
Universidad de Guadalajara

FACULTAD DE AGRICULTURA



FORMACION DE UNIDADES DE MANEJO DE SUELOS
PARA LA PRODUCCION DE MAIZ USANDO
CARTOGRAFIA Y MODELOS DE SIMULACION

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO

ORIENTACION SUELOS

P R E S E N T A

JUAN CARLOS REGALADO FUENTES

GUADALAJARA, JALISCO NOVIEMBRE 1988



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Facultad de Agricultura

Expediente

Número

Octubre 20 de 1988

C. PROFESORES:

ING. PEDRO TUPETE ANGEL, DIRECTOR
ING. ERNESTO ALONSO MIRAMONTES LAU, ASESOR
ING. NESTOR VILLAGRAMA SANCHEZ, ASESOR

Con toda atención me permito hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobado el Tema de Tesis:

" FORMACION DE UNIDADES DE MANEJO DE SUELOS PARA LA PRODUCCION DE -
MAIZ, USANDO CARTOGRAFIA Y MODELOS DE SIMULACION ".

presentado por el (los) PASANTE (ES) JUAN CARLOS REGALADO FUENTES

han sido ustedes designados Director y Asesores respectivamente para el desarrollo de la misma.

Ruego a ustedes se sirvan hacer del conocimiento de esta Dirección - su Dictamen en la revisión de la mencionada Tesis. Entre tanto me es grato reiterarles las seguridades de mi atenta y distinguida conside ración.

A T E N T A M E N T E
"AÑO ENRIQUE DIAZ DE LEÓN"
"PIENSA Y TRABAJA"
EL SECRETARIO

ING. JOSE ANTONIO SANDOVAL MADRIGAL

srd'

Al contestar este oficio sírvase citar fecha y número



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Facultad de Agricultura

Expediente

Número

Octubre 20 de 1988



ING. ANDRES RODRIGUEZ GARCIA
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRICULTURA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
PRESENTE

ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

Habiendo sido revisada la Tesis del (los) Pasante (es)

JUAN CARLOS REGALADO FUENTES

titulada:

" FORMACION DE UNIDADES DE MANEJO DE SUELOS PARA LA PRODUCCION
DE MAIZ, USANDO CARTOGRAFIA Y MODELOS DE SIMULACION ".

Damos nuestra Aprobación para la Impresión de la misma.

DIRECTOR

ING. PEDRO TOPETE ANGEL

ASESOR

ASESOR

ING. ERNESTO ALONSO MIRAMONTES LAU

ING. NESTOR VILLAGRANA SANCHEZ

srd'

COPIA DE ESTE DOCUMENTO SE ENTREGA EN LA BIBLIOTECA DE LA ESCUELA DE AGRICULTURA

CONTENIDO

Página

INDICE DE CUADROS
INDICE DE FIGURAS
INDICE DE CUADROS EN EL APENDICE

RESUMEN

I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	2
2.1. Distribución espacial de las propiedades del suelo	2
2.1.1. Variables aleatorias discretas	2
2.1.1.1. Distribución de probabilidad	2
2.1.2. Variables aleatorias continuas	3
2.1.2.1. Función de densidad de probabilidad	3
2.1.2.2. Distribución de probabilidad acumulada (dpa)	3
2.1.3. Medidas de tendencia central	4
2.1.4. Medidas de dispersión	5
2.1.5. Esquemas de muestreo	6
2.1.6. Métodos de análisis multivariados	8
2.1.6.1. Supuestos	9
2.1.6.2. Correlación canónica	9
2.1.6.3. Análisis por discriminantes canónicos	10
2.1.7. Estadística no paramétrica	11
2.1.7.1. Ajuste de distribuciones	12
2.1.7.2. Pruebas de bondad de ajuste	12
2.1.7.2.1. Prueba de Kolmogorov-Smirnov	12
2.1.7.2.2. Prueba de Johnson y Wichern	13
2.1.7.3. Ley de la distribución normal	14
2.1.7.4. Ley de la distribución gama	15
2.1.7.5. Ley de la distribución exponencial	15
2.1.8. Geostatística	16
2.1.9. Variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo	17
2.1.9.1. Coeficientes de variación	18
2.1.9.2. Distribución de probabilidad	19
2.2. Mapeo de suelos	19
2.2.1. Cartografía	19

2.2.2. Representación de unidades cartográficas	20
2.2.3. Interpretación de mapas de suelos	21
2.2.4. Las cartas edafológicas de DETENAL	23
2.2.5. Predicción de rendimientos	24
2.3. Modelos de simulación del sistema suelo-planta-atmósfera	25
2.3.1. Generalidades	25
2.3.2. Algunos modelos del sistema suelo-planta-atmósfera	27
2.3.3. Importancia de la humedad en zonas de temporal	29
2.3.4. El modelo de Palacios	30
2.3.4.1. Limitaciones del modelo	30
2.3.4.2. Infiltración	33
2.3.4.3. Movimiento de agua en el suelo	35
2.3.4.4. Evaporación	36
2.3.4.5. Estimación de rendimientos	36
2.4. Conclusiones de la revisión de literatura	36
III. OBJETIVOS, HIPOTESIS Y SUPUESTOS	40
3.1. Objetivos	40
3.2. hipótesis	40
3.3. Supuestos	40
IV. MATERIALES Y METODOS	41
4.1. Localización del área de estudio	41
4.2. Descripción ecológica del área de estudio	41
4.2.1. Clima	41
4.2.2. Suelos	41
4.2.3. Vegetación	43
4.3. Materiales	43
4.4. Métodos	44
4.4.1. Trabajo de campo	44
4.4.1.1. Muestreo de rendimiento en maíz	44
4.4.1.2. Muestreo de suelo	44
4.4.2. Trabajo de laboratorio	45
4.4.3. Análisis estadístico	45
4.4.3.1. Ordenamiento de datos	45
4.4.3.2. Estadística univariada	45
4.4.3.2.1. prueba de normalidad	45
4.4.3.2.2. Ajuste a la curva normal	45

4.4.3.2.3. Análisis de varianza	46
4.4.3.3. Análisis multivariado	46
4.4.3.3.1. Prueba de normalidad multivariada	46
4.4.3.3.2. Análisis de discriminante canónico	46
4.4.3.3.3. Reclasificación	46
4.4.3.3.4. Nueva clasificación	47
4.4.4. Simulación de rendimientos	47
V. RESULTADOS Y DISCUSION	49
5.1. Prueba de normalidad	49
5.2. Ajuste gráfico a la curva normal	53
5.3. Intervalos de confianza	56
5.4. Análisis de varianza	61
5.4.1. Diferencia mínima significativa (DMS)	61
5.5. Grupos de manejo	61
5.6. Clasificación propuesta de manejo	63
5.7. Análisis multivariado	64
5.7.1. Prueba de Wilkinon para normalidad multivariada	64
5.7.2. Primer agrupamiento	66
5.7.3. Reclasificación	69
5.7.4. Segundo agrupamiento	71
5.8. Clasificación de suelos y su manejo	75
5.9. Predicción de rendimiento	80
5.10. Discusión general	86
5.11. Prueba de hipótesis	87
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
6.1. Conclusiones	89
6.2. Recomendaciones	90
VII. BIBLIOGRAFIA	91
VIII. APENDICE	97

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Gráfica de la distribución de probabilidad acumulada	4
2	Esquema de muestreo sistemático	7
3	El análisis de correlación canónica sirve para explicar la variación de un grupo de variables en función de las variables del otro grupo y viceversa	10
4	Diagrama de flujo del modelo de simulación del sistema suelo-planta atmósfera (Cruz, 1985)	31
5	Representación gráfica de la estimación de la lámina de infiltración (Rojas y Palacios, 1982)	34
6	Localización del área de estudio	42
7	Prueba de normalidad para cuatro unidades de suelos según el criterio de Johnson y Wichern	51
8	Prueba de normalidad para cuatro unidades de suelos según criterio de Kolmogorov-Smirnov	54
9	Ajuste gráfico de la curva empírica a la curva teórica normal para las unidades de suelos	55
10	Agrupación de los cuatro ajustes gráficos de la distribución normal	57
11	Distancias de Mahalanobis para el 1er agrupamiento	67
12	Círculos que agrupan a las observaciones de la 1a. clasificación	67
13	Grupos claramente definidos hechos por los coeficientes canónicos	72
14	Distancias de Mahalanobis y probabilidades en la 2a. agrupación	73
15	Círculos que delimitan las observaciones al 10% de probabilidad en la 2a. agrupación	73
16a	Asociación del manejo en la 1er. agrupación con suelos de la unidad fluvisol	76

16b	Asociación del manejo en la 1er. agrupación de suelos de la unidad regosol	76
16c	Asociación del manejo de la 1er. agrupación en suelos de la unidad faeozem	77
16d	Asociación del manejo de la 1er. agrupación de suelos de la unidad castañozem	77
17a	Asociación del manejo de la 2a. agrupación de suelos en la unidad fluvisol	81
17b	Asociación del manejo de la 2a. agrupación en la unidad castañozem	81
17c	Asociación del manejo de la 2a. agrupación en la unidad faeozem	82
18a	Predicción del rendimiento relativo por medio del sistema de simulación SIMRE, para manejo alto. Donde predice el 35% para K, 0% para H, 20% para R y el 45% para J	83
18b	Predicción del rendimiento relativo por medio de sistema de simulación SIMRE, para manejo medio. Donde predice el 30% para K, 25% para H, 21% para R y 23% para J	83
19	Predicción del rendimiento relativo por medio del sistema de simulación SIMRE. Análisis de regresión entre el rendimiento relativo predicho y el observado en una área de 3.5 km de radio a la estación climatológica	85

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Valores estimados de medias, desviación estándar y coeficientes de variación	18
2	Coefficientes de correlación para la prueba de normalidad de Johnson y Wichern	50
3	Valores de significancia para la prueba de normalidad según Kolmogorv-Smirnov	52
4	Valores estadísticos simples para cada unidad de suelos	58
5	Observaciones reclasificadas y su porcentaje	58
6	Número de observaciones que no cambiaron y su manejo, así como las que reclasificaron	59
7	Resumen del manejo para cada nueva unidad de suelos	62
8	Análisis de varianza completamente al azar y prueba de medias	62
9	Prueba de normalidad multivariada para cuatro unidades de suelos según el criterio de Wilkinson	65
10	Distancias y probabilidades de Mahalanobis para la primera agrupación	66
11	Coefficientes canónicas estandarizadas, primera clasificación	68
12	Número de observaciones típicas clasificadas y porcentaje para la nueva serie	70
13	Número de observaciones no típicas clasificadas y porcentaje para la nueva serie	70
14	Distancias y probabilidades de Mahalanobis	71
15	Coefficientes canónicos estandarizados	75
16	Manejo en las unidades univariadas	78
17	Manejo en unidades de agrupación multivariada	79
18	Manejo en unidades del segundo agrupamiento multivariado	79
19	Coefficientes de regresión y determinación para la regresión lineal simple entre el rendimiento predicho y el observado	84

DEDICATORIA

A mi padre y madre que siempre me han motivado a superarme y a quien gracias a su ayuda pude estudiar una carrera universitaria.

A mis hermanos:

Gregorio, Rosaiba, Ana María del Rosario, Everardo,
Fabiola, Ma. del Refugio y Enrique Noé.

