

III ENCUENTRO NACIONAL
DE CLIMA, AGUA Y TIERRA
III JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA
METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

MODELO DE REGIMEN DE HUMEDAD EN EL SUELO

ING^o. Pablo Marvez Machado.

UNIVERSIDAD EZEQUIEL ZAMORA
VICE-RECTORADO DE PRODUCCION AGRICOLA
GUANARE. EDO. PORTUGUESA

MODELO DE REGIMEN DE HUMEDAD EN EL SUELO

Ing^o. Pablo Marvez Machado.

INTRODUCCION.

La evaluación cuantitativa del recurso agua es de primordial importancia para los planificadores del desarrollo social y económico. Particularmente en los Llanos Occidentales, tiene un interés práctico debido al efecto del recurso agua en la productividad de la agricultura; la eficiencia en la producción de cultivo (Norero, 1979).

La variación en la humedad del suelo, el clima y el consumo de agua por los cultivos tienen un interés especial en este proyecto. La agricultura tiene lugar durante la época de lluvia, cuando el suelo almacena agua suficiente para satisfacer la demanda del cultivo.

Estas relaciones suelo-agua-planta, son analizados en este proyecto mediante un modelo. Esta es la primera aproximación integrando los factores suelo, clima, vegetación y relieve.

Los objetivos son:

- 1- Promover el uso de enfoques ecologicos para la evaluación cuantitativa del regimen de agua en el suelo.
- 2- Describir y justificar la técnica del modelaje.
- 3- Cuantificar agua en el suelo y sus relaciones con el concepto Período de cultivo (Graving Period).
- 4- Enfatizar la importancia de la agroclimatología en zonificación y manejo de suelos.

Este trabajo está basado en un Proyecto realizado como tesis, - para una maestría (agricultura) presentada en la Universidad de Cornell, de los Estados Unidos de Norteamérica.

AREA EN ESTUDIO- MARCO GEOGRAFICO

100

LOCALIZACION:

El área en estudio se localiza en los Llanos Occidentales de Venezuela (Fig. 1). De acuerdo al criterio de Holdridge y modificado por Rosales (1979), la región se sitúa en el Bosque Seco Tropical que ocupa parte de los estados Portuguesa y Barinas. Esta constituye una región importante para la agricultura en el país, debido al agua abundante y calidad del suelo.

CLIMA:

Dos aspectos de clima son de primordial importancia: primero, como elemento del ecosistema que influencia la formación de los suelos; y segundo como factor que limita las alternativas de selección para determinados usos de la tierra.

Las características más resaltantes del clima son:

- 1- Una distribución estacional de la lluvia. Presenta dos estaciones marcadas: seca (verano) y lluvia (invierno) en esta última cae más del 85% del total. El promedio anual varía entre 1.300 a 1.800 mm.
- 2- La temperatura media anual es de 27 °C., con una variación estacional menor de 5 °C.
- 3- La evapotranspiración media anual es de 1.500 mm, con máximos mensuales en el verano (180 mm) y bajos en el invierno (90 mm).

GEOMORFOLOGIA-UNIDAD DE PAISAJE.

De acuerdo a una revisión de Zinck (1970), Coosen (1971) - Dumith (1973), Schargel and Arnord (1977) y Marvez (1980), la sedimentación en los llanos ocurre en forma de deposiciones aluviales, formando una planicie de inundación en la cual las unidades de paisaje siguen un patrón paralelo al eje de los ríos. En estas unidades se identifican los siguientes elementos ó posiciones: un albardón cercano al eje formado por sedimentos gruesos y depresiones bajas alejadas del eje compuestas por sedimentos finos; ambos están separados por -

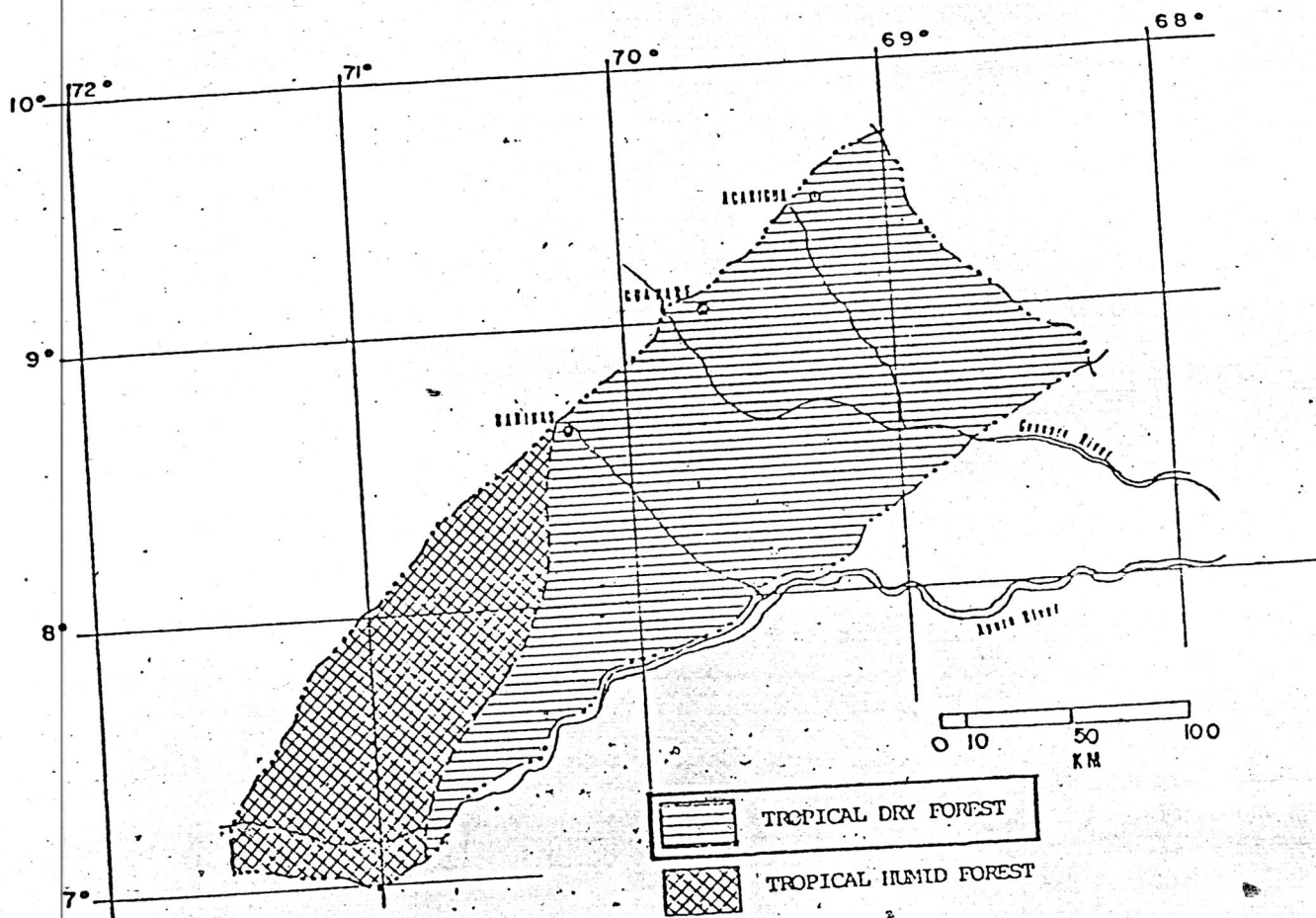


Figure 1: Location of the area (Rosales, 1979)

posiciones intermedias formadas mayormente por depositos limosos. - El desnivel entre el eje o albardón y las depresiones generalmente es menor de 2 metros (Fig. 2).

