 ha ó 11.53 o/o del total.

La unidad D con 3 subunidades ocupa 1 097.1875 ha que corresponden al 22.67 o/o. El resto del área (109.0625 ha ó 2.31 o/o) la ocupa la zona urbana.

### 3.4. Aptitud de los UMAT

De acuerdo con los requerimientos de cada Tipo de Manejo de Riego (TMR) se determinó el grado de aptitud de cada UMAT. Las condiciones actuales de la tierra se calificaron según las cualidades: disponibilidad y calidad de agua de riego (a), adecuación de la topografía al riego (t), drenabilidad (d), condición de sales y/o sodio (s), riesgo de percolación profunda (p), inundación o encharcamiento (i) y

posibilidad de mecanización (m). La calificación de cada unidad con respecto a cada cualidad aparece en el Cuadro 2. En el mismo Cuadro debajo de cada cualidad aparecen 3 columnas. La primera califica la tierra en las condiciones actuales, la segunda una vez se implante el nivel de manejo 1 y la tercera al ejecutar el nivel de manejo 2.

Al comparar las condiciones de cada una con los requerimientos de los TMR se establecieron las clases de aptitud (Cuadro 3) donde aparecen 4 clases de 1 a 4 con un subíndice que expresa la naturaleza de la limitación ó la letra N cuando no es apta.

### 3.5. Tipos de Usos de la Tierra (TUTs)

La escogencia de los TUTs no obedeció a un fin específico como pudiera ser aumentar la producción, mejorar la situación de las empresas, producir bienes de exportación, mejorar la distribución del rendimiento per capita u otros aunque implícitamente contribuye a todos estos.

Los tipos de uso de la tierra escogidos fueron: TUT 1, caña de azúcar con riego por surcos; TUT 2, caña de Azúcar con riego por aspersión; TUT 3, algodón con riego por aspersión; TUT 4, arroz con riego por inundación y TUT 5, soya con riego por aspersión.

Se escogió el cultivo de la caña de azúcar por ser de gran importancia económica para el país. Teniendo en cuenta dos sistemas de riego: surcos y aspersión. El primero ampliamente difundido en la zona y el segundo con bastantes perspectivas debido a su eficiencia en el manejo del agua.

El algodón se seleccionó por ser uno de los productos agrícolas importantes como fuente de divisas para el país. La soya por ser un cultivo promisorio de la zona, con una infraestructura ya montada. El arroz no es un cultivo importante en este sector del país, pero constituye una alternativa simultánea de producción y mejoramiento del suelo.

Cuadro 2

Condición de los UMAT con respecto a las cualidades que evalúan su aptitud y con diferentes niveles de manejo

Calidad a evaluar	Disponibilidad de agua para riego			Adecuación de topografía al riego			Riesgo de compactación			Drenabilidad			Condición de salinidad y/o sodio			Percolación profunda			Inundación y/o encharcamiento			Posibilidad de mecanización		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Condición de manejo*	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Unidad de la tierra																								
A <sub>1</sub>	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	1	1	1	2	2	2
A <sub>2</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
A <sub>3</sub>	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
A <sub>4</sub>	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A <sub>5</sub>	1	1	1	3	2	1	2	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A <sub>6</sub>	1	1	1	3	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B <sub>1</sub>	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
B <sub>2</sub>	1	1	1	3	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
C <sub>1</sub>	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	3	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
C <sub>2</sub>	3	2	1	2	1	1	1	1	1	3	2	2	4	3	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2
C <sub>3</sub>	2	1	1	3	2	1	2	1	1	3	2	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
D <sub>1</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	3	2	1	1	1	1
D <sub>2</sub>	1	1	1	3	2	1	2	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1
D <sub>3</sub>	1	1	1	3	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1

\* Condición de manejo: 1. Condición actual de la tierra  
2. Condición de la tierra al nivel de manejo 1  
3. Condición de la tierra al nivel de manejo 2