A mis tios Nieves Fuentes A. y Raymundo Fuentes A. por su ayuda y motivación en mis estudios universitarios.

A Aurora Rosas Ramírez con cariño.

A G R A D E C I M I E N T O S

A Instituciones:

- Al Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas del Colegio de Postgraduados (CREZAS-CP) por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.
- A la Universidad de Guadalajara por haberme dado la oportunidad de estudiar en sus aulas una profesión.
- Al Distrito de Desarrollo Rural No. 4 de la SARH en Jalpa, Zac. por el apoyo logístico para la realización del trabajo de campo.

A Personas:

- Al Dr. Benjamín Figueroa Sandoval, profesor Investigador Titular y Director del CREZAS por el apoyo brindado durante mi estancia en este Centro y por la dirección y asesoría directa en la realización de esta tesis.
- Al Ing. y MC. J Jesús Martínez Hernández por su valioso apoyo administrativo.
- Al Dr. Félix V. González Cossio por su valiosa ayuda en el análisis estadístico.
- A los catedráticos de la facultad de Agricultura de la Universidad de Guadalajara: Ing. Pedro Topete A., Ing. Ernesto Miramontes Lau, e Ing. Néstor Villagrama Sánchez, Director y Asesores respectivamente de este trabajo por su acertada revisión del escrito y sus valiosas sugerencias.
- A la Sra. Esperanza Robledo de Rodríguez por su amable y entusiasta labor mecanográfica de esta tesis.
- A las Secretarías del CREZAS-CP, Leticia Morales P, Galita Figueroa B, Norma A Palacios M, Martha H Guerrero G. y Lidia López M, por su ayuda brindada en las diferentes etapas de este trabajo.
- Al Ing. Ysmael Chávez Tiscareno y familia por su amistad y ayuda en mi estancia en Jalpa, Zac.

- Al Ing. Daniel Talavera Magaña y familia por su amistad brindada durante años.
- A los amigos y compañeros del CREZAS con quien tuve el gusto de convivir en mi estancia en Salinas a los Ings. Noé Ortíz U, Florentino Navarrete Ch, Humberto Luján A, Javier E García H, S de Jesús Méndez G., Isaías Cedillo M, Ismael Hernández R, Gildardo Aquino P, Gerardo Candelario M, Luis A Tarango A, Antonio L Bautista a los Ings. y MC. J Isabel Méndez P, E Salvador Osuna C, José M Rodríguez O, y Melitón Córdoba A, y al MVZ. Javier Esparza H.
- A los amigos de la Facultad de Agricultura y de Barrio Nicolás Pérez R, José Ma. Ayala L., Armando Ramos Ch, J. Jesús Carrillo G. y Ramón Morales A.
- Al Pueblo en general.



Este trabajo se realizó en el Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas del Colegio de Postgraduados (CREZAS-CP) bajo el programa de Tesis Licenciatura en Agronomía y Biología. Bajo la supervisión del Dr. Benjamín Figueroa Sandoval.

RESUMEN

La agrupación de unidades de suelos con fines de manejo de los mismos es muy importante para la planeación de las actividades agrícolas de una región. Con éste fin se usan diferentes técnicas tal como la cartografía de suelos y la simulación de sistemas. El objetivo de éste trabajo fue conocer la utilidad de la cartografía de suelos DETENAL y del modelo de simulación SIMRE, para formar unidades de manejo semejante para producción de maíz de secano. El trabajo se realizó en el municipio de Jalpa, Zacatecas, durante el ciclo agrícola primavera verano de 1986. Sobre la cartografía de DETENAL se delimitaron las principales unidades de suelos, presentes en ellas, seleccionándose cuatro para el estudio: fluvisoles, regosoles, faeozems y castañozems. En éstas unidades se hizo un muestreo estadístico sistemático usando una cuadrícula y muestreando las parcelas que tuvieran cultivo de maíz. En cada una de ellas se determinó el rendimiento de maíz en grano y la densidad aparente del suelo, posteriormente en el laboratorio se determinó las constantes de humedad para cada suelo.

Los datos obtenidos en el muestreo fueron analizados estadísticamente con el objetivo de formar grupos de igual rendimiento y características físicas. El análisis estadístico indica que las unidades cartográficas de DETENAL pueden agruparse con fines de manejo en función de las propiedades físicas y/o el rendimiento de maíz mediante pruebas de medias y análisis multivariado. El nivel de manejo de cultivo por el agricultor afecta su clasificación dentro de las unidades de manejo de suelos determinadas. La predicción de rendimiento de maíz usando el modelo SIMRE a nivel de unidad de suelos de DETENAL no fue aceptable. Más sin embargo al comprobar la influencia de una estación meteorológica en un radio de tres y medio km la predicción de éstos suelos fue muy buena.

I. INTRODUCCION

Tradicionalmente la cartografía se ha usado con fines de clasificación, de suelos y tierras teniendo muy poca atención para su uso con fines de manejo. En el presente trabajo se hizo una clasificación del recurso en función de su manejo, usando la unidad original como unidad de manejo y además prediciendo el rendimiento de grano en maíz de secano en las unidades cartográficas seleccionadas. Estas se escogieron por su importancia en extensión y fueron: fluvisol, regosol, faeozem y castañozem. Además de hacer uso de esta clasificación para estimar la potencialidad del suelo para producir cosecha, se puede utilizar para planeación de actividades, programación de inversiones de capital en el sector agropecuario y también para establecer experimentos agrícolas.

Esto es de suma importancia debido a que los Distritos de Desarrollo deben contar con técnicas que les permita un desarrollo global basado en un sistema cartográfico. En este trabajo se obtuvo un sistema cartográfico de manejo usando dos técnicas estadísticas, la clásica y la multivariada y dependiendo de la infraestructura y recursos con que cuente el Distrito se puede hacer éste tipo de trabajos.

Por otra parte, la utilización de la técnica de la simulación de sistemas viene a ayudar a la predicción de los rendimientos de los cultivos, que junto con el sistema de clasificación de manejo de suelos son buenas herramientas para hacer un desarrollo planeado de las actividades agrícolas en los Distritos de Desarrollo en el país.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Distribución espacial de las propiedades del suelo

2.1.1. Variables aleatorias discretas

a) Variables aleatorias. Sea E un experimento y s su espacio de eventos. Se dice, que E es una variable aleatoria (v.a) de valores x si y solo si:

- i) Es una función real definida sobre los eventos de s
- ii) La probabilidad de que $E \geq x$, en donde x es dado, es igual a la probabilidad de que se verifique alguno de los eventos simples (a) de s , tales que $E(a)$ sea mayor o igual que x , ésto es:

$$P(E \leq x) = P\{a/E(a) \leq x\}$$

- b) Variables aleatorias discretas. Estas variables tienen como dominio un conjunto numerable.

2.1.1.1. Distribución de probabilidad

Si $E(a) = x$, es una variable aleatoria de tipo discreto con valores x_1, x_2, \dots, x_n ; entonces la probabilidad de que acontezca algunos de los eventos simples (a) de s , tales que $E(a) = x_1$ es:

$$P_1 = P[E(a) = x_1] = P[a/E(a) = x_1]$$

El conjunto de valores $[P_1]$ recibe el nombre de distribución de probabilidad de la variable aleatoria E .

Si en un sistema de referencia x - $P(x)$, se identifican los puntos (x_i, P_i) , la suma de sus ordenadas debe valer uno. Se acostumbra unir éstos puntos con segmentos de recta obteniendo así un polígono de probabilidad (Moreno y Jauffred, 1973).

2.1.2. Variables aleatorias continuas

A toda variable aleatoria x que puede tomar cualquier valor comprendido en un intervalo (a,b) se le llamará v.a. continua. Desde el punto de vista de la probabilidad, siempre es posible suponer que una v.a. continua, x puede tomar como valor un número real cualquiera.

2.1.2.1. Función de densidad de probabilidad

Por lo general se asocia una medida con el valor de una variable, una medida de lo común que es o no, a la probabilidad de ocurrencia de un valor semejante. En estadística se dice que la variable tiene una función de densidad de probabilidad (Steel & Torrie, 1985).

Se define por una función $f(x)$, a la cual se le impone las siguientes condiciones: (Moreno y Jauffred, 1973).

- i) $f(x) \geq 0$ para toda x
- ii) El área entre la curva que representa gráficamente a $f(x)$ y el eje x vale 1, ésto es:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$$

- iii) $P(a \leq x \leq b)$, está dada por el área limitada por el eje x , las rectas $x=a$, $x=b$ y la curva de probabilidad de x ; ésto es:

$$P(a \leq x \leq b) = \int_a^b f(x) dx$$

2.1.2.2. Distribución de probabilidad acumulada (d.p.a)

La probabilidad de que la v.a. E , tome un valor inferior a x_i , es una función de x , llamada distribución de probabilidad acumulada de la variable aleatoria E . Si se designa a ésta función con $F(x)$, se deberá tener:

$P(x < x_i) = F(x_i)$ (ver Figura 1)

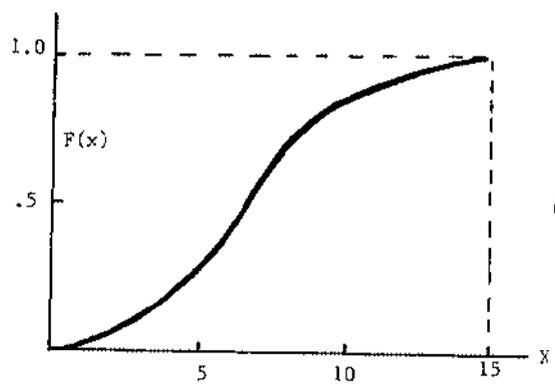


Figura 1. Gráfica de la distribución de probabilidad acumulada.

La d.p.a., $F(x)$ de toda variable aleatoria E , es tal que:

- i) es no decreciente
- ii) $\lim_{x \rightarrow -\infty} F(x) = 0$ y $\lim_{x \rightarrow \infty} F(x) = 1$; $x > 0$
- iii) es continua a la izquierda del punto x

La d.p.a., $F(x)$ de la v.a. x está dada por:

$$f(x) = P(E(a) \leq x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \text{ y consecuentemente}$$

$$\frac{d}{dx} F(x) = f(x)$$

2.1.3. Medidas de tendencia central

Reyes (1982) dice que en una población o en una muestra, tres son los parámetros de posición: La moda, la mediana y la media.

Así mismo éste autor define cada una de ellas de la siguiente manera:

- i) MODA. Es una constante que indica el valor de clase más frecuente
- ii) MEDIANA. Es un valor que divide a la población de dos grupos de igual número de individuos, cuando las observaciones se han ordenado por su magnitud creciente.
- iii) MEDIA. Medida de valor central que da información más precisa y alrededor de la cual se distribuyen las observaciones individuales. Su valor es un promedio aritmético de todos los individuos en estudio, siendo éste valor el más útil y común (Moreno y Jauffred, 1973; y Steel & Torrie, 1985).

2.1.4. Medidas de dispersión

Al estudiar dispersiones con una misma media éstas pueden diferir según que los valores de las observaciones estén dispuestas amplia o diversamente a cada lado de la media y para definir ésta característica se utiliza los parámetros de dispersión.