Estas posiciones se les conoce comunmente como BANCO, BAJIO y ESTERO, donde el banco se subdivide en Banco Alto, medio o bajo.

La dinamica de las aguas, hace que los ríos cambie frecuentemente, acumulando material en cada sitio, la cual trae como consecuencia la formación de un sistema interconectado de planicies (Fig. 3).

Existen diferencias en textura y drenaje en suelos formado en diferentes posiciones. Por ejemplo, suelos de textura gruesa se forman cerca del eje ó labardón y son exclusivamente drenados; suelos limosos de la planicie inundable son de bien drenados o moderadamente bien drenados, mientras que los suelos de textura fina en el Bajío ó estero, son imperfectamente a pobremente drenados (Fig. 4).

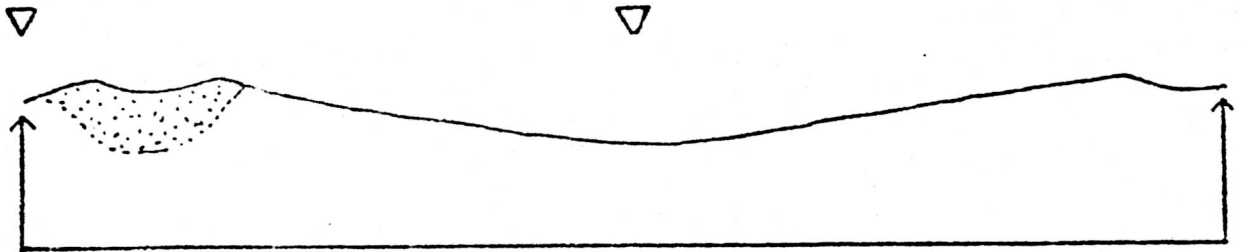
LA VEGETACION EN UN ECOSISTEMA ESTACIONAL.

De acuerdo a Sarmiento y Monasterio (1975), los Bosques de galería, bosques semidecuidos y las sabanas coexisten bajo clima tropical con una estación húmeda bien definida. En los bosques y sabanas forman un patrón complejo de vegetación; donde el bosque es dominante, forman una matriz más continua, mientras que las sabanas aparece como manchas de tamaño variable.

Los bosques aparecen en suelos con un balance de agua favorable durante todo el año, casi existe una planicie permanente de agua y los periodos de deficit son muy cortos, especialmente al final del periodo seco (verano).

La figura 4, presenta en forma esquemática la localización del bosque de galería y semidecuidos en una unidad de paisaje.

Las sabanas, ocurren en las posiciones más bajas del paisaje; los bajíos y esteros. Estas posiciones, que acumulan el agua de inundación, presentan suelos de texturas finas, pobremente estructurados y drenados. La dureza del suelo, grietas en la superficie, y periodos prolongados de humedad y sequía, dificultan el establecimiento de árboles.