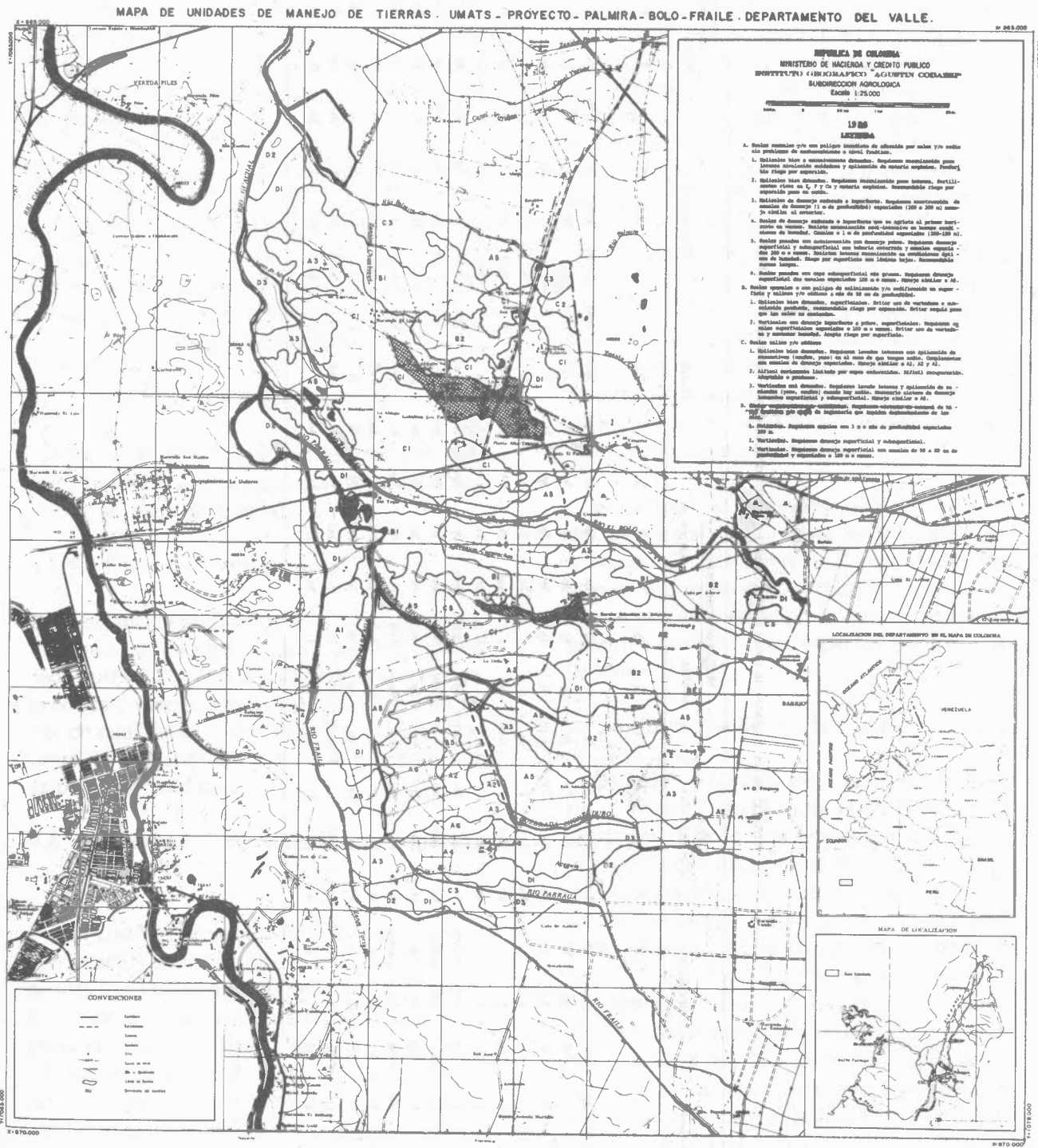


Fig. 3. Mapa de Unidades de Manejo de Tierras UMATs del sector PBF

Quadro 3  
Aptitud de las unidades de tierra (UMAT) para diferentes tipos de manejo bajo riego (TMR)