- i) RANGO. Es la amplitud de variación, es una diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo observado.
- ii) VARIANZA Y DESVIACION ESTANDAR. Es la más útil y común y se define como un momento de segundo orden respecto a la (y), se representa como: S_x^2 . De ésta manera la varianza (S_x^2) del conjunto de valores x_1, x_2, \dots, x_n , está dada por:

$$S_x^2 = M_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

y si los valores están agrupados resulta:

$$S_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m (t_j - \bar{x})^2 f_j$$

A la raíz cuadrada de la varianza se le llama desviación estandar, esto es:

$$S_x = \sqrt{M^2}$$

iii) COEFICIENTE DE VARIACION. Se usa para valores más concisos, ya que la desviación estandar por sí sola puede conducir a conclusiones erróneas y está dada por:

$$CV = \frac{S_x}{\bar{X}}$$

Una desventaja que tiene el coef. de variación es de que tiene poca utilidad como una medida de dispersión, cuando \bar{x} está muy próxima a cero (Moreno y Jauffred, 1973; Reyes, 19 ; Steel & Torrie, 1985 y Yamane, 1979).

2.1.5. Esquemas de muestreo

Un suelo constituye una población descrita por ciertas características que podemos denotar por Y_1, Y_2, \dots, Y_p . Esta población (Y) tiene una distribución probabilística dependiente de parámetros; esto se podría expresar matemáticamente de la siguiente manera:

$$Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_p)^t$$

Los parámetros son valores verdaderos de las características (por lo general valores promedio) y deben ser estimados. Esta estimación debe enfrentar la gran variabilidad de las mismas, ya que siendo el suelo un cuerpo tridimensional presenta variación en cualquier dirección (González, 1985).

Así mismo González (1985), define las formas para estimar los parámetros del suelo, en tres esquemas de muestreo de suelos, que son:

i) Muestreo aleatorio simple (MAS). Es un esquema de muestreo mediante el cual toda muestra posible de tamaño "n" tiene la misma probabilidad de ser seleccionada.

ii) Muestreo aleatorio estratificado (MAE). Si se tiene una población que se compone de sub-poblaciones como sería el caso de las series de suelos en un mapa, se utiliza MAE. Bajo éste esquema se toma una muestra aleatoria simple en cada subpoblación o estrato por dos razones:

- a) para poder inferir hacia cada subpoblación, y
- b) para aumentar la precisión de los estimadores sobre la población (lo cual sucede si la unidad de muestra dentro de cada estrato son homogéneas y heterogéneas entre estratos).

iii) Muestreo sistemático (MS). En este esquema se localizan los puntos de muestreo a intervalos regulares en una cuadrícula. Para el muestreo de suelos debe considerarse el MS en dos dimensiones y se deben tomar todas las unidades muestrales que aparezcan en cada intersección de la cuadrícula (ver Fig. 2).

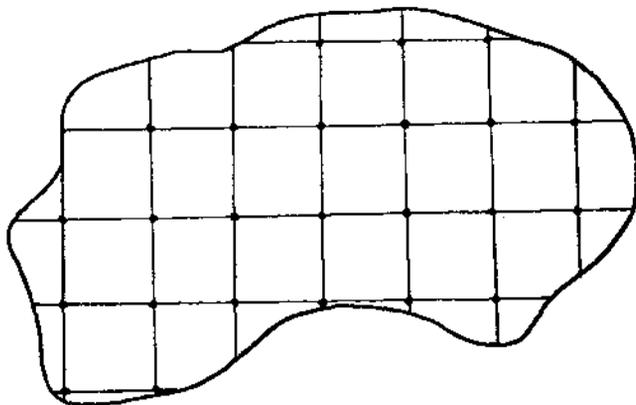


Fig. 2. Esquema del muestreo sistemático.

En general, se acepta que las muestras obtenidas por MS son más precisas que las obtenidas por MAS y MAE, si la correlación entre puntos de muestra decrece exponencialmente con la distancia entre éstos (González, 1985).

2.1.6. Métodos de análisis multivariados

Los métodos de análisis multivariado tienen una propiedad en común, de tener adaptabilidad para análisis de datos multidimensionales y revelar información acerca de correlaciones entre grupos de variables. También son caracterizados por una separación significativa de variables simultáneas altamente correlacionadas (Kendall, 1975 y Orloci, 1978).

Szocs (citado por Orloci, 1978) menciona las características más importantes de los métodos multivariados:

- i) Los métodos multivariados usan datos multidimensionales
- ii) No tienen por regla asociar diferentes variables con diferentes valores importantes a priori
- iii) Se ocupan con variables correlacionadas en un sentido amplio
- iv) Asumen las funciones tomadas de varias correlaciones
- v) Puedan o no requerir suposiciones a cerca de la estructura fundamental de los datos
- vi) Son paramétricos en sentido amplio porque utilizan valores de las observaciones reales
- vii) Normalmente asumen una estructura de datos de tal manera que éstos no hacen dimensión del tiempo.
- viii) Consumen demasiado tiempo para el cálculo y relativamente poco para el cómputo electrónico.

Así mismo, Goodman (citado por Andrade, 1985) dice que los métodos multivariados, tienen una gran ventaja de hacer comparaciones simultáneas entre muchas poblaciones de tamaño grande, con base en un buen número de caracteres.

2.1.6.1. Supuestos

i) Mientras mayor sea el número de características en la clasificación mayor semejanza se reflejará entre las entidades.

ii) A priori cada uno de los caracteres empleados tiene igual peso en la creación de grupos naturales

iii) La semejanza o afinidad total entre cualquiera de las dos unidades, es una función de la semejanza individual de cada uno de los caracteres en los cuales se basa la comparación.

iv) Se pueden crear diferentes grupos debido a la diversidad de correlaciones entre los caracteres de las poblaciones bajo estudio (Sokal y Sneath y Sneath y Sokal citados por Andrade, 1985 y Sneath y Sokal citados por Sánchez, 1987).

2.1.6.2. Correlación canónica

Hotelling en 1936 (citado por González, 1986) publicó un artículo sobre las relaciones entre dos conjuntos de variables, en el cual desarrolla el análisis canónico como un método para encontrar la forma en la que un conjunto de variables puede ser predicho a partir de otro grupo en la forma más precisa. Es decir, dados dos conjuntos de variables encontrar combinaciones lineales de ellas tal que tengan máxima correlación (Fig. 3).

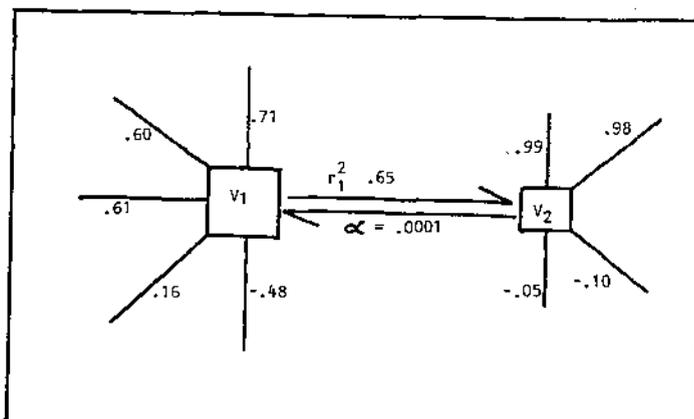


Fig. 3. El análisis de correlación canónica sirve para explicar la variación de un grupo de variables en función de las variables del otro grupo y viceversa (González, 1985).

La importancia estadística del análisis de correlación canónica radica en el hecho de que resumen las relaciones entre conjuntos de variables y parámetros (Kshirsagar; citado por González, 1986).

Así mismo, Gettins (citado por González, 1986) dice que un hecho importante que hace que el análisis de correlación canónica recobra importancia es que éste, conduzca a muchas de las conocidas técnicas multivariadas.

2.1.6.3. Análisis por discriminantes canónicos

Esta técnica de análisis está estrechamente relacionada al análisis de componentes principales. Se basa en dos supuestos principales que son:

- i) Distribución normal de las variables independientes consideradas (normalidad multivariada).

ii) Se conocen los grupos a priori, o después de haberlos ordenado para facilitar su interpretación (Legendre y Legendre, citados por Andrade, 1935).

De esta manera el objetivo principal de éste método es el de conocer nuevos objetos en dos o más conglomerados previamente definidos por las variables cuantitativas en estudio (SAS, 1982, Legendre y Legendre, citados por Andrade, 1935).

Para lograr el objetivo anterior este procedimiento deriva una combinación lineal óptima de aquellas variables que presentan la correlación múltiple más alta posible con los grupos de tal manera que resume la varianza entre grupos.

Dicha combinación lineal intenta describir gráfica y algebraicamente la relación existente entre una variable dependiente y varias variables independientes con fines de discriminación (SAS, 1982, Kleinbaum y Kupper, citados por Andrade 1935, Y Sánchez, 1937).

2.1.7. Estadística no paramétrica

En una gran cantidad de datos recolectados no es fácil especificar la distribución original. Para operar con tales datos necesitamos, estadística de distribución libre, es decir, procedimientos que no dependan de una distribución original entonces ordinariamente no trataremos con parámetros. La estadística no paramétrica compara distribuciones y no parámetros. Estas estadísticas pueden ser sensibles a cambios en localización, dispersión o en ambos (Steel & Torrie, 1935; Infante, 1980; Infante y Zárate, 1984).

Así mismo, estos autores mencionan la eficiencia de los procedimientos no paramétricos es bastante alta para muestras pequeñas p.e. para $n = 10$, esta decrece a medida que "n" crece. Por otra parte, la eficiencia puede no ser importante para muestras muy grandes, así como el objetivo que se persiga y el grado de exactitud.

2.1.7.1. Ajuste de distribuciones

Ajustar un modelo a una distribución empírica es pasar de una variable observada, es decir, de un caso particular a un modelo que elimina los detalles poco significativos, el proceso consiste en:

- i) emitir una hipótesis sobre la ley seguida por la distribución observada
- ii) verificar la diferencia entre la distribución observada y esta ley
- iii) aceptar esta ley como modelo o buscar otra nueva

A una misma distribución observada pueden ajustarse varias leyes de distribución. Los parámetros de variables ajustadas por una misma ley resultan ser directamente comparables.

La suavización de una distribución observada es un inicio de modelización. La segunda etapa consiste en ajustar una distribución teórica (ley) de probabilidades a una distribución observada (Chadule, 1980).

2.1.7.2. Pruebas de bondad de ajuste

Este tipo de pruebas sirven para saber la forma de la distribución y no tanto acerca de sus parámetros. Es decir, deseamos probar la hipótesis de que los datos muestrales provienen de una distribución específica.

2.1.7.2.1. Prueba de Kolmogorov-Smirnov. Esta prueba fue desarrollada por Kolmogorov (citado por Steel & Torrie, 1985), para probar hipótesis acerca de distribuciones continuas con parámetros dados. Es considerada como conservadora, es decir $P(\text{rechazar } H_0/H_0 \text{ verdadera}) < \alpha$ tabulada, cuando se estiman los parámetros. También se le emplea para probar hipótesis acerca de distribuciones discretas. Para la prueba se necesita la distribución muestral acumulada y la distribución acumulada hipotética. El estadígrafo de prueba frente a alternativas bilaterales es:

$$D = \text{Sup} |F_n(\gamma) - F_o(\gamma)|$$

donde: $F_n(\gamma)$ es la distribución muestral acumulada y $F_o(\gamma)$ es la distribución acumulada en la hipótesis H_o . Hay que tomar el valor mayor (Sup) de las diferencias entre γ , del valor absoluto de la definición (Steel & Torrie, 1985; y Cordova, 1985).