CROSS SECTION OF THE INTERCONNECTED
SYSTEM OF OVERFLOW PLAINS

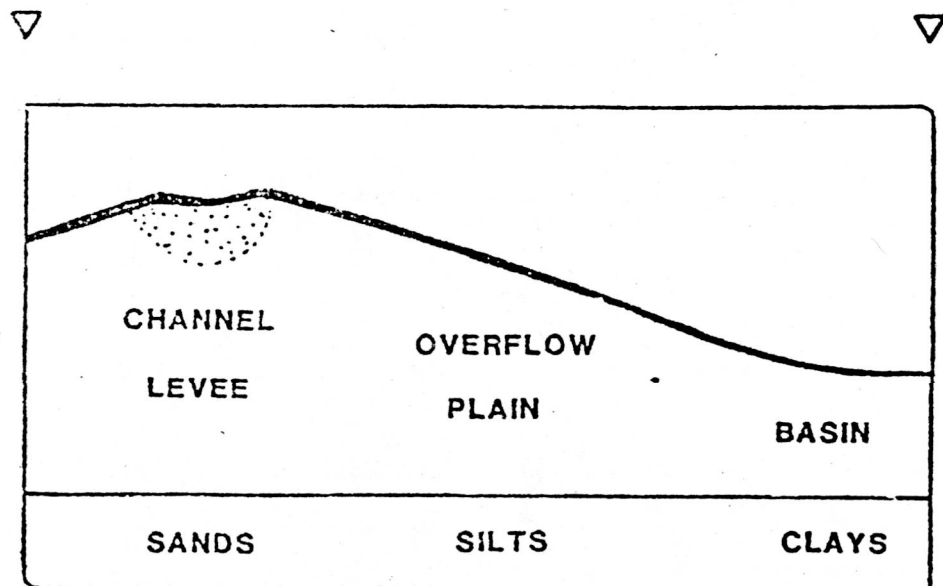


Figure 2: Cross section of an idealized landscape unit

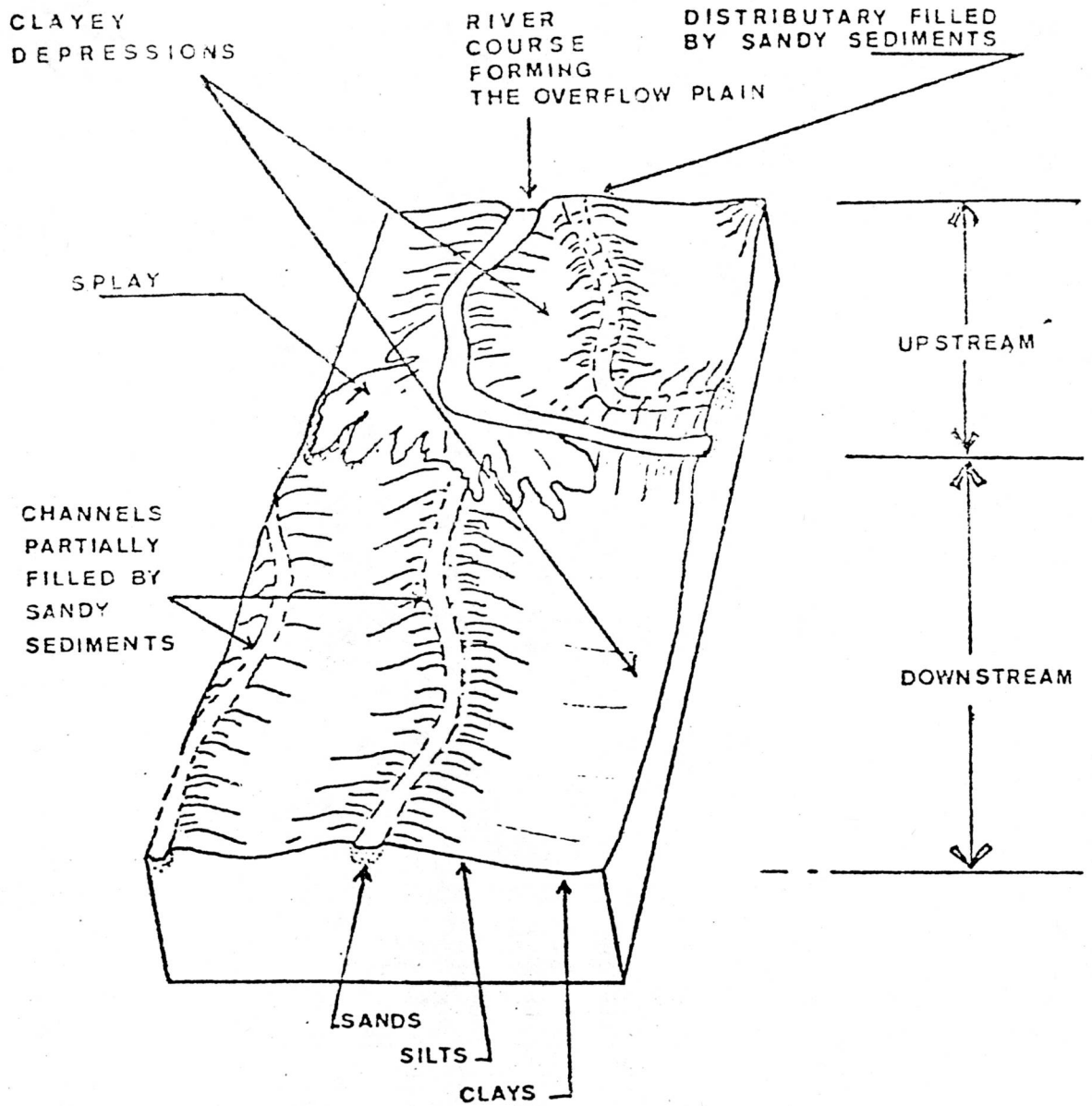


Figure 3: A general landscape model (after Dumith, 1973)

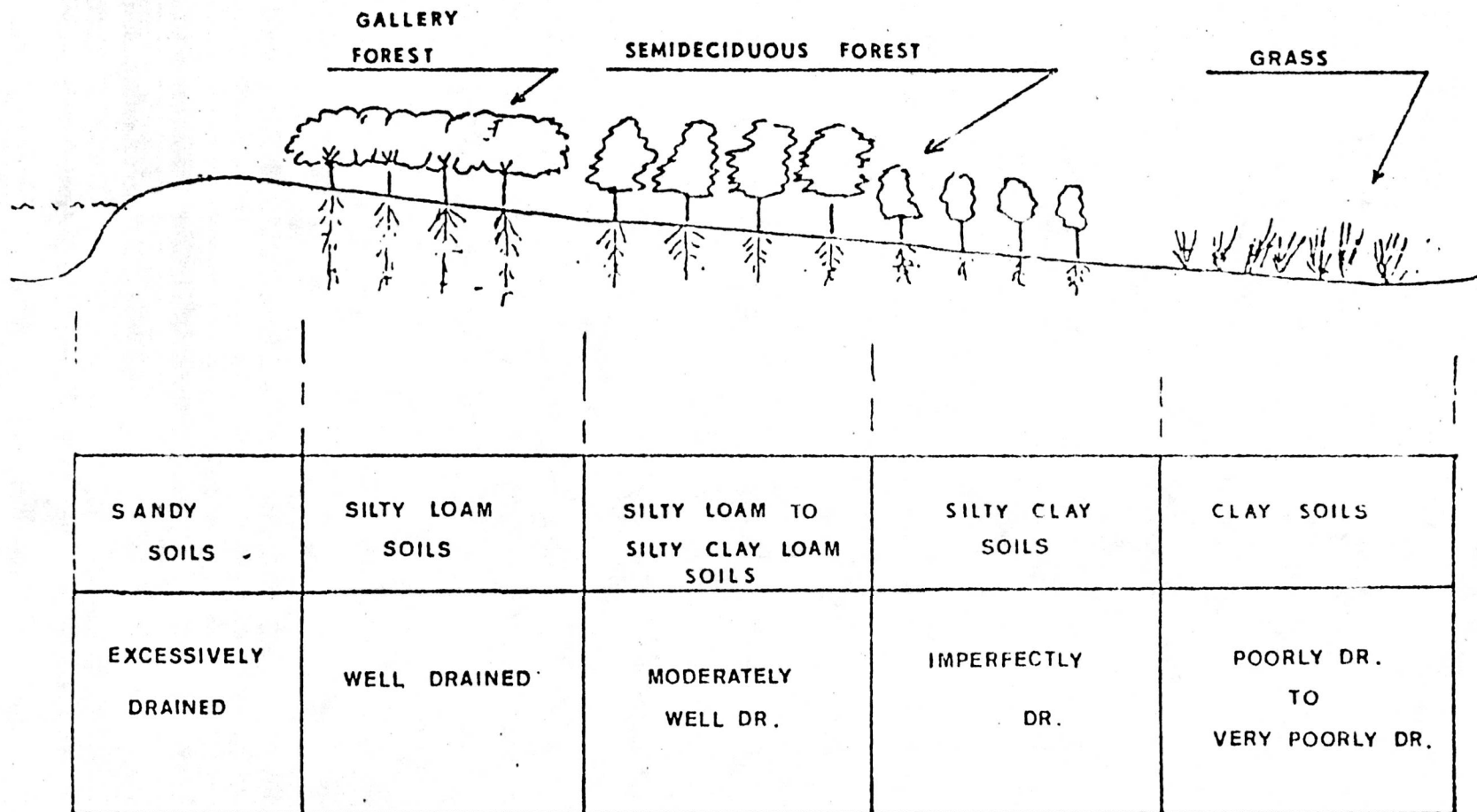


Figure 4: Distribution of vegetation and drainage classes in the landscape

CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS.