Método de riego	Melgas en contorno												Surcos										
	Melgas rectangulares												Rectos										
	Anchas						Angostas						Corrugación		Pozas		Corrugación		Rectos		Contorno		
Nivel de manejo	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
UMAT																							
A <sub>1</sub>	3p	3p	4p	4p	3p	3p	4p	4p	4p	4p	4p	4p	3p	3p	3p	3p	3p	3p	3p	3p	3p	3p	3p
A <sub>2</sub>	1	1	3p	3p	3p	2p	3p	3p	3p	3p	3p	3p	3p	3p	3p	2p	2p	2p	2p	2p	2p	1	1
A <sub>3</sub>	2d	1	3p	3p	3p	3cp	3p	3p	3p	3p	3p	3p	2cd	1	1	3c	2p	2p	2cd	2p	2p	2d	1
A <sub>4</sub>	2d	1	1	1	3cd	1	3c	1	2c	1	1	1	2cd	1	1	3c	1	1	2cd	1	1	2d	1
A <sub>5</sub>	3d	2d	1	2td	1	4c	3cd	1	3td	2td	1	3td	2td	1	3td	2td	1	3td	2d	1	3td	2d	1
A <sub>6</sub>	2t	1	1	2t	1	4t	3tc	1	3t	1	1	3t	2t	1	3t	1	1	3t	1	1	3t	1	1
B <sub>1</sub>	2a	1	1	3ap	3pm	3a	3m	3m	3apm	3pm	3pm	3pm	3pm	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3s	1
B <sub>2</sub>	2t	1	1	2t	2m	4t	3cm	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3cm	3m	3m	3m	3m	3m	3s	1
C <sub>1</sub>	4s	1	3ap	3p	4s	4s	2p	3p	4s	3p	4s	3p	3p	3s	2a	1	4s	2p	2p	4s	3s	2p	4s
C <sub>2</sub>	N	4s	4as	2m	4as	N	3m	N	4s	3m	N	3m	4s	3m	3m	3m	N	4s	3m	N	4s	3m	N
C <sub>3</sub>	4s	2ds	1	1	4t	3t	1	4s	2d	1	4s	2ds	1	3ds	2ds	1	4s	2ds	1	4s	3s	1	4s
D <sub>1</sub>	2di	1	1	3p	3p	3i	2p	3p	3p	3p	3pi	3p	3p	3i	2i	1	3i	2pi	2p	3i	2pi	3i	2i
D <sub>2</sub>	3di	2d	1	2ti	1	4t	3cd	1	3cdi	2d	1	3tdi	2td	1	3tdi	2tdi	1	3cdi	2di	1	3tdi	2d	1
D <sub>3</sub>	2di	1	1	2ti	1	4t	3t	1	3ti	1	1	3ti	2t	1	3ti	1	3ti	2i	1	3ti	2i	1	3ti

### 3.5.1. Costos de producción

Con base en datos de la C V C (1986) Mejía et al, (1987) y FedeaGodón (1986), se estimó la intensidad de capital requerido por cada TUT, teniendo en cuenta una tasa de crecimiento anual del 25 o/o. El Cuadro 4 muestra estos requisitos.

### 3.5.2. Rentabilidad de los cultivos

La rentabilidad de los cultivos justifica la inversión y depende entre otros factores de los costos de producción. El Cuadro 5 muestra la variación de la rentabilidad según las circunstancias que limiten la producción.

### 3.5.3. Mano de obra requerida

Este parámetro se mide en términos de jornales/ha/cosecha para cada cultivo. En el Cuadro 6 se hace un estimativo.

### 3.5.4. Otros requerimientos

Se establecieron rangos de requerimientos teniendo en cuenta diferentes aspectos para cada cultivo. Los rangos definen márgenes de producción especiales que se traducen a términos de cualidades en el Cuadro 7. Donde 1 expresa un requerimiento alto y 4 muy bajo, con valores intermedios.