2.1.7.2.2. Prueba de Johnson y Wichern

Esta prueba es usada para determinar normalidad a las observaciones de individuos que proceden de distribuciones continuas. Se aconseja utilizar ésta prueba cuando las muestras no son muy pequeñas, $n \geq 20$. Se realiza con la función normal estandarizada, la cual asigna probabilidades a cada valor o intervalo de éstos.

Para éste análisis se usan gráficas llamadas Q-Q, las cuales representan la distribución marginal de las observaciones muestreadas en cada variable. Siendo en efecto una graficación de los cuantiles, de la muestra (distribución empírica) contra los cuantiles que tendríamos si las observaciones estuvieran normalmente distribuidas (distribución teórica).

Cuando los puntos de éstas gráficas están situados cercanos a lo largo de una recta, ésto se acepta como normalidad de las observaciones, caso contrario, si los puntos se desvían de ésta línea recta. Por otra parte, el modelo de las desviaciones puede proporcionar un indicio acerca de la naturaleza de la normalidad.

En una distribución normal estandard de cuantiles (q_i), éstos son definidos por:

$$P\{Z < q(i)\} = \int_{-\infty}^{q(i)} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz = P(i)$$

donde: $P(i)$ = probabilidad de cada observación o intervalo
 $q(i)$ = cuantiles de la normal estandarizada

Es importante observar los pares de cuantiles (q_i, x_i) con su equivalente probabilidad acumulada. Si la distribución empírica y teórica son muy semejantes, esto puede ser una aproximación para saber que están relacionadas linealmente.

Las etapas para construir la gráfica Q-Q son:

- i) Ordenar las observaciones originales p.e X_1, X_2, \dots, X_n y su correspondiente valor de probabilidad $(1-\frac{1}{2n}), \dots, (n - \frac{1}{2n})/n$.
- ii) Calcular la normal estandar de cuantiles q_1, q_2, \dots, q_n
- iii) Gráficar los pares de observaciones $(q_1, x_1), (q_2, x_2), \dots, (q_n, x_n)$; y examinar lo exacto de los puntos con la línea recta.

Esta relación lineal puede calcularse mediante un coeficiente de correlación de los puntos de la gráfica. Esta prueba se considera estricta (poderosa) para examinar normalidad. Formalmente se rechaza la hipótesis de normalidad a un nivel de significancia α , si el coeficiente de correlación r_Q , es menor que el valor de tablas (Johnson y Wichern, 1982).

2.1.7.3. Ley de la distribución normal

Es inicialmente el modelo central de la teoría de los errores de medias y en consecuencia del muestreo. Midiendo un gran número de veces una misma cantidad (Q) se cometen errores accidentales debidos a una multitud de causas independientes, cada una de poca importancia pero de efectos aditivos. Las diferentes medidas de (Q) se distribuyen según la ley de Laplace-Gauss.

La función de densidad de probabilidades simples de una variable X definida de $-\infty$ a $+\infty$ queda determinada por la fórmula:

$$Y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - \bar{X})^2}{2\sigma^2}}$$

Ejemplo de su utilización está en fenómenos que resultan de la suma de numerosas causas aleatorias, como en: temperatura, caudal anual de grandes ríos, espesor de una capa de nieve, rendimiento de los cultivos, entre otras ya mencionadas (Steel & Torrie, 1985; Chadula, 1980; Moreno y Jauffred, 1973; Infante, 1980; Infante y Zárate, 1984; Spigegel, 1976; Hastings y Peacock, 1975 y Córdova, 1985).

2.1.7.4. Ley de la distribución Gama

La gama con n grados de libertad o gama incompleta (χ^2_v) varía de 0 a $+\infty$. Estas curvas son asimétricas extendidas hacia la derecha, pero se aproximan a una ley normal cuando el número de grados de libertad (parámetro de la ley) es superior a 30. Se utiliza p.e. en variables que no pueden tomar valores negativos y cuya media aritmética es <30 . Siguen una ley χ^2_v (siendo v igual a la media de la distribución) fenómenos como: distribución de lluvias mensuales, su función de densidad de probabilidad es:

$$Y = (x/b)^{c-1} \cdot \{e^{-x/b}\} / b\Gamma(c)$$

donde: $\Gamma(c)$ es la función gama con parámetro c .

$$\Gamma(c) = \int_0^{\infty} e^{-u} u^{c-1} du$$

2.1.7.5. Ley de la distribución exponencial

Se presenta cuando aparecen sucesos aleatoriamente en el tiempo o el espacio, presentando los intervalos que los separan una distribución exponencial. La curva de la distribución de densidad de probabilidad queda determinada por Me^{-Mt} ; donde e y t es el intervalo de espacio y tiempo respectivamente y M el número medio de sucesos por unidad de tiempo o espacio, la curva tiene forma de "J" invertida. Ejemplos de su utilización están dados en la duración entre

tormenta, duración entre crecidas de un río, etc. (Steel & Torrie, 1985; Chadule, 1980; Moreno y Jauffred, 1973; Infante, 1980; Infante y Zárate, 1984; Spigegel, 1976; Hastings y Peacock, 1975 y Córdova, 1985).

2.1.8. Geoestadística

La geoestadística es la práctica de las variables regionalizadas, concepto desarrollado por G. Matheron en 1955 (citado por Osuna, 1987). Así mismo, dice Osuna que aplicada a estudios edafológicos, parte de la base de que toda variable del suelo tiene una función de autocorrelación espacial. Los valores de la misma variable en dos puntos del suelo; X y $X+h$ están autocorrelacionadas, ligados por correlaciones por la siguiente ecuación:

$$C_K = f(X, X + h)$$

donde:

C_K = autocovarianza

x = variable en la coordenada x

h = distancia

Esta función de autocorrelación depende de la norma y dirección del vector h que separa dos puntos, y se caracteriza por un momento de segundo orden llamado semivariograma (Journal y Huijbregt citados por Osuna, 1987).

El problema es poder estimar el semivariograma a partir de información muestral. Para lograr ésta estimación es necesario introducir la hipótesis de estacionalidad. La función del semivariograma es continua, pero en la práctica en que se dispone de puntos muestrales se calcula a partir de ésto. A éste semivariograma descrito se le llama experimental, una vez que éste ha sido estimado, se le ajusta a un modelo teórico, con el que la teoría de las variables regionalizadas caracterizará la variación en espacio de la propiedad del suelo (Osuna, 1987).

Actualmente las propiedades físicas del suelo y del agua están empezando a ser más intensamente medidas en el campo. Con el objeto de examinar su variación en el espacio y así poder encontrar un tamaño óptimo de muestra con fines de extrapolación desde el punto de vista estadístico.

Algunos autores como Warrick y Nielsen (citados por Osuna, 1987) al considerar el estudio de las variables en el espacio de las propiedades físicas del suelo, recomiendan en forma práctica usar al menos 100 mediciones distribuidas uniformemente para decidir sobre el tamaño de la muestra para estimar la función de autocorrelación y el semivariograma.

Sin embargo, González Cossio (1985) dice que en situaciones prácticas éstas recomendaciones son difíciles de seguir especialmente cuando se consideran propiedades físicas del suelo difíciles de medir, como p.e. la conductividad hidráulica. Es necesario entonces diseñar una metodología para obtener una red de puntos de muestreo que permita estimar el semivariograma de distintas propiedades del suelo partiendo de un número limitado de datos experimentales.

2.1.9. Variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo

La física de suelos ha concentrado su atención en los últimos años en la determinación de la variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo a través de los parámetros estadísticos asociados con las características físicas de éste. La variabilidad espacial de un suelo se ha estudiado principalmente a través de: (González Cossio, 1985).

- i) El coeficiente de variación
- ii) Las funciones de densidad de probabilidad
- iii) Las funciones de autocorrelación y de variograma

2.1.9.1. Coeficiente de variación

Es útil para expresar la variabilidad sobre una base relativa como

la media y está dado por:
$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$$

A medida que el C.V. es mayor (100-300) se requiere un tamaño de muestra más grande para tener valores medios verdaderos. Camargo (1983) recopila valores estimados de medias, desviación estandar y coeficiente de variación, reportados por varios autores y los agrupa de acuerdo a cantidades relativas de variabilidad, en baja, media y alta como se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Valores estimados de medias, desviación estandar y coeficiente de variación. Tomado de Camargo (1983).

PARAMETRO	MEDIA	DESVIACION ESTANDARD	COEF. VARIACION
VARIACION BAJA			
1. Densidad aparente (gr/cm ³)	1.3	.09	6.9
2. Contenido de agua (%) a tensión cero (cm ³ /cm ³)	47	4.8	10
VARIACION MEDIA			
3. Arena/limo/arcilla (%)	53/28/19	15/9.1/6.8	28/32/36
4. Contenido de agua en % (g/g)	23/7.5	9.2/3.8	40/51
a 0.2 bar (cm ³ /cm ³)	32	5.4	17
a 2.2 bar (m ³ /cm ³)	34	4.1	12
a 15 bar (g/g)	4.5	1.4	31
5. Sortividad (cm/min)	2.6	23.5	9
VARIABILIDAD ALTA			
6. Conductividad hidráulica saturada (cm/hr)	14	26	190
7. Coeficiente de difusión aparente (cm/día)	370	2.4x10 ⁶	6.5x10 ⁶

2.1.9.2. Distribución de probabilidad

Nielsen et al.; Coelho y Cassell y Baver (citados por González Cossio, 1985) han encontrado que las propiedades físicas como son: densidad aparente, materia orgánica, contenido de arcilla, y contenido de humedad se distribuyen normalmente.

Por otra parte Bigger y Nielsen y Warrick et al. (citados por González Cossio, 1985) han determinado que la permeabilidad, la conductividad hidráulica saturada, el flujo de agua en el suelo, la velocidad de agua en los poros y el coeficiente de dispersión de solutos, están caracterizados por una distribución log-normal.

Siendo éstas dos distribuciones las más utilizadas para describir la variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo.

2.2. Mapeo de suelos

2.2.1. Cartografía

El objeto de la cartografía consiste en reunir y analizar datos y medidas de las diversas regiones de la tierra y representar éstas gráficamente a una escala reducida, pero de tal modo que todos los elementos y detalles sean claramente visibles (Raisz, 1978).

Por otra parte, Soto (1978) al respecto dice, que los recursos naturales ocupan un lugar en la tierra y es posible ubicarlos geográficamente a través de mapas, en donde se podrán medir y cuantificar. La ubicación y representación de los citados recursos ofrece la posibilidad de entender su origen, su magnitud y distribución y la relación que existe entre ellos. Aunque hay múltiples formas de representar ésta información una de ellas, quizás la que ofrece mayores ventajas, es la cartografía.

En muchos mapas solo se representa un determinado aspecto o elemento, por

otra parte, suelen representar detalles que no son realmente visibles por sí mismos como por ejemplo las fronteras (Raisz, 1978).

Otros autores al respecto dicen que un mapa debe ser un documento de base, objetivo, un estado de los lugares del medio natural que pueda ser utilizado con todos los fines posibles durante un tiempo largo como para que el suelo no haya combinado en forma sensible. Solamente bajo esta condición la cartografía edafológica justifica inversiones importantes (Douchaufour, 1975; Boul, Hole y MacCracken, 1981).