Los suelos seleccionados para la aplicación del modelo, han sido mapeados como series Boconó, Fanfurria y Masparrito; ocupan posiciones de Banco alto, banco bajo y bajo respectivamente.

SUELO 1-.

Corresponde a la serie Boconó (Typic Ustipsamment, mixta, isohipertermica), son suelos excesivamente drenados, ocupan la posición más alta del paisaje banco alto, presentan arena en todos los horizontes hasta + 1,50 m, la rata de infiltración es rápida y tienen una baja capacidad de retención de humedad.

Especialmente a su baja retención de humedad, estos suelos presentan de moderadas a severas limitaciones para los cultivos si su período va más allá de la estación de lluvias, es decir se cosechan en verano. Cultivos como sorgo, algodón ajonjolí crecen bien durante la época de lluvia.

SUELO 2-.

Corresponde a suelos de la Serie Fanfurria (Fluvaquentic Ustropepts, limosa fina, mixta, isohipertermica). Incluye suelos moderadamente bien drenados. Se localizan en los bancos intermedio de la planicie aluvial, con texturas Franco-arcillo-limosa dominante. Presenta una buena estructura, son profundo (+1,50 m), el PH es neutro, fertilidad natural alta y la retención de humedad es alta.

Presenta pocas limitaciones para la agricultura, que pueden soportar una amplia gama de cultivos durante todo el año, siempre que se efectue un buen manejo del suelo. Practicas como el laboreo profundo, pocos pases de rastra, siembra en surcos son recomendables.

SUELO 3-.

Corresponde a suelos de la serie Masparrito (Aeric Tropogvepts, arcillosa fina, mixta, isohipertermica). Estos son suelos pobremente

drenados que se localizan en los bajos. Estan saturados por largos periodos durante la época de lluvias, tienen textura arcillosa y arcillo-limosas dominantes.

estos suelos presentan fuertes limitaciones para la producción de cultivos, especialmente los subceptibles a deficiencias de drenaje. Sin embargo, cultivos como el sorgo, maíz, soya y caraotas negras, se adaptan bien si las condiciones de drenajes mejoran.

1) MOVIMIENTO DE AGUA SOBRE LA SUPERFICIE.

Se toma en consideración el flujo de agua o la escorrentía superficial entre diferentes suelos (simplemente escorrentía). La escorrentía es una función de la cantidad de precipitación (P)+ Escorrentía ganada (Ri) y la máxima cantidad de agua que un suelo puede aceptar para alcanzar la saturación con agua (AW). Una vez que P+Ri exceden a AW, el agua se mueve como escorrentía perdida (Ro).

Ro en mm. es dada por la fórmula:

$$Ro = (P+Ri) - AW.$$

Donde viene dado por la diferencia entre (CW+SW) y Wi. CW es capacidad de almacenamiento entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, y SW es la capacidad de almacenar agua entre la capacidad de campo y el punto de saturación. Wi es contenido inicial de agua al inicio del período, es decir que:

$$AW = (CW+SW) - Wi.$$

En otras palabras, AW es el espacio poroso disponible que puede ser llenado con agua para alcanzar la saturación.

Componentes de AW:

* SW en mm, se computa de acuerdo a la fórmula:

$SW = PW (\%) \times Da \times E / 100.$, donde Pw es la diferencia entre el porcentaje de humedad en el punto de saturación y el porcentaje de agua a la capacidad de campo. El Porcentaje de saturación (PW) es el 95% de la Porosidad (Tp) ó espacio poroso, el cual se expresa así:

$$Pw = 0,95 \times Tp, \text{ donde}$$

$Tp = 100 - (100 \times Da / Dr)$, donde Dr es densidad real de las partículas.

2) MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO.

La entrada de agua (Infiltración= I) se determina por la capacidad de Aceptación de agua (AW o I), considerando la diferencia entre -

tema. El sistema completo se analiza cada período de 10 días, lo cual permite identificar el inicio y final del Período de Cultivo, como se define más adelante. Se presentan además, los factores más importantes y procesos que afectan la entrada de agua al perfil de suelo así como - las pérdidas y ganancias dentro de cada horizonte.

El modelo no considera la influencia de la masa de agua.

MODELO OPERATIVO.

La ecuación propuesta por Baver (1972), permite iniciar la evaluación de todo el sistema, así:

$$P = ETo - AW, \text{ donde}$$

$$AW = P - (ETo + Dp + Re)$$

Los cambios en contenido de humedad (ΔW) del sistema depende - de la cantidad de precipitación (P) ganada y las pérdidas de humedad por evapotranspiración, Percolación profunda (R_p) y esorrentía (Re) hacia un drenaje, caño, río, etc.

Adicionalmente, se han diseñado una serie de ecuaciones para - evaluar el movimiento de agua en la superficie e internamente.

MOVIMIENTO DEL AGUA.

Durante un período de 10 días, se consideran dos condiciones en contenido de agua. Primero, un contenido inicial al inicio del período; y segundo, un contenido final al final del período. Se siguen - tres pasos para conseguir el cambio de humedad durante el período: 1) el llenado de cada horizonte de 30 cm; 2) el drenaje de agua fuera del horizonte y, 3) la evapotranspiración.

Se consideran dos tipos diferentes de movimientos dentro del sistema: 1) movimiento del agua sobre la superficie y, 2) movimiento de - agua en el suelo.

MODELO DE REGIMEN DE HUMEDAD EN EL SUELO.

Cuando se habla de régimen de humedad en el suelo (ó régimen de humedad edáfica), se refiere a las variaciones de la condición de humedad con el tiempo, ésta la define Rhode (1963), como la combinación completa del fenómeno que incluye agua disponible, su movimiento y sus pérdidas fuera del suelo.

En este trabajo, se propone un modelo de régimen de humedad en el suelo, el cual se usa para caracterizar la humedad edáfica, usando datos de clima como entrada. Este permite llevar un control de las variaciones laterales y verticales de la humedad del suelo en función del tiempo. Con su ayuda, se pretende definir para cada suelo la longitud ó duración del período de cultivo y el comportamiento del agua.

ESTRUCTURAS Y ASUNCIONES DEL MODELO.

El clima, la vegetación y el suelo conforman un sistema abierto. El clima determina potenciales en la suplenia de agua y la demanda, la vegetación influye en la demanda real de agua, y el suelo funciona con el reservorio que almacena y provee de agua a las plantas: Estos componentes interactúan en una geomorfosecuencia. (Fig. 5). La figura cinco (5), presenta un esquema del movimiento del agua en un sistema idealizado planta-suelo-ambiente. Este considera a la lluvia y escorrentía como ganancias y la evapotranspiración, escorrentía externa y percolación profunda como pérdidas.