### 3.6. Cualidades de los UMATs con respecto a los TUTs

Los UMATs del sector PBF se calificaron con relación a las cualidades que tienen en cuenta los TUTs como lo muestra el Cuadro 8, donde la columna (1) de cada cualidad expresa la condición actual; las columnas (2) y (3) expresan las condiciones en que quedarán las unidades al aplicar el nivel 1 y 2 de mejoramiento que define la metodología.

### 3.7. Evaluación de la aptitud de los UMATs para los diferentes TUTs.

La aptitud de las tierras para producción se

encontró al comparar los requerimientos de los TUTs vs las cualidades de la tierra, con lo que se obtuvo el Cuadro 9. La aptitud se designa en números romanos y las subclases se expresan con un subíndice en minúscula que expresa el tipo de limitación por el cual la unidad pertenece a esa clase. Así: por no disponibilidad de nutrientes (n), por no disponibilidad de agua en el suelo (b), por no disponibilidad de oxígeno (o), por presencia de sales y/o sodio (s), por riesgo de salinización (r) y riesgo de encostramiento (e). Todos los UMATs presentan diferente grado de aptitud para los diferentes TUTs, en condiciones actuales o con mejoramiento, y requieren algún grado de modificación para alcanzar niveles de aptitud más altos. La unidad más limitada es la denominada C, que resultó ser no apta para caña y soya ó con limitaciones severas, aún con mejoramiento.

El cultivo más adaptable a la zona en estudio, es el de arroz por inundación excepto en la unidad C. Los demás TUTs analizados se pueden implantar ó continuar en la zona, con un margen muy estrecho de equivocación en cuanto a productividad esperada dentro de las clases II y III.

### 3.8. Unificación de la información

De acuerdo con los resultados, es necesario plantear el uso de la tierra a partir de la aptitud para riego. En este caso, (Cuadro 3) se observa que los tipos de manejo de riego más adecuados para la zona en general son surcos con algún nivel de manejo y aspersión para la mayoría de unidades en las condiciones actuales. Por ello se escogieron los TUTs con este tipo de riego. Únicamente se tuvo en cuenta el método de inundación para arroz, a pesar de que los resultados de aptitud para todas las unidades estuvo entre 2 y 4 para las condiciones actuales, limitadas principalmente por el riesgo de percolación profunda. En algunos casos, el manejo de estos suelos mejorará su aptitud como se explicó en el numeral anterior.

Cuadro 4

Intensidad de capital requerido por cada TUT

Costo de producción* \$/ha x 1000	Nivel	TUT				
		1	2	3	4	5
Mayor de 420				X		
420 - 200		X	X		X	
Menor de 200						X

\* Estimado a 1990 con base en datos de C V C (1986) y un incremento anual del 25 o/o

Cuadro 5

Porcentaje de rentabilidad de los cultivos bajo diferentes condiciones de la tierra\*\*

Cultivo	Con inundación*				Protegida contra inundación			
	Sin salinidad		Con salinidad		Sin salinidad		Con salinidad	
	Con riego	Sin riego	Con riego	Sin riego	Con riego	Sin riego	Con riego	Sin riego
Caña	50	-	45	-	58	-	52	-
Algodón	24	22	13	11	32	29	20	17
Arroz	24	-	12	-	34	-	22	-
Soya	22	18	17	3	33	29	28	12

\* No se refiere a un sistema de riego, sino a inundación natural

\*\* Estimada a partir de los datos proporcionados por Mejía et al (1986).