El establecimiento de un mapa de suelos necesita una fase preparatoria de estudio de documentos básicos, una fase de prospección sistemática y de establecimiento de los límites y finalmente una fase de representación definitiva (Douchaufour, 1975).

2.2.2. Representación de unidades cartográficas

En la elección de las unidades cartográficas que se deben representar no se pueden individualizar sobre un mapa superficies demasiado pequeñas so pena de hacerlo difícilmente ilegible. Se admiten que no se pueden representar regiones de 0.25 cm² es decir una ha en escala 1/20,000 y 25 ha en escala 1/100,000 (Dauchaufour, 1975) ahora bien, dice éste mismo autor, si hay superficies más pequeñas hay dos opciones.

- a) Eliminarlas
- b) Agruparlas en unidades vecinas

Cuando se opta por la segunda, se cartografía no ya unidades simples, sino unidades complejas, como: cadenas de suelos o catenas, secuencias sucesivas sin enlace genético y yuxtaposiciones.

Ahora bien, en la forma o método de representación se distinguen tres tipos: sintética, analítica y mixtas que se describen a continuación según Douchaufour (1975).

a) Sintética. Cada unidad se representa por un solo signo distintivo como: color, trama, o notación, etc.

b) Analítica. Se representan en las unidades para una clase apropiada todas las propiedades del suelo.

c) Mixta. Es una combinación de las dos anteriores.

Al final de la representación se debe realizar una memoria lo más posible detallada, e informar todo lo que no ha sido posible representar en el mapa.

2.2.3. Interpretación de mapas de suelos

Al leer los mapas y cartogramas de suelos se indica su escala y año de composición. Se estudian detalladamente los signos convencionales aclarando tipos, subtipos u otras taxas de suelos que se presentan en dicho mapa y de que manera están expresados (coloración, rayado, índices, código o clase) asociación de suelos, fases, procesos, etc. (Kaurichev, et al. 1984).

Así mismo Boul, Hole y McCracken (1981) al respecto dicen, que las interpretaciones de las clasificaciones de suelos y los mapas que los acompañan son la prueba suprema, puesto que las teorías, las hipótesis y supuestos conocimiento sobre suelos, expresados en el sistema taxonómico y representados gráficamente en las cartas de suelos, se comprueban gracias a éste proceso, en usos prácticos y aplicados.

La lectura de mapas y cartogramas comienza por la determinación del índice que los caracteriza, grado de erosión, solonetización, acidez, fases o características físicas notorias en el comportamiento del suelo (Kaurichev, et al. 1984).

Ahora bien, para que la investigación de suelos y su clasificación resulten

más útiles se deben interpretar y generalizar adecuadamente estos mapas y cartogramas. La interpretación y la aplicación técnica de las investigaciones y las clasificaciones de suelos tienen en primer lugar dos fases relacionadas reciprocamente. Una de ellas es la interpretación y generalización (según se requiera) de las unidades taxonómicas utilizadas como bases de los mapas más detallados que se están preparando. La segunda fase consiste en proveer la interpretación de las unidades de los mapas, aquí se debe incluir fases de las unidades taxonómicas, además de tomar en consideración las inclusiones taxonómicas en las unidades cartográficas (Boul, Hole y McCracken, 1981).

Así mismo éstos autores dicen que con la terminología propuesta por Orvedal y Ewards en 1941 se dice que la generalización cartográfica es la práctica de omitir líneas entre cuerpos de suelos que aparecen en los mapas detallados con el fin de reducir el número de detalles en las cartas o entre diferentes unidades taxonómicas.

Kaurichev et al. (1981) por otra parte menciona la utilidad de los materiales cartográficos edafológicos en otras disciplinas, siendo algunas de las siguientes:

- a) Evaluación y desarrollo agropecuario
- b) Campos de infiltración y recarga de agua
- c) Trazado de caminos y sus medidas antierosivas
- d) Planificación y creación de zonas de recreo
- e) Evaluación de terreno para la construcción
- f) Colocación de tuberías
- g) Lucha contra la erosión
- h) Protección del ambiente
- i) Desarrollo de poblados

- j) Búsqueda de acuíferos
- k) Evaluación de suelos para la producción agrícola
 - I) Pronóstico de la cosecha potencial
 - II) Evaluación de gastos de producción agrícola y forestal
 - III) Construcción de agroindustrias
 - IV) Evaluación de la fertilidad
 - V) Evaluación de riego y drenaje
 - VI) Sistemas de fertilización
 - VII) Evolución de suelos
 - VIII) Apreciación del suelo en el sistema: hombre-atmósfera-planta-animal-microorganismo-agua freática-roca edafogénica
 - IX) Evaluación y pronóstico de los énfasis ecológicos

2.2.4. Las cartas edafológicas de DETENAL

En éstas cartas se indica las regiones donde más frecuente se encuentra un tipo de suelo, además el tipo de vegetación que en condiciones naturales se desarrolla sobre ellos, y los usos y rendimientos que se pueden obtener en cada uno de los suelos. Especialmente en éste último aspecto de usos y rendimientos, las anotaciones son muy relativas, pues en el caso de rendimientos, no sólo están en relación con el tipo de suelos, sino con el manejo que se les dá.

Esto es, hay suelos más fértiles que otros, hay suelos que para ser usados en alguna actividad requieren de una inversión mayor que en otros y de éstos factores dependen los rendimientos. Pero al fin de cuentas el que sean altos, medios, o bajos pueden depender de que el manejo sea bueno, regular o malo. Así que las consideraciones que se hacen se deben entender en condiciones de un manejo, si no excelente al menos razonablemente bueno (SPP, 1979).

Además en estas cartas también se indican las fases físicas que impidan el

uso de maquinaria agrícola como fase pedregosa, gravosa, lética, petrocálcica, petrogypsica, durica, frágica, concrecionaria. O bien fases químicas que límitan o impiden el desarrollo de los cultivos.

Como son la fase salina con tres niveles: ligeramente, moderadamente y fuertemente salina; y una última fase la sódica.

También se indica la clase textural que se refiere al contenido de partículas de diversos tamaños en los 30 cm de profundidad como son: arenas, limos y arcillas, que corresponden a textura gruesa, media y fina respectivamente (SPP, 1979; y Orozco et al. 1977).

2.2.5. Predicción de rendimientos

En el futuro, es probable que las interpretaciones agrícolas incluyan también:

a) variabilidad y probable respuesta a la formación de terreno (modelado del suelo para producir un gradiente de inclinación más conveniente, retirar zonas de depresiones y permitir la utilización precisa de fertilización y productos agrícolas).

b) Productividad y comportamiento probable en un método de sistemas completo para la agricultura de alta intensidad, utilizando maquinaria pesada, labores mínimas, control químico de malezas, etc. (Boul, Hole y MacCracken, 1981).

Relacionado con éste segundo punto, Spher en 1969 (citado por Boul, Hole y MacCracken, 1981), utilizando un método en Carolina del Norte para predecir los rendimientos de maíz. En este método se tomaron datos amplios sobre rendimiento de parcelas, junto con datos completos de análisis de suelos, manejo y precipitación pluviales para cada una de las parcelas. Mediante técnicas de regresión múltiple y el uso de computadoras fue posible deducir las propiedades ambientales y de los suelos que mas contribuyeron en realidad

a las variaciones en los rendimientos de maíz.

Los resultados se han utilizado no solo para establecer niveles de rendimiento del maíz y potenciales de productividad en una región determinada, Sino, también para evaluar las unidades taxonómicas y reajustar sus límites definidos. Esto quiere decir, que no se han aceptado las series de suelo como algo dado y fijo. Sino que en base a las características dinámicas, se trata de determinar la posible reagrupación o separación de unidades de suelos (Baul, Hole y McCracken, 1981).

Así mismo predicen éstos autores que habrá más métodos cuantitativos completos para la interpretación de los suelos para la producción agrícola, puesto que la tecnología de la agricultura comercial moderna exigirá cada vez más información de este tipo.

2.3. Modelos de simulación del sistema suelo-planta-atmósfera

2.3.1. Generalidades

En tiempos relativamente recientes, se ha prestado una mayor atención a la influencia del clima en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, especialmente a la relación ambiental (FAO, 1980). Esta relación se estudia por medio de técnicas indirectas como son la simulación a través de la cual se representan todos los factores que influyen en un sistema cultivo-ambiente.

Baier (citado por FAO, 1980) clasifica los tipos de modelos de simulación en tres:

1. Modelos de simulación del crecimiento de los cultivos
2. Modelos de análisis cultivo-ambiente
3. Modelos estadísticos empíricos

Los primeros, los define como una representación simplificada del mecanismo físico-químico y fisiológico implícido en el crecimiento de las plantas.

Los egundos, se definen como el producto de dos o más factores cada uno de los cuales representa la relación funcional entre una respuesta particular de la planta y las fluctuaciones de determinadas variables en diferentes fases del desarrollo de las plantas.

En los terceros, una o más variables se ponen en relación con las respuestas del cultivo, para ésto se usan ecuaciones empíricas empleando métodos estadísticos, como: análisis de regresión. Su definición como modelo no es amplia.

De acuerdo a su funcionamiento, Crawford y Linsley (citados por Catalán, 1985) los clasifica en tres categorías: modelos físicos, analógicos y digitales. Actualmente con el desarrollo de las computadoras, los modelos digitales han desplazado a los físicos y analógicos. Los modelos digitales se basan en programas de cómputo para representar las interacciones de los componentes de un sistema a través de relaciones relativamente sencillas.

La simulación es una técnica usada en varios campos, como en hidrología, ingeniería industrial, en la construcción, ingeniería espacial y otras. De tal manera que ésta técnica se usa siempre que se desee administrar un recurso siendo necesario saber su cantidad y oportunidad. En los países sub-desarrollados existe una creciente necesidad de incrementar las superficies de cultivo, notándose de inmediato, la falta de información apropiada sobre el recurso agua que haga posible una predicción altamente eficaz de los rendimientos, en función de la disponibilidad de éste recurso en una región determinada (Moncada y Palacios, 1985).

2.3.2. Algunos modelos del sistema suelo-planta-atmósfera

La simulación del sistema suelo-planta-atmósfera, se utiliza en diferentes áreas como son la experimentación agrícola, la planeación y la programación de las actividades, sobre todo para afrontar condiciones climáticas difíciles de medir como son las variables estocásticas. Una de las restricciones de ésta técnica es la funcionalidad del modelo y la verosimilitud de los resultados depende del conocimiento exacto de los mecanismos que rigen los procesos del sistema que se modela (Rojas y Palacios, 1982).

Pissioura (citado por Fernández, 1986) menciona que una característica deseable de los modelos de simulación es que pueda ser sometido a prueba por lo que deben incluir solo variables que se puedan cuantificar sin ambigüedad. Al mismo tiempo Martínez (citado por Fernández, 1986) menciona que otras características deseables son: 1) que puedan ser utilizados en un rango amplio de condiciones de clima y suelo; 2) que sean confiables; 3) que utilicen mínimo de variables y parámetros; 4) que las variables tengan relación teórica con el proceso que simula; y 5) que sea posible introducirles cambios en uso y manejo del suelo.