La figura seis(6), presenta el mismo principio aplicado a un perfil de suelo de 90 cm, el cual está dividido en 3 horizontes de 30 cm., cada uno. La cantidad de agua presente en cada Horizonte depende de la precipitación que infiltra en el perfil-entrada y la cantidad de agua que se pierde por Evapotranspiración y percolación profunda. Escorrentía perdida o pérdida por escorrentía negativa (-), son las pérdidas desde un suelo en posición más alta, y que puede resultar en ganancias para un suelo en posición más baja. Esta se convierte en escorrentía externa, cuando las pérdidas van fuera del sis-

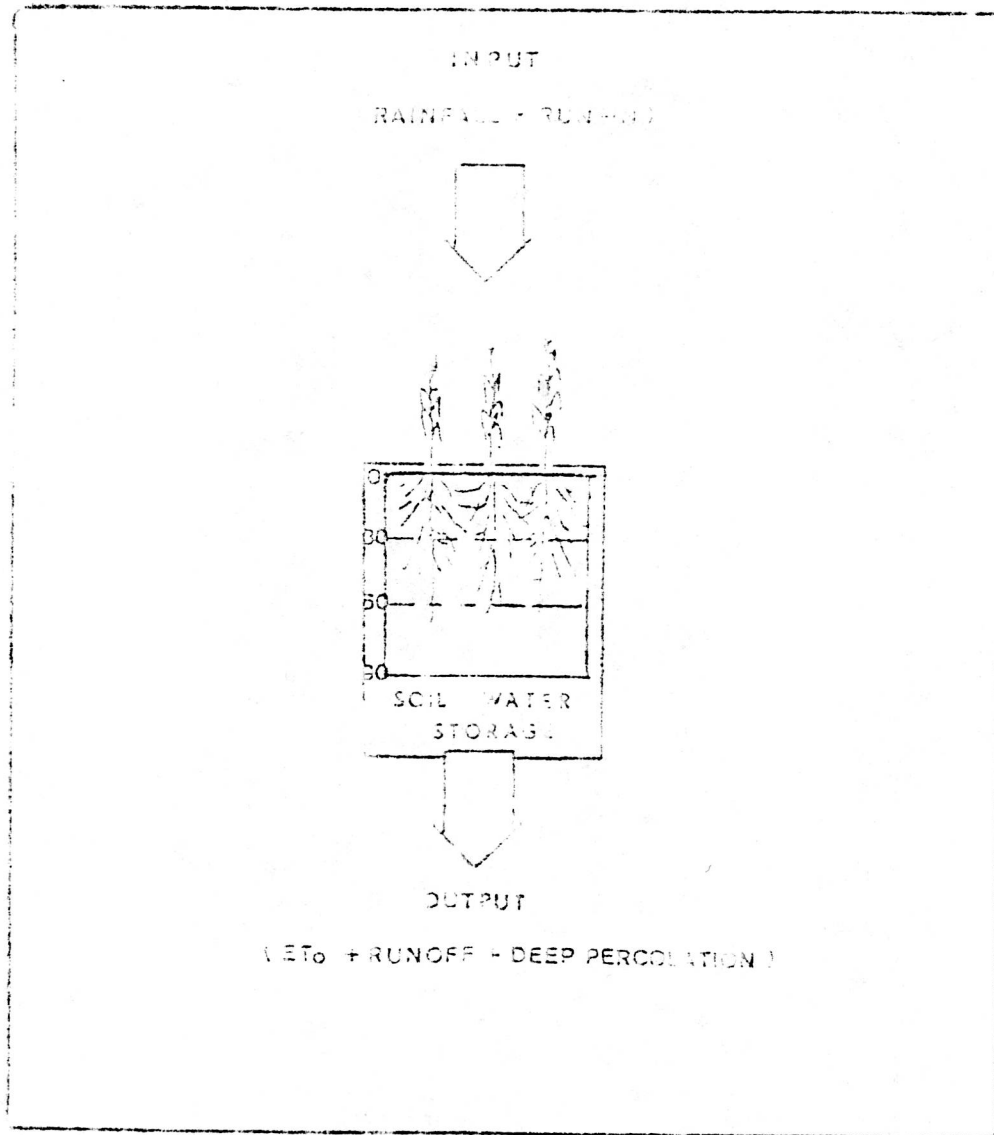


Figure 5. Idealized water movements in a crop-soil-environment system

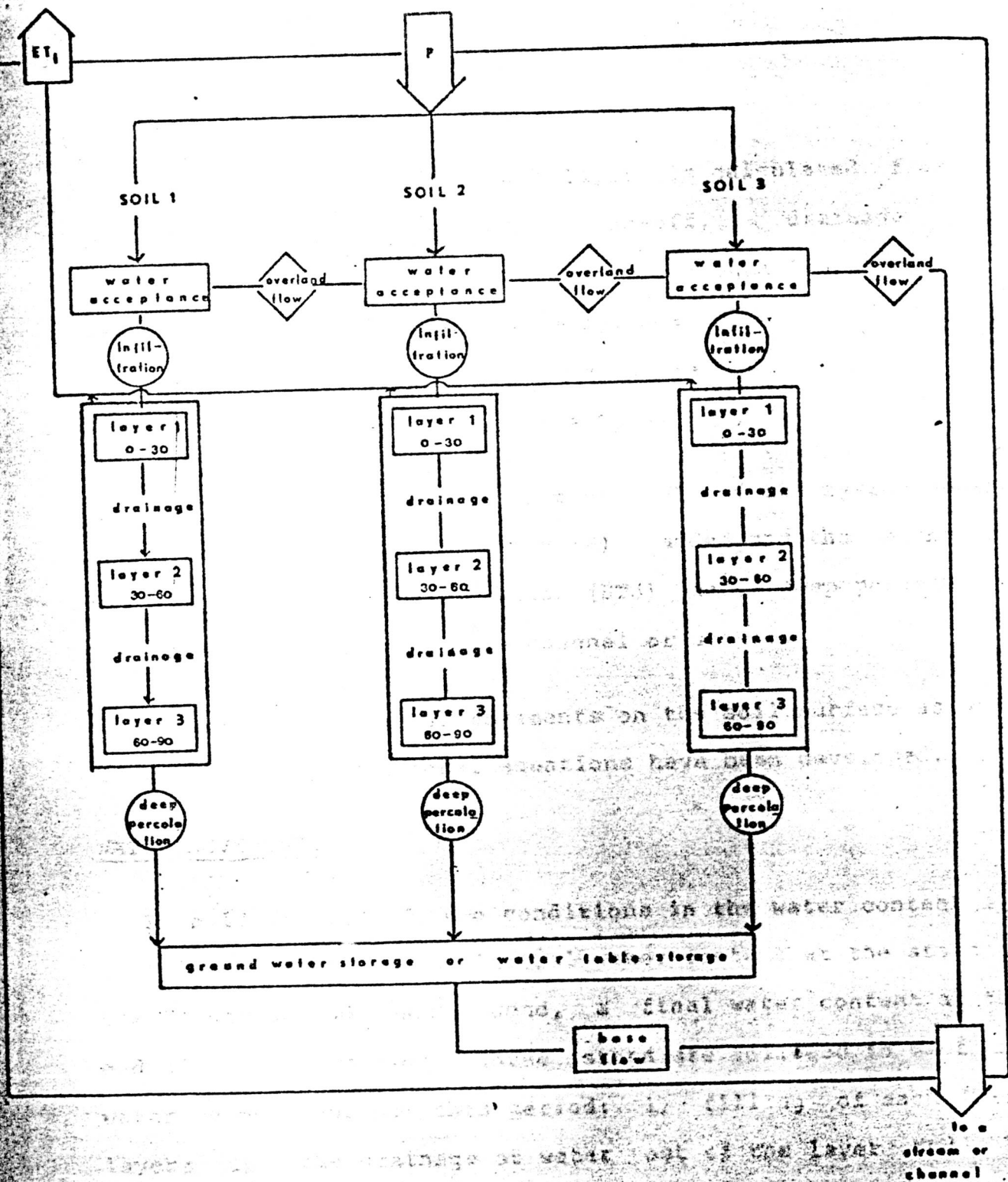


Figure 6: Open system for three different soils and their water relationships

(P+Ri) y AW, bajo las siguientes condiciones:

1. Cuando $AW > P+Ri$, $I=P+Ri$
2. Cuando $AW < P+Ri$, entonces $I=AW$.
 $R_o = (P+Ri) - AW$.

Una vez que el agua infiltra hacia el horizonte superficial, se comienza al calculos de los cambios de humedad dentro de cada horizonte durante el periodo de 10 días.

DRENAJE DEL AGUA DE UN HORIZONTE A OTRO.

El aumento o disminución del agua en el suelo por efecto del drenaje, es una función del contenido inicial de humedad (W_i) más el agua de infiltración, en el caso del horizonte superficial. Para los horizontes subyacentes, el drenaje es una función de W_i más el agua - por recibida por drenaje de capas superiores menos C_w . La fórmula para fines de computación es:

$$D = (W_i + I) - C_w.$$

C_w es usado como punto crítico a lazanar para que el agua se pueda mover, y como parámetro de referencia; el agua se mueve a un horizonte subyacente, si su cantidad excede a C_w al inicio del periodo.

El exceso de agua que drena de un horizonte representa la ganancia (I) al inmediato subyacente, excepto para el último, donde $I = D_p$. D_p es drenaje por percolación profunda, fuera del sistema.

CANTIDAD DE AGUA AL FINAL DE PERIODO (W_e).

Esta depende de el contenido inicial de agua (W_i), cantidad de agua recibida por infiltración o drenaje (I), las pérdidas por evapotranspiración (ET) y la cantidad perdida por drenaje (D).

Estos parámetros se relacionan de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$W_e = (W_i + I) - (ET + D).$$

ETf, Evapotranspiración por horizonte, es un factor o fracción de la ETp de campo que se describe más adelante.

Pérdidas de agua por evapotranspiración: la humedad en un horizonte de suelo disminuye en la medida que ésta es removida por la energía disponible para la evapotranspiración. factores como Temperatura, velocidad del viento, radiación, afectan este proceso.

Seguidamente se describe un procedimiento desarrollado para estimación de las pérdidas de agua un perfil húmedo de suelo. Estas pérdidas están representadas en este modelo por la evaporación y transpiración. Estas varían con la etapa de desarrollo del cultivo (etapa inicial, etapa de crecimiento, mitad del período y etapa de madurez o cosecha), longitud de las raíces y volumen por horizonte y cantidad de agua por horizonte.