Cuadro 6

Mano de obra requerido para cada TUT

No. jornales/ ha/cosecha	TUT				
	1 *	2 *	3	4	5
Más de 80			X		
de 80 a 30	X			X	X
Menos de 30		X			

\* Estimando que la labor de recolección es mecanizada

Cuadro 7

Requerimientos de los diferentes TUT

Tipo de uso	Clase de aptitud	Disponibilidad de nutrientes (n)	Disponibilidad de agua (b)	Disponibilidad de oxígeno (o)	Presencia sales y/o Na (s)	Riesgo de salinización y/o sodización (r)	Riesgo de encrostramiento (c)
TUT 1 Caña- surcos	I	1	1	2	1	1	2
	II	2	2	2	1	2	3
	III	3	3	3	2	3	3
	IV	4	3	4	3	4	4
TUT 2 Caña x Aspersión	I	1	2	1	1	1	2
	II	2	2	2	2	2	2
	III	3	3	3	2	3	3
	IV	4	3	3	3	4	4
TUT 3 Algodón Aspersión	I	1	2	1	2	3	1
	II	2	2	2	2	3	2
	III	3	3	2	3	4	3
	IV	4	3	3	4	4	3
TUT 4 Arroz Inundación	I	2	1	4	2	3	4
	II	3	1	4	3	4	4
	III	3	2	4	3	4	4
	IV	4	3	4	4	4	4
TUT 5 Soya x Aspersión	I	2	1	1	1	1	1
	II	3	2	2	1	1	2
	III	4	3	3	2	2	3
	IV	4	3	3	3	3	4

Cuadro 8  
Condición de los UMATs en relación a las cualidades que evalúan TUTs

Calidad o eval. Nivel de manejo*	Disponibilidad de nutrientes			Disponibilidad de agua			Disponibilidad de oxígeno			Presencia de sales y/ sodio			Riesgo de salinización			Riesgo de encostramiento		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
UMAT																		
A <sub>1</sub>	2	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	3	1	1
A <sub>2</sub>	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	3	1	1
A <sub>3</sub>	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	3	1	1
A <sub>4</sub>	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	3	1	1
A <sub>5</sub>	2	1	1	2	1	1	3	2	2	1	1	1	2	2	1	3	2	1
A <sub>6</sub>	2	1	1	2	1	1	3	2	2	1	1	1	2	2	1	3	2	1
B <sub>1</sub>	3	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	3	3	2	3	1	1
B <sub>2</sub>	2	1	1	2	1	1	3	2	2	2	1	1	3	3	2	3	2	1
C <sub>1</sub>	3	2	1	3	2	1	2	1	1	3	2	1	3	3	2	3	2	1
C <sub>2</sub>	3	2	2	3	2	2	3	2	2	4	3	2	3	3	3	3	2	1
C <sub>3</sub>	3	2	1	3	2	1	3	2	2	3	2	1	3	3	2	3	2	1
D <sub>1</sub>	2	1	1	2	1	1	3	2	1	1	1	1	3	2	1	3	1	1
D <sub>2</sub>	2	1	1	2	1	1	3	2	2	1	1	1	3	2	1	3	1	1
D <sub>3</sub>	2	1	1	2	1	1	3	2	2	1	1	1	3	2	1	3	2	1

\* (1) Condiciones actuales  
(2) Con nivel 1 de mejoramiento  
(3) Con nivel 2 de mejoramiento