Fernández (1986), describe algunos modelos de simulación, entre ellos:

1. El de Lemon et al. desarrollado en 1973, éste modelo predice el microclima así como algunos procesos fisiológicos. El modelo ayuda a resolver problemas de adaptación de plantas en lugares nuevos.

2. El de Nirrañ y Hanks desarrollado en 1979, llamado SPAC, el cual utiliza la evapotranspiración de una superficie libre de agua ajustada por un factor de cultivo, la absorción de agua es proporcional a la conductividad del suelo multiplicada por la densidad de raíz, la transpiración se obtiene a partir del potencial del agua en el suelo.

3. El de Goldstein y Markin desarrollado en 1979 llamado PROSPER, el cual funciona a nivel de cuenca.
4. El de Sudar et al. desarrollado en 1981, llamado SPAW, para estimar diariamente el contenido de agua y la evapotranspiración, usando datos de clima, suelo y cultivo.
5. El modelo de simulación suelo-planta-atmósfera de Mota (1983) para predecir el rendimiento de los cultivos en base a la deficiencia de humedad durante el ciclo de cultivo expresado como la relación entre la evaporación actual y la potencial.
6. Luque en 1984, utiliza el modelo de Rojas y Palacios (1982) y a la vez lo modifica con el fin de estimar escurrimientos superficiales en terre nos agrícolas.
7. Cruz en 1986, utilizó el modelo de Luque (1984) con el fin de estimar rendimientos en los cultivos de secano.
8. El modelo de Rojas y Palacios (1982), es un modelo que puede predecir los rendimeintos asociados a cada fecha de siembra en combinación con el tipo de suelo y cultivo. Este modelo efectúa un balance de humedad por estrato a nivel diario.

Otros modelos que analizan las relaciones del sistema suelo-planta-atmósfera con mayor detalle son aquellos que realizan un balance hídrico del suelo, entre los cuales se pueden señalar el de Ritchie en 1972 para predecir la evapotranspiración máxima de los cultivos que no han alcanzado la madurez. En 1973 Richardsen y Ritchie proponen un modelo para estimar la evapotranspiración diaria, evaluar el drenaje y la humedad del suelo en pequeñas cuencas sembradas con cultivos anuales (Rojas y Palacios, 1982).

Algunos modelos utilizan como variable independiente el agua evapotranspirada (total o parcial) durante el desarrollo del cultivo como son los modelos desarrollados por Yaron 1961, el de Chang en 1967 y el de Norero en 1974 (citados por Fernández, 1986). Otros consideran como variable independiente la fracción de humedad aprovechable consumida o remanente (Palacios y Martínez, 1978; Rojas y Palacios, 1982; Luque, 1984; y Cruz, 1985).

2.3.3. Importancia de la humedad en zonas de temporal

Uno de los factores más importantes en la producción de los cultivos es el agua, por lo que la falta de ésta en la zona radicular, provoca en las plantas el desarrollo de tensiones hídricas que alteran sus funciones lo cual según Kramer (1974) se expresa como un desequilibrio fisiológico.

Por otra parte Norero (citado por Inzunza, 1986) señala que la cantidad y oportunidad de agua en el ciclo vegetativo de los cultivos, en interacción con las características hidrodinámicas del suelo y con el enraizamiento vegetal, afectan todo el equilibrio hídrico del cultivo. La falta de agua para mantener sin restricciones la transpiración de las plantas es una de las causas más serias y frecuentes del bajo rendimiento de las plantas cultivadas.

Cuando los cultivos se someten a un déficit hídrico, particularmente el maíz y el frijol en las etapas de crecimiento vegetativo, de floración y de madurez fisiológica, la producción de grano fue la característica más afectada por los efectos de la tensión de humedad del suelo en éstos períodos reduciendo su rendimiento de grano en un 25,50 y 21% para maíz (Denmead, citado por Inzunza, 1986) y hasta de un 65% en floración y un 20% en etapas más tempranas para frijol (Mojarro citado por Palacios, 1982).

Los factores climáticos establecen una demanda evapotranspirativa, mientras tanto, los factores edáficos y de la planta regulan la oferta de agua

en éste proceso (Palacios, 1982).

Por otra parte Kramer (1974) señala que las principales fuerzas que contribuyen el potencial hídrico en el suelo, son las que van asociados a las características osmóticas de la solución del suelo y las que afectan a la presión total sobre el agua del suelo.

2.3.4. El modelo de Palacios

En base a estimaciones numéricas se elaboró un algoritmo que permite simular el comportamiento del sistema (Ver diagrama de flujo en la Fig. 4).

Este modelo de simulación digital puede funcionar bajo dos condiciones de operación: calibración y simulación.

Por otra parte, efectúa un balance de humedad diaria del suelo sin cultivo y por otro lado, cuando las condiciones de humedad lo permiten, simula el desarrollo del cultivo hasta estimar un rendimiento y para lograr esto se debe de suministrar al modelo la información concerniente a los tres subsistemas: suelo-cultivo-clima (Rojas y Palacios, 1982; Luque, 1984; y Fernández, 1986).

2.3.4.1. Limitaciones del modelo

Las principales limitaciones del desempeño de los modelos de simulación se derivan de los supuestos y simplificaciones necesarias para la estimación de algunos procesos y que con esto brinden a cambio sencillez y funcionalidad al modelo. Así mismo, Rojas y Palacios (1982) mencionan los principales supuestos y simplificaciones:

- a) Se considera que el suelo tiene un perfil homogéneo
- b) No existe contribución a la humedad desde el manto freático. Esta es la situación de la mayoría de las áreas de temporal con regimen de precipitación escaso.

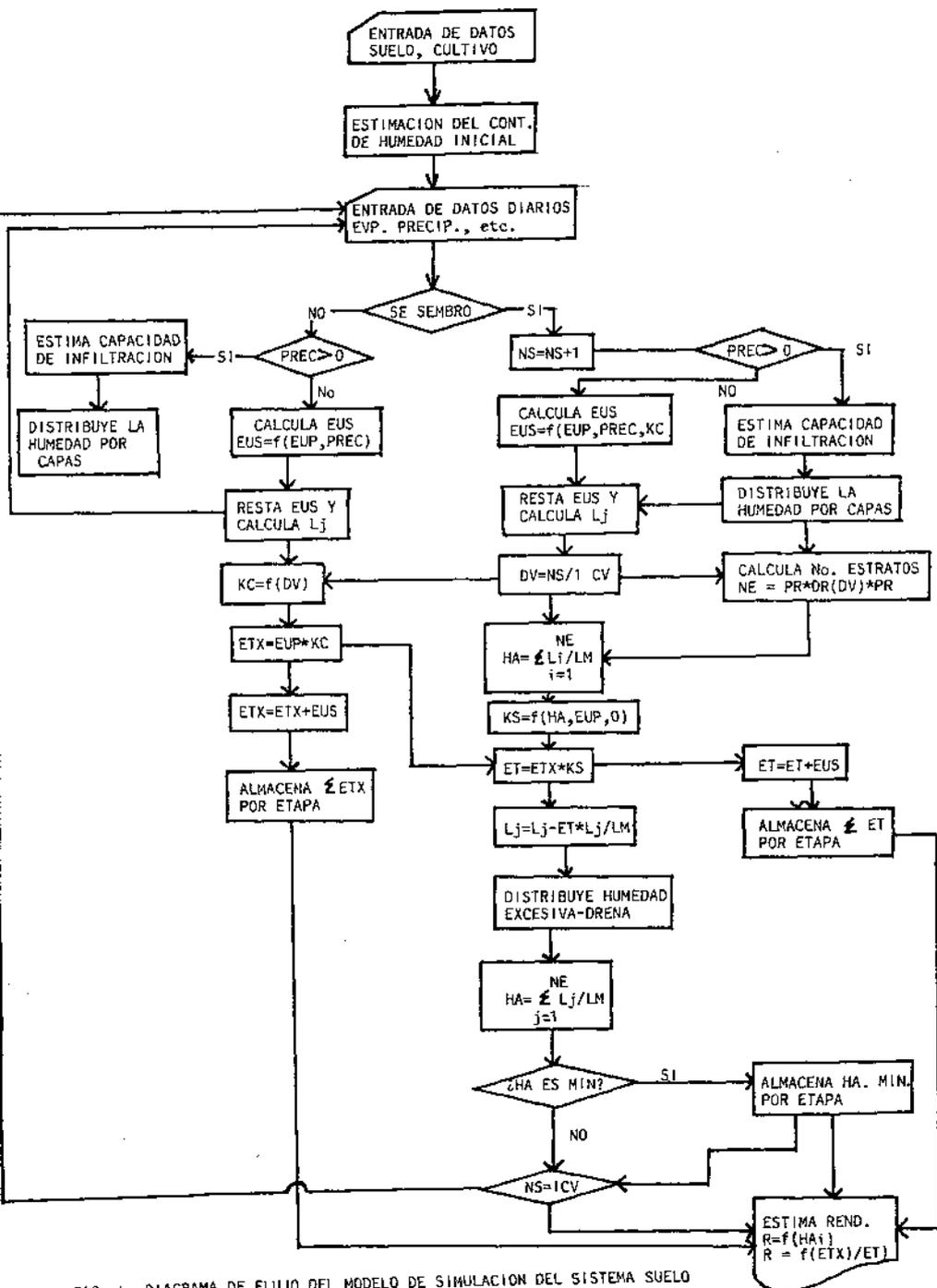


FIG. 4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO DE SIMULACION DEL SISTEMA SUELO PLANTA-ATMOSFERA (CRUZ, 1985).

- c) En ausencia de manto freático, el principal mecanismo de distribución de la humedad del suelo es el movimiento gravitacional. En consecuencia no se considera la distribución accionada por diferencias de potencial hídrico en diferentes puntos del suelo. Esta condición puede causar una baja concordancia con la realidad cuando se trata de suelos pesados.
- d) Para las condiciones del modelo, se supone que tanto el crecimiento radical, como el incremento de la demanda evapotranspirativa del cultivo solo dependen de la edad de éste. En la realidad se observa que de acuerdo al perfil hídrico que sufre un cultivo, su crecimiento puede disminuir y hasta detenerse, por lo que el desarrollo radical y el área foliar no dependen únicamente de la edad del cultivo.
- e) Los únicos factores aleatorios que se suponen que gobiernan la producción de un cultivo son la humedad del suelo, la evapotranspiración y las temperaturas mínimas. Esto deja como fijo los demás factores que afectan la producción de un cultivo. Resulta conveniente usar un valor para rendimiento en forma relativa.
- f) La demanda evaporativa de la atmósfera es representada por los valores de evaporación media en taque tipo A. Lo cual permite la gran simplicidad del modelo y mayor posibilidad de aplicación.
- g) De los procesos que simula el modelo los de infiltración y estimación de rendimiento con la opción de la fracción de la humedad aprovechable constituyen los que más cuidados exigen en la selección de los parámetros y la calibración ya que implican un alto nivel de simplificación. El hecho de que el modelo no considera ciertas restricciones de tipo planta-ambiente (Plagas, enfermedades, temperatura, fotoperíodo, etc)

durante las etapas fenológicas del cultivo restringe la evaluación de cultivares que no se adapten a las condiciones generales del ambiente para una región dada.