ETf es una función del coeficiente por cultivo (Kc) y la Evapotranspiración potencial (ETp); Kc está en relación directa con ETf, si aumenta Kc aumenta ETf. Valores de ETf para un período de 10 días durante la etapa inicial de crecimiento del cultivo son la suma de la evaporación del suelo más transpiración del cultivo. La situación cambia hacia la mitad del período y madurez cuando hay cobertura por el cultivo, la evaporación del suelo es mínima y la transpiración del suelo alcanza sus máximos valores (Fig. 7).

La longitud y el volumen de las raíces también cambian con el tiempo. Durante la primera y segunda etapa de crecimiento, las raíces son poco profundas y se concentran en los primeros horizontes; durante la mitad del período de crecimiento y madurez, las raíces exploran a profundidad en el perfil; sin embargo, la mayor parte generalmente se concentra en los horizontes superficiales. La rata de crecimiento o elongación radicular se asume es constante, desde la fecha de siembra hasta cerca de la madurez.

La figura ocho (8) presenta un ejemplo numérico de la ETf durante un inicial y una final de madurez. Las letras a, b y c representan la evapotranspiración para el primero, segundo y tercer horizonte respectivamente. En el primer caso $ETf=16mm$, y ocurre en el primer horizonte así, $a=16$; en el segundo caso $ETf=30mm$, y se distribuye entre -

tres horizontes en diferentes proporciones de acuerdo al volumen estimado de raíces de 60%, 30% y 10% por horizonte. Así ETL se discrimina en $a=18$, $b=9$ y $c=3$.

La cantidad de agua (mm) renovada por horizonte es dada por la fórmula:

$$ETL = ETf \times \% \text{ agua extraída} / 100.$$

La figura nueve (9), presenta un ejemplo de la estimación del porcentaje de agua extraída, durante las etapas del cultivo y su variación en profundidad y en el tiempo. Este se puede calcular conociendo la fecha de siembra y el volumen de raíces por horizonte en la mitad del período. La total extracción ocurre en la primera capa (100%), mientras que en la mitad del período de cultivo la extracción se distribuye entre los horizontes. Durante el período de crecimiento, el porcentaje decrece de 100 a 60, en intervalos iguales (aproximadamente) de 10 días para el primer horizonte. En el segundo y tercer horizonte el porcentaje decrece hasta alcanzar cero en iguales intervalos. La forma de los porcentajes debe ser igual a 100 por perfil y por período de 10 días.

La extracción total de agua debe ser igual a la ETf para ese período.

Evapotranspiración Real: la evapotranspiración real es igual o menor que la evapotranspiración de campo dependiendo de la cantidad de la cantidad de agua disponible. Si existe suficiente agua disponible la evapotranspiración real es igual a la ETf.