Cuadro 9

Aptitud de los UMATs para los diferentes TUTs bajo 3 condiciones de mejoramiento

UMAT	Caña x surcos			Caña aspersión			Algodón aspersión			Arroz inundación			Soya aspersión		
	TUT 1			TUT 2			TUT 3			TUT 4			TUT 5		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
A <sub>1</sub>	IIIb	IIbr	I	IIIbe	IIr	I	IIIbe	I	I	N	IIIb	I	IVb	IIIr	I
A <sub>2</sub>	IIarb	IIr	I	IIIe	IIr	I	IIIe	I	I	IIIb	I	I	IIIre	IIIr	I
A <sub>3</sub>	IIabre	IIr	I	IIIe	IIr	I	IIIe	I	I	IIIb	I	I	IIIre	IIIr	I
A <sub>4</sub>	IIabre	IIr	I	IIIe	IIr	I	IVe	I	I	IIIb	I	I	IIIre	IIIr	I
A <sub>5</sub>	IIlo	IIr	I	IIIoe	IIor	IIo	IVe	IIoe	IIo	IIIb	I	I	IIIore	IIIr	IIo
A <sub>6</sub>	IIlo	IIr	I	IIIoe	IIo	IIo	IVo	IIoe	IIo	IIIb	I	I	IIIore	IIIr	IIo
B <sub>1</sub>	IIIar	IIIr	IIr	IIIre	IIIr	IIr	IIIre	IIr	I	IIIb	I	I	IVr	IVr	IIIr
B <sub>2</sub>	IIIor	IIIr	IIr	IIIre	IIIr	IIor	IVo	IVoe	IIo	IIIb	I	I	IVr	IVr	IIIr
C <sub>1</sub>	IVs	IIIsr	IIr	IVs	IIIr	IIr	IIIbbs	IIae	I	IVb	IIIb	I	IVbsr	IVr	IIIr
C <sub>2</sub>	N	IVs	IIIr	N	IVs	IIIr	IVos	IIIls	IIno	IVb	IIIb	IIIb	N	IVsr	IVr
C <sub>3</sub>	IVs	IIIsr	IIr	IVs	IIIr	IIor	IVo	IInoe	IIo	IVb	IIIb	I	IVbsr	IVr	IIIr
D <sub>1</sub>	IIIor	IIr	I	IIIore	IIor	I	IVo	IIo	I	IIIb	I	I	IVr	IIIr	I
D <sub>2</sub>	IIIor	IIr	I	IIIore	IIor	IIo	IVo	IIo	IIo	IIIb	I	I	IVr	IIIr	IIo
D <sub>3</sub>	IIIor	IIr	I	IIIore	IIor	IIo	IVo	IIoe	IIo	IIIb	I	I	IVr	IIIr	IIo

- \* 1. Condiciones actuales
- 2. Con nivel de mejoramiento 1
- 3. Con nivel de mejoramiento 2

#### 4. CONCLUSIONES

- 4.1. La asociación de suelos en unidades de manejo facilita hacer recomendaciones de manejo más generales y diferenciables una de otra.
- 4.2. Establecer los requerimientos de los TUTs exige un alto nivel de conocimiento de aspectos agronómicos, fisiológicos y de otros agentes que inciden en la producción de un cultivo.
- 4.3. A pesar de que la evaluación inicial con respecto al riego expresa unos resultados, esa condición puede cambiar al tener en cuenta el cultivo, por lo cual es necesario evaluar aptitud tanto para métodos de riego independiente, como para tipo de cultivo incluído el manejo de riego.
- 4.4. La metodología propuesta por Arévalo y Botero (1990) se aplicó en 4840 ha, haciendo un levantamiento de suelos muy detallado con gran cantidad de información. Se puede trabajar a niveles menos detallados siguiendo el mismo esquema metodológico.
- 4.5. La metodología se probó en una zona de la parte plana del Valle del Cauca (Colombia), y se observó buena relación entre los resultados obtenidos y las condiciones que se vieron en el campo. Falta aplicar la metodología en zonas donde las condiciones varían, no tanto con respecto al suelo, como sí en relación al factor socio-económico y tecnológico, para probar si se cumplen todas las premisas. También se puede realizar en zonas de ladera donde la tecnología del riego está entrando con condiciones diferentes a las tradicionales en este aspecto para zonas planas.
- 4.6. Puede y debe ampliarse el número y la condición de los Tipos de Uso de la Tierra que se evaluaron con este trabajo,

para poder hacer un plan integral de desarrollo de la tierra a nivel regional.