2.3.4.2. Infiltración

La infiltración es uno de los procesos más importantes del modelo, ya que de ésta, depende la humedad, que en determinado momento el suelo pueda tener. De acuerdo a factores del suelo y a la intensidad con que caiga la lluvia, puede suceder que toda se infiltre, y quede almacenada en la zona de exploración radicular o que una parte se percole y/o escurra superficialmente. Generalmente se ha considerado que la principal dificultad para determinar la cantidad de lluvia que efectivamente es usada por las plantas en el proceso evapotranspirativo, es evaluar la parte que de ésta se infiltra en los suelos, dada la gran variedad de texturas, existentes en una región, así como la variación de la intensidad de lluvia durante el desarrollo del cultivo (Luque, 1984).

Así mismo Luque (1984), menciona que si se cuenta con funciones de respuesta para un determinado cultivo a diferentes niveles de humedad en sus etapas fenológicas y además un grado de fertilización, es factible con modelos de simulación del sistema suelo-planta-atmósfera, además de obtener balances de humedad poder predecir rendimientos relativos. Siendo de mucha utilidad en planeación agrícola, donde esta actividad depende del agua de lluvia.

Rojas y Palacios (1982), dicen que para trabajar en agricultura con éstos modelos se supone que la variable capacidad de infiltración, en cualquier punto de la superficie tiene una capacidad de infiltración mayor a cero.

La Fig. 5 ilustra la forma en que el modelo simula la infiltración. La lluvia (p) proporciona cierta lámina de humedad; de ésta, una parte se puede

perder como escorrentía y la otra se infiltra. Las capacidades de infiltración dependen del tipo de suelo y de su contenido inicial de humedad.

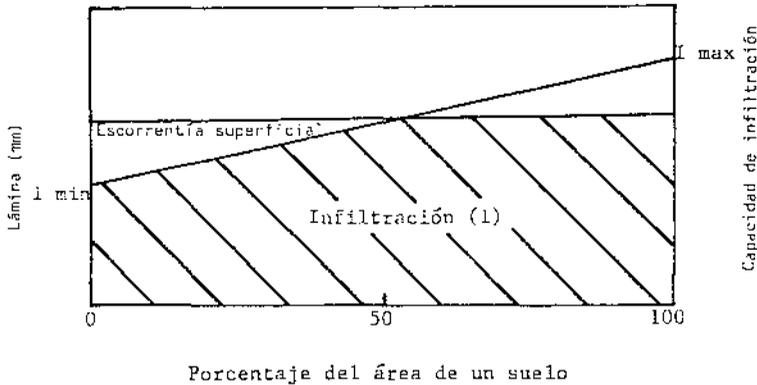


Fig. 5. Representación gráfica de la estimación de la lámina de infiltración (Rojas y Palacios, 1982).

Luque (1984) cita las suposiciones básicas incluidas en el modelo relacionadas con la entrada y distribución del agua en el suelo, que a continuación se exponen:

- 1) Existe una máxima capacidad de infiltración en un suelo cuando está seco
- 2) Se considera suelo seco aquel cuyo contenido de humedad aprovechable de la capa superficial es cero.
- 3) Cuando el suelo se satura tiene una mínima capacidad de infiltración.
4. Se considera suelo saturado cuando el contenido de humedad es 1.8 veces la capacidad de campo.

- 5) Entre suelo seco y suelo saturado la cantidad de agua que se infiltra varía linealmente.

La infiltración básica que considera el modelo es:

- a) Suelos muy permeables..... 3.8 a 7.6 mm/h
- b) Suelos con permeabilidad media..... 1.3 a 3.8 mm/h
- c) Suelos poco permeables < de 1.3 mm/h

Esta clasificación fue hecha por W. Musgrave citado por Luque (1984) en base a la dificultad de obtener información detallada sobre suelos.

Por otra parte, la lámina infiltrada se almacena en el primer estrato del suelo, el cual se considera dividido en estratos de 10 cm, a menos que el estrato haya alcanzado un 90% de saturación (Saxton et al. citado por Rojas y Palacios, 1982); en éste caso, el exceso pasa al siguiente estrato con la misma restricción.

2.3.4.3. Movimiento de agua en el suelo

El movimiento de agua dentro de los suelos controla no solamente el coeficiente de infiltración, sino también el coeficiente de abastecimiento a las raíces, éste movimiento de agua corresponde a dos tipos: flujo saturado y flujo sin saturar.

La diferencia principal consiste en que en suelos saturados, la gravedad controla el gradiente de potencial hídrico, mientras que en suelos no saturados éste es controlado por el potencial mátrico y el agua se mueve en películas que rodean a las partículas del suelo y no mediante un flujo de gravedad por los poros (Kramer, 1974).

Por otra parte, Aguilera y Martínez (1986) señalan que existen varios factores que determinan que el agua se mueva en el suelo, entre ellos están:

La cantidad de agua aplicada, la capacidad de infiltración, la conductividad hidráulica de los horizontes inferiores y la cantidad de agua que el suelo puede retener.

2.3.4.4. Evaporación

La tasa de evaporación varía dependiendo de factores meteorológicos y de la superficie evaporante. Esta tasa de evaporación desde una superficie del suelo saturado es aproximadamente igual a la evaporación desde una superficie de agua cercana a la misma temperatura. Al comenzarse a secar el suelo la evaporación disminuye y su temperatura aumenta para mantener el balance de energía. Eventualmente la evaporación cesará pues no existe un mecanismo efectivo para transportar el agua desde una profundidad apreciable (Linsley, et al. 1984; y Aguilera y Martínez, 1986).

2.3.4.5. Estimación de rendimiento

Para estimar el rendimiento, Rojas y Palacios (1982) mencionan dos métodos: a) en función de la evaporación relativa y b) en función de la humedad relativa aprovechable que queda en el suelo o su complemento. Para el funcionamiento del modelo de simulación desarrollado por Rojas y Palacios (1982) se usa la segunda, en base a una función polinomial obtenida empíricamente.

2.4. Conclusiones de la revisión de literatura

En la presente revisión de literatura se intenta tener antecedentes suficientes que expliquen las propiedades dinámicas de los suelos en las cuales se basan la variabilidad las propiedades físicas y la predicción de rendimientos, por lo que, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. La estimación de las características físicas del suelo se enfrenta a la gran variabilidad de éstas ya que siendo el suelo un cuerpo tridimensional presenta variación en cualquier dirección.
2. Los métodos de análisis multivariados tienen una propiedad en común de tener adaptabilidad para análisis de datos multidimensionales y de revelar información a cerca de correlaciones y la separación significativa de variables severamente correlacionadas simultáneamente.
3. La variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo se estudian a través de el coeficiente de variación, las funciones de densidad de probabilidades, las funciones de autocorrelación y las funciones variograma.
4. La estadística no-paramétrica compara distribuciones y no parámetros siendo la eficiencia de los procedimientos bastante alta para muestras pequeñas, $n < 10$; decrece a medida que "n" crece. Por otra parte, la eficiencia puede no ser importante para muestras muy grandes.
5. Las pruebas de bondad de ajuste sirven para saber a que distribución (Ley) teórica se ajustan los datos originales.
6. Las observaciones provenientes de fenómenos los cuales resultan de la suma de diversas causas aleatorias y en caso particular del rendimiento de los cultivos, se ajustan a una distribución normal.
7. La distribución Gamma se usa para datos de precipitación pluvial mensual o anual.
8. La distribución exponencial se usa para observaciones que provienen de sucesos aleatorios en tiempo o espacio.
9. La geoestadística es la práctica de las variables regionalizadas, parte de la base de que toda variable del suelo tiene una función de autocorrelación.

relación espacial, dependiendo esta, de la norma y dirección de un vector que separa dos puntos y se caracteriza por un momento de segundo orden llamado semivariograma, herramienta fundamental de la geoestadística.

10. La cartografía es básica para ubicar y representar los recursos naturales de una región ofreciendo la posibilidad de entender su origen, su magnitud, su distribución y su relación entre ellos.

11. Al representar las unidades cartográficas, no se puede individualizar superficies demasiado pequeñas, so pena de hacerlo demasiado ilegible. Se admite que no se pueden representar regiones de $.25 \text{ cm}^2$ es decir una ha en escala 1/20,000.

12. Todos los suelos agrupados en una unidad cartográfica tienen limitaciones y problemas de manejo de la misma categoría, pero pueden ser de diferente grado.

13. Usando la cartografía como base se pueden estimar rendimientos de los cultivos para establecer niveles de rendimiento y potenciales de productividad en una región determinada, así como también, para evaluar las unidades taxonómicas y reajustar sus límites definidos y en base a las características dinámicas determinar la posible reagrupación o separación de las unidades de suelos con fines de manejo.

14. Los modelos de simulación, específicamente el de Rojas y Palacios (1982) estiman el rendimiento de un cultivo en base al balance de humedad relativa aprovechable diaria en el suelo.

15. La simulación es una técnica usada en varios campos, no solo en agricultura, sino en áreas de otras disciplinas como en los sistemas de producción industrial.

16. El modelo predice los rendimientos aceptablemente en regiones de escasa precipitación y con suelos de textura ligera a franca.

17. El rendimiento es afectado principalmente en etapas críticas de la fenología del cultivo, como son floración y llenado de grano.

18. Los únicos factores aleatorios que se suponen gobiernan la producción de un cultivo son: la humedad aprovechable del suelo, evapotranspiración y las temperaturas mínimas. Los demás factores se dejan como fijos, por lo cual es conveniente emplear un valor específico en forma relativa.

19. Los procesos más importantes en el modelo de Rojas y Palacios (1982) son la infiltración y la evapotranspiración bajo los siguientes supuestos:

- a) Se considera que el suelo tiene un perfil homogéneo
- b) No existe contribución a la humedad desde el manto freático.
- c) El principal mecanismo de distribución de la humedad del suelo es el movimiento gravitacional
- d) Se supone que tanto el crecimiento radical como el incremento de la demanda evapotranspirativa del cultivo solo dependen de la edad de éste.
- e) La demanda evaporativa de la atmósfera es representada por los valores de evaporación media en tanque tipo "A".
- f) El rendimiento está basado en la fracción de la humedad aprovechable relativa del suelo en base a una función polinomial empírica.

III. OBJETIVOS, HIPOTESIS Y SUPUESTOS

3.1. Objetivos

1. Conocer la variación de algunas propiedades físicas y del rendimiento de maíz por unidad de suelos.
2. Hacer una clasificación de manejo de suelos tomando como unidad de trabajo las propuestas por Detenal.
3. Predecir el rendimiento de maíz en una unidad cartográfica de Detenal usando un modelo de simulación.

3.2. Hipótesis

1. Se puede hacer una clasificación de manejo de suelos tomando como unidad de trabajo las propuestas por Detenal.
2. Se puede predecir el rendimiento relativo del maíz en una unidad cartográfica de Detenal.

3.3. Supuestos

1. La variación de las propiedades físicas del suelo son representativas de las unidades cartográficas seleccionadas.
2. Las unidades cartográficas tienen hasta un 50% de contaminación.
3. El modelo simula el contenido de humedad en el perfil del suelo.
4. La producción está en función del balance favorable de humedad del suelo en etapas críticas del cultivo.