INITIAL STAGE	CROP DEVELOPMENT	MID	SEASON
100	←————→	60	60
	0 —————→	30	30
		0 —————→	10

SOWING
DATE

100	90	80	60	60
0	10	20	30	30
		0	10	10

100	100	100	100	100
-----	-----	-----	-----	-----

Figure 9 : An example of estimating the percent of water extraction

FACTORES CLIMA, SUELO Y VEGETACION.

- Aplicación del modelo -

La evaluación cuantitativas de la humedad del suelo considera la lluvia, evapotranspiración de campo y los parámetros de humedad del suelo, factores que actúan juntos dentro de una rotación de cultivos. Maíz, caraota y barbecho es la rotación para el suelo 1. suelo 2; arroz y pastos es la rotación para el suelo 3 (Figura 10).

La duración del ciclo de los cultivos y pastos en considera-
ción, así como sus etapas de desarrollo fueron tomados FAO (1977); -
la fecha de siembra se basa en la experiencia local, y fué ajustada -
al inicio del período de cultivo, definido por Kowal (1978) como los
primeros 10 días cuando la precipitación es más alta que la mitad de
la evapotranspiración.

Los datos climaticos usados en el modelo y su respectiva ta-
bla son los siguientes:

- a- Régimen anual tabla. 1.
- b- Evapotranspiración de Campo como una función del desarro-
llo del cultivo tabla 2.
- c- Parámetros de humedad de los suelos tabla 3.

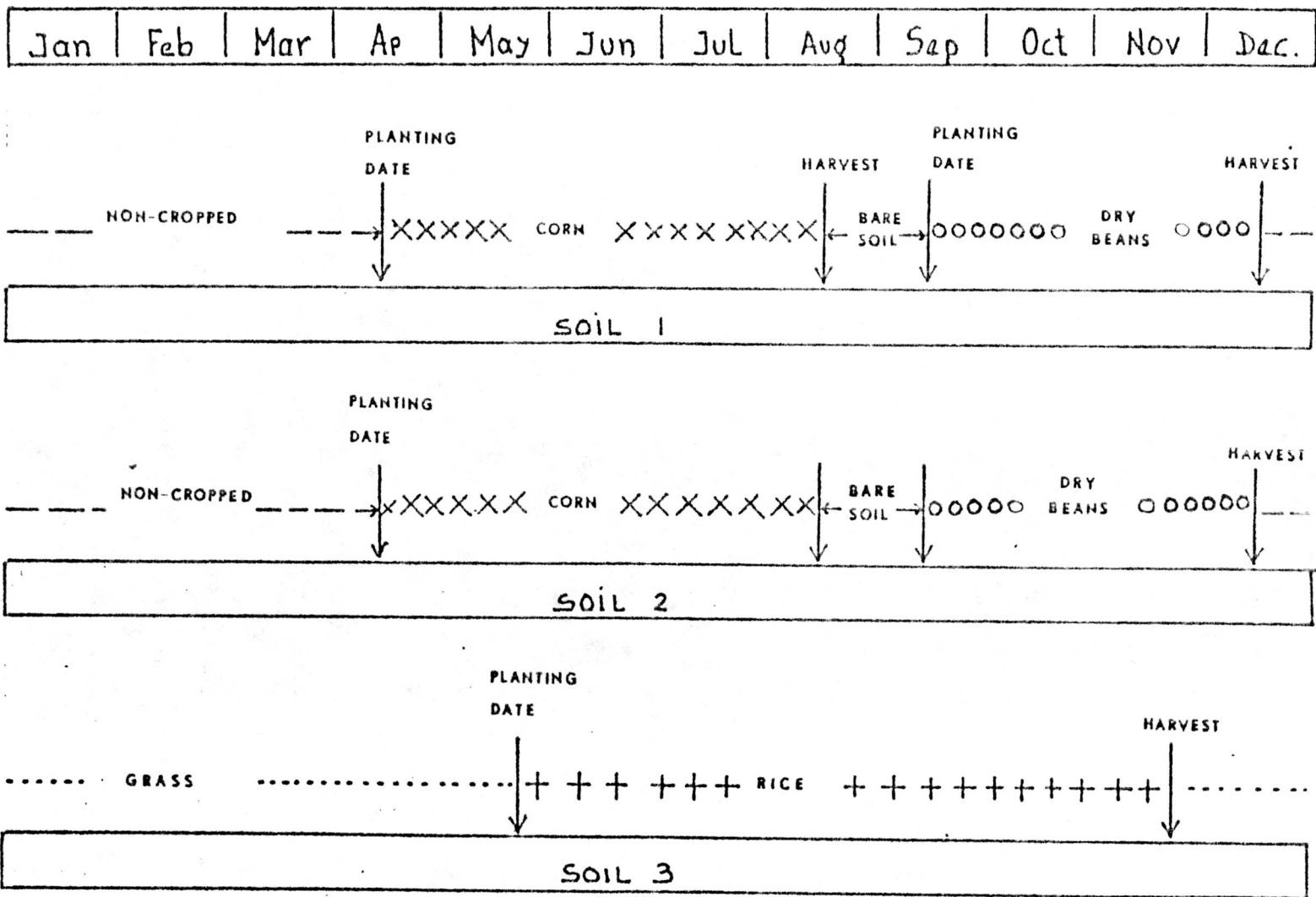


Figure 10: Selected cropping-fallow rotation

Table 1: Rainfall-input data for the model.

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Rainfall Frequency (assumed)	0 1 0	0 1 0	0 1 0	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 0

	Jan.	Feb.	mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Raifall Intensity (10-day)	0 15 0	0 9 0	0 8 0	30 31 31	71 71 92	70 71 94	76 100	76 84 66 66	67 45 45	31 56 84	30 30 29	11 10 0

Table 2: Percents of water extraction as a fraction of the ETf.

	Jan.		Feb.		Mar.		Apr.		May		June		July		Aug.									
Soil 1																								
0-30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	94	90	85	77	72	66	60	60	60	60	100	
30-60													0	6	10	15	23	28	34	40	40	40	40	
Soil 2																								
0-30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	94	90	85	77	72	66	60	60	60	60	100
30-60													0	6	10	15	20	23	27	30	30	30	30	
60-90															0	3	5	7	10	10	10	10	10	
Soil 3																								
0-30	90	85	80	75	70	70	70	70	70	70	70	70	70	100	100	100	100	95	90	85	80	75	70	70
30-60	10	13	15	18	20	20	20	20	20	20	20	20	20				0	5	10	13	15	18	20	20
60-90	0	2	5	7	10	10	10	10	10	10	10	10	10						0	2	5	7	10	10
Sept.																								
	100	100	100	100	95	90	85	80	80	80	80	80	100											
				0	5	10	15	20	20	20	20	20												
Oct.																								
	100	100	100	96	92	88	84	80	80	80	80	100												
			0	4	8	12	16	20	20	20	20													
Nov.																								
	70	70	70	70	70	70	70	70	100	100	100	95												
	20	20	20	20	20	20	20	20				5												
	10	10	10	10	10	10	10	10																
Dec.																								