- 4.7. La presentación cartográfica de los resultados obtenidos durante el proceso de evaluación es compleja, debido a los grandes volúmenes de información que se condensan en cada una de las unidades delimitadas. Razón por la cual sería necesario ejecutar un mapa por cada tipo de manejo bajo riego y uno para cada tipo de uso de la tierra, generando gran cantidad de cartografía. Estos resultados se presentan más fácilmente en forma de cuadros, ya que el mapa se refiere a la distribución espacial de los UMAT y se basa en un levantamiento de unidades de tierra, más que en un estudio estrictamente de suelos.
- 4.8. Las unidades de tierra no presentan una aptitud única de carácter general. Bajo el esquema metodológico propuesto se presentan múltiples alternativas en cada uno de los casos.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. AREVALO, G. y BOTERO, P. Una metodología de evaluación de tierras con fines de riego y drenaje. Acta Agronómica, vol. 40. n. 1-2. 1990.
2. COLMENARES, I. J. Estudios físico-químicos y evaluaciones de salinidad de los suelos de la Hacienda Britania- Palmira. Valle. Mimeografiado, Cali, 96 p. 1978.
3. CORTES, A. y MALAGON, D. Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones multidisciplinarias. Universidad de Bogotá, Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 360 p. 1983.
4. CVC CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL VALLE DEL RIO CAUCA. Proyecto Río Palmira- Río Fraile, protección contra inundaciones. Cali, 1970.
5. CVC CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL VALLE DEL RIO CAUCA. Estudio detallado de suelos de la Hacienda Yunde. Municipio de Palmira. Cali, 1978.

6. ————. Estudio detallado de suelos de la Hacienda Kitsuka. Municipio de Palmira. Cali, 1979.
7. ————. El Valle del Cauca en la economía nacional. Cali, 1986.
8. ESCOBAR, C. y TERAN, O. Estudio probabilístico de la precipitación en el Valle del Río Cauca (sector sur). Tesis Ing. Agric. Palmira, Universidad Nacional - Universidad del Valle, 1984. 220 p.
9. FAO. Guidelines land evaluation for irrigated agriculture. FAO Soils Bolletin. No. 55, 1985. 231 p.
10. FEDERACION NACIONAL DE ALGODONEROS DE COLOMBIA. Informe del gerente en el XXVI Congreso Nal de Algodoneros. 1986 - 1987. Bogotá, 1987. 34 p.
11. GONZALEZ, A. Estudio detallado de suelos de la Hacienda La Chica. Municipio de Palmira - Valle. Mimeografiado. 1976.
12. ————. Estudio detallado de suelos de la Hacienda San Pablo. Municipio de Palmira - Valle. Mimeografiado. 1974.
13. INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. 4 ed. Bogotá, 1980.
14. ———— y CVC. Estudio semidetallado de suelos del Valle geográfico del Río Cauca. Bogotá, 1980. 595 p.
15. MEJIA, MILLAN y PERRY. Consultores. Estudio de aguas en el área geográfica del Valle del Cauca, bajo jurisdicción de la CVC. Cali, 1987.
16. ————. Segundo informe de avance sobre el estudio de aguas en el área geográfica del Río Cauca. Cali, 1986.
17. ORTEGA, D. Sistema de evaluación de la fertilidad del suelo. En: Suelos Ecuatoriales. Vol. 17. No. 2. 1987. p. 281-285.
18. ORTEGON, A. Estudio de salinidad y drenaje de la Hacienda El Llanito, Palmaseca. Cali, CVC. 30 p.
19. SOIL SERVICE MANAGEMENT CONSERVATION-SSMC. Criterios para el uso de la taxonomía de suelos en la denominación de unidades cartográficas. Versión de WALTER LUZIO LEIGHTON. Universidad de Chile, 1988. 67 p. (Monografía Técnica SMSS No. 15).
20. SUAREZ, F. Estudio detallado de suelos de la Hacienda San Martín - Palmaseca, Cali, CVC, 1977. 30 p.
21. TENORIO, M. Programa de salinidad, riego y drenaje. Cali, CVC, 1987.
22. ———— y BARRERO, V. Diagnóstico del problema de salinidad y drenaje del proyecto Palmira-Bolo Fraile. Etapa 1. Cali, CVC, 1983. 54 p.