Table 3 : Soil water parameters.

Soil	Layers	fc(%)	Bulk density	Particle density	^{TP} Total porosity	^{Pv} Sat.Vol. (95% Tp)	Sat. (mm)	fc. (mm)	Cw	Sw	Cw+Sw
1	0-30	12.2	1.36	2.65	48	46	140	50	31	90	121
	30-60	9.6	1.45	2.65	45	43	187	41.8	27	145	172
	60-90	9.6	1.55	2.65	42	40	186	44.6	25	141	166
2	0-30	34.4	1.47	2.65	45	43	190	151.7	80	38	118
	30-60	39	1.42	2.65	46	44	187	166	78	21	99
	60-90	39.2	1.41	2.65	47	45	190	166	97	24	121
3	0-30	36	1.34	2.65	49.4	47	189	144.7	66	44	110
	30-90	32.2	1.53	2.65	42	40	184	147.7	61	36	97
	60-90	16.5	1.62	2.65	39	37	180	80	44	100	144

RESULTADOS Y CONDISIONES.

Los resultados de los cálculos para todo el sistema se presentan en el trabajo original, estos se hacen para un total de 36-períodos de 10 días cada uno.

Un esquema inicial presenta los parámetros que actúan en el sistema. Los datos de fecha, número del período, precipitación y evapotranspiración aparecen en el tope de cada esquema. Se tomó fecha para iniciar los cálculos, los últimos 10 día de octubre, cuando se estima que los suelos están a capacidad de campo.

La figura ~~nce~~ (11) es un gráfico tridimensional que presenta el almacenamiento de agua en el suelo para 36 períodos, en los suelos estudiados. Se observa que existe una relación estrecha entre las lluvias y el agua almacenada en el suelo, la cual se incrementa con la lluvia aun descontando las pérdidas por evapotranspiración y drenaje.

Este gráfico permite expresar el agua almacenada en el suelo en función de su duración y de las cantidades almacenadas. La duación puede subdividirse por grados en: corta, intermedia y larga para los suelos 3, 1 y 2 respectivamente.

Por otra parte, las cantidades almacenadas se paran en 3 grados: baja, media y alta para los suelos 1,3 y 2 respectivamente.

Así; se observa, que el suelo 3 se incluye dentro de los mejores grados, es el más apropiado para agricultura.

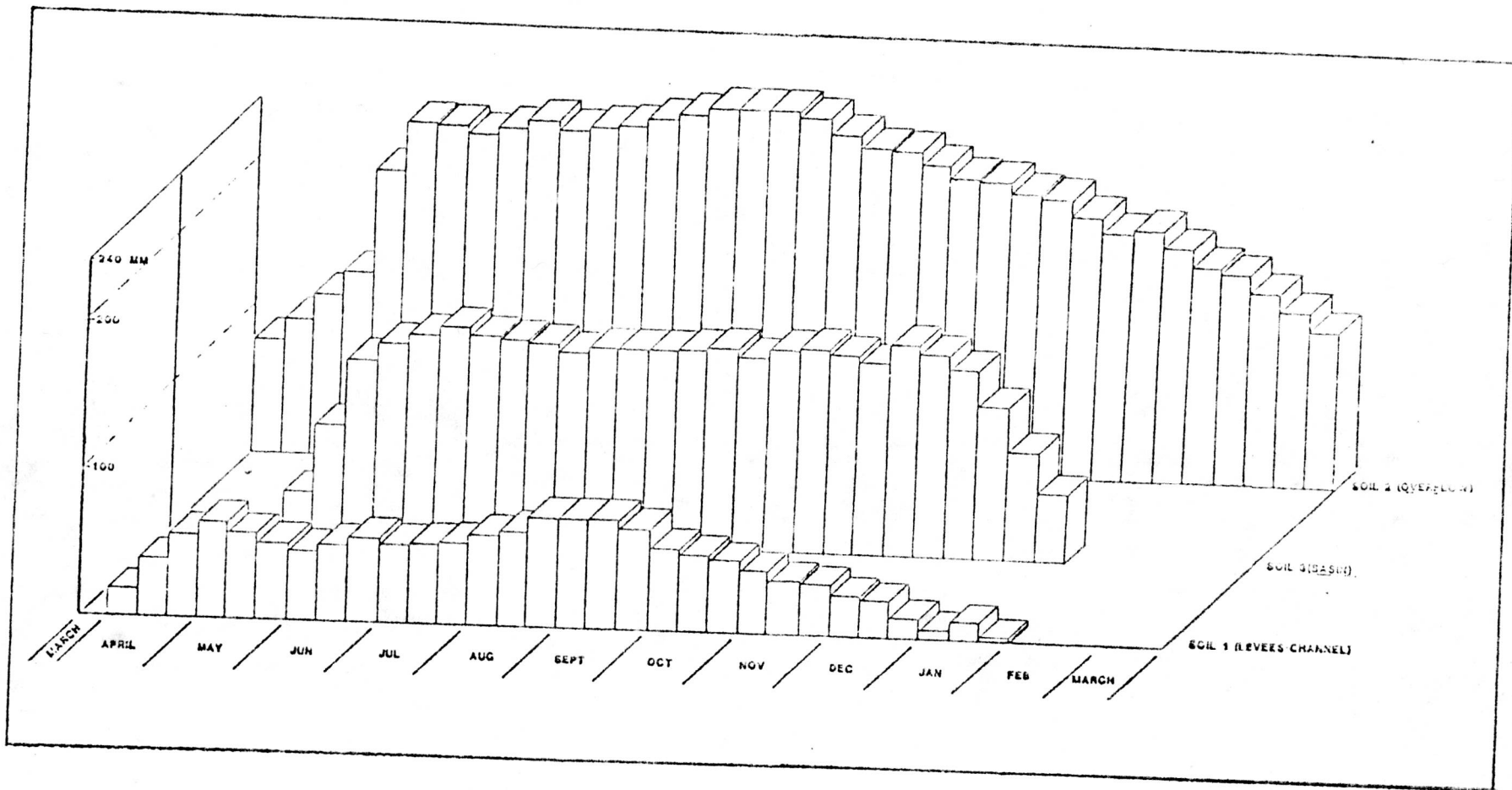


Figure 11: Water stored by the three soils during 36 periods