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1. Localización del área de estudio

El área de estudio está localizada al sur del estado de Zacatecas, en el municipio de Jalpa. Geográficamente se encuentra entre los paralelos 21°30' y 21°45' latitud norte y entre los meridianos 102°54' y 103°05' longitud oeste con una altitud media de 1780 msnm (ver Figura 6).

4.2. Descripción ecológica del área de estudio

Las características ecológicas de una región están determinadas por los factores físicos como son: el clima, suelos y vegetación

4.2.1. Clima

El clima que prevalece en la zona de estudio según el sistema de Koeppen modificado por García (1981), corresponde a un clima de tipo BS₁hw(w)(e); semi-seco, con lluvias en verano y con una precipitación en invierno menor de 5% de la total anual y semi-cálido con el mes más caliente de 18°C con una oscilación térmica entre los 7 y 14°C.

4.2.2. Suelos

Según las cartas edafológicas de Detenal, las unidades de suelos predominantes son los fluvisoles eútricos, castañozem cálcico, feozem háplico, regosol cálcico, luvisol crómico y cambisol cálcico.

La geoforma del terreno que en conjunto forma un cañón, tiene como facetas a la meseta, el cantil, el talud, el declive, la planicie y el cauce (Ortíz, 1984).

Las geoformas que se seleccionaron para realizar el presente estudio, fueron aquellas en donde por su pendiente se puede practicar agricultura, siendo el declive ligero y plano con microrelieve en surcos y mogotes.

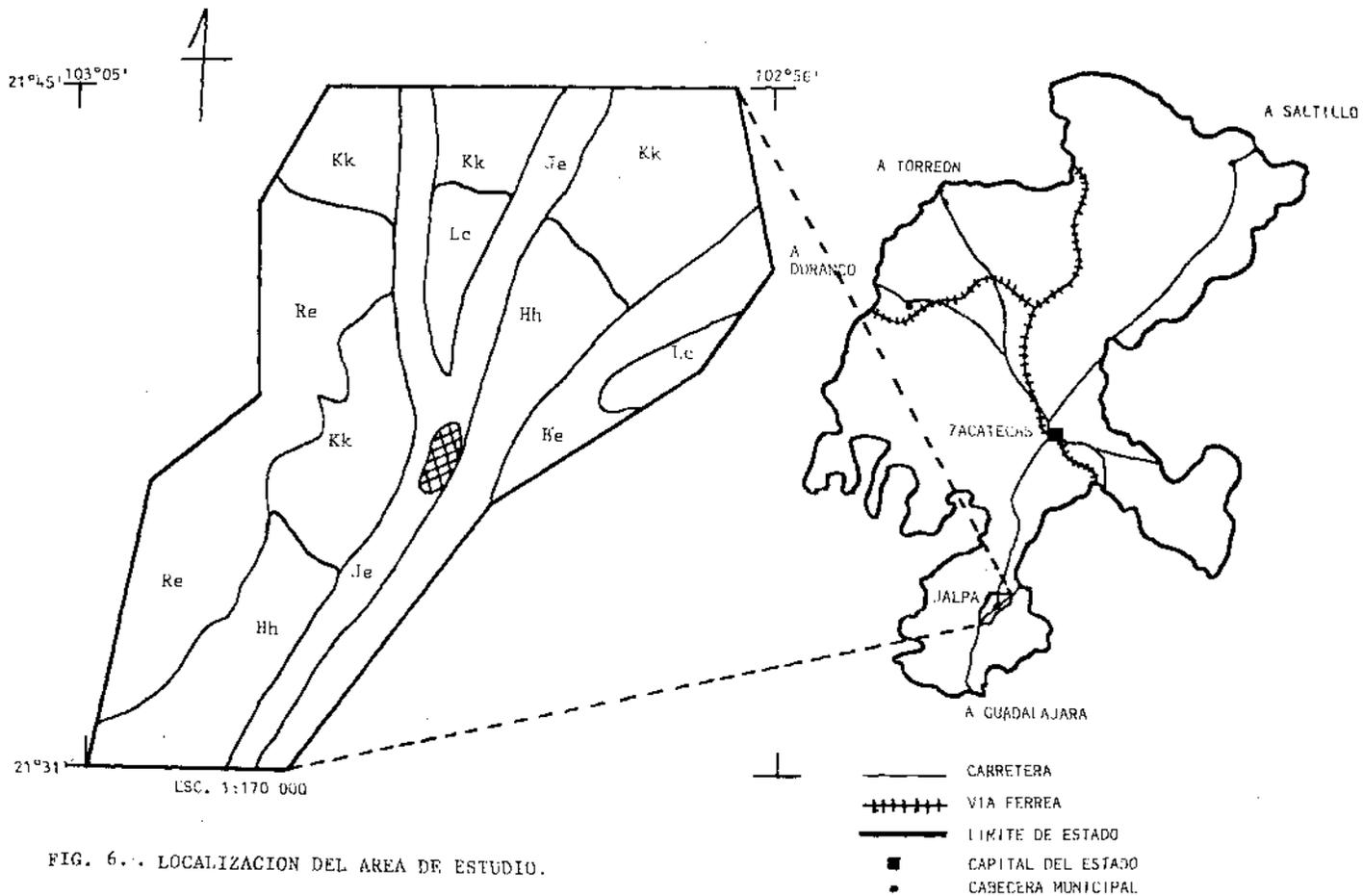


FIG. 6. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.

La pendiente en la mayoría de los casos es regular y menor del 5% para el área de estudio.

Las rocas predominantes al norte del área son de tipo ígneas, mientras que para el centro y sur predominan las sedimentarias.

La textura en la mayoría de los suelos es de media a fina. Son suelos delgados a moderadamente profundos.

El río Juchipila es la corriente superficial permanente que cruza el área de estudio.

El uso de la tierra es agrícola y ganadero. La mayoría de los suelos están destinados a cultivos de temporal como maíz, frijol y sorgo. En terrenos con pendiente mayor de 5% son ocupados con cultivos de riego como la guayaba, mientras que terrenos planos como fluvisoles bajo riego son dedicados a cultivos de alfalfa u hortalizas.

4.2.3. Vegetación

Según DETENAL la vegetación predominante es matorral inerme, matorral sub-inerme, pastizal natural, nopalera y de galería, en éste orden de importancia.

4.3. Materiales

Para el trabajo de campo se utilizó el material adecuado para la obtención de muestras de suelo como de cultivo.

Para determinar las constantes de humedad se usó las ollas de presión estufas para desecar las muestras y balanza granatoria. Para la estimación del porcentaje de humedad del grano se usó molino, estufa y balanza granatoria.

En el análisis de la información se usó una microcomputadora Apple II de 64 k, así como el sistema de cómputo del Centro de Estadística y Cálculo del Colegio de Postgraduados. Los programas de cómputo usados son: SIMRE,

Archivo, ajuste, Kolmosmir y los paquetes estadísticos como AIDA, SAS y STATPRO. El significado de cada abreviatura se dan en el Anexo 5 del Apéndice.

4.4. Métodos

La metodología se divide en tres etapas que son: trabajo de campo, de laboratorio y análisis de la información.

4.4.1. Trabajo de campo

4.4.1.1. Muestreo de rendimiento de maíz. Se hizo el muestreo mediante un esquema donde se localizaron los puntos a intervalos regulares en la intersección de cada cuadrícula, el cual se llama muestreo sistemático (González Cossío, 1985).

La unidad de muestreo consistió en una parcela de 10 m de largo por 10 de ancho del surco, en donde se cosecharon todas las mazorcas. El rendimiento en kg/ha de la unidad de muestreo se estimó de cinco repeticiones al azar en una extensión de una hectárea.

El valor de rendimiento en kg/ha se transformó en rendimiento relativo al comparar el valor en cada sitio con un valor de rendimiento máximo en la zona, correspondiendo éste al de un experimento del INIFAP con maíz de tempral.

4.4.1.2. Muestreo de suelo

El sistema de muestreo fue el mismo que el utilizado para el rendimiento (muestreo sistemático), pero haciéndose solo una muestra de cada uno de los tres estratos de 20 cm por sitio.

Para la muestra de densidad aparente se usó el método de cilindro por cada estrato o hasta donde lo permitieran las condiciones físicas del suelo, al mismo tiempo se obtuvo otra muestra por estrato para determinar las constantes de humedad.

4.4.2. Trabajo de laboratorio

Las constantes de humedad se obtuvieron por el método de las ollas de presión, para capacidad de campo (cc) a 1/3 de bar y para punto de marchitez permanente a 15 bar de presión (Figueroa, 1985 y De la Peña, citado por Aguilera y Martínez, 1986).

El porcentaje de humedad del grano se obtuvo según el manual de semillas USDA (1979), el cual consistió en obtener una muestra compuesta de 100 gr secada al sol, molerla, pesarla y desecarla a la estufa a 75°C durante 12 hrs, luego pesar y corregir el peso para ajustar a 12% de humedad.

4.4.3. Análisis estadístico

4.4.3.1. Ordenamiento de datos

Los datos climáticos se guardaron en archivos por cada año, creados por el programa de cómputo archivo. Los datos de suelo se agruparon por serie de suelo.

4.4.3.2. Estadística univariada. Se utilizó la herramienta de la estadística univariada para hacer una primera clasificación de manejo de los suelos.

4.4.3.2.1. Prueba de normalidad. Esta se hizo mediante dos criterios: por el de Johnson y Wichern, mediante el paquete estadístico STATPRO. Esta prueba es considerada fuerte o estricta. Y la otra es por Kolmogorov-Smirnov, mediante el programa Kolmosmir, que se considera menos estricta que la anterior.

4.4.3.2.2. Ajuste a la curva normal. Este ajuste se hizo con la ecuación de la curva normal, para luego utilizarla en la comparación de poblaciones de cada suelo. Luego se obtuvo el intervalo de confianza y poder reclasificar observaciones que existieran por abajo o arriba de un límite de confianza pero que son aceptados en otro intervalo más amplio y así formar los grupos que entrarían al análisis de varianza.

4.4.3.2.3. Análisis de varianza

Se hizo éste análisis mediante un diseño completamente al azar desbalanceado. Con cinco tratamientos (grupos de observaciones) y noventa observaciones en total, y se hizo una prueba de "t".

4.4.3.2.4. Mapa de manejo de suelos. Este se hizo en base al análisis de varianza y a la prueba de "t".

4.4.3.3. Análisis multivariado. Esta herramienta se usó con fines de clasificación y en la cual se trabajó con ocho variables las cuales son: cc, PMP, Densidad aparente promedio de los tres estratos (DAP), profundidad del suelo (PROF), humedad del suelo disponible en etapa vegetativa (HVEG), humedad del suelo disponible en etapa de floración (HFLO), humedad del suelo disponible en etapa de madurez (HMAD), y rendimiento relativo (REND). Las tres humedades disponibles en etapas fenológicas se estimaron mediante una modificación del modelo SIMRE.

4.4.3.3.1. Prueba de normalidad multivariada. Esta prueba se hizo mediante el procedimiento UNIVARIATE del paquete estadístico SAS.

4.4.3.3.2. Análisis de discriminante canónico. Se hizo mediante el proceso CANDISC del paquete estadístico SAS. Con el objeto de encontrar variables canónicas o funciones discriminantes que hiciera una mejor separación por juego de variables.

4.4.3.3.3. Reclasificación. Se realizó mediante el proceso DISCRIM del mismo paquete SAS, el cual reclasifica o discrimina individuos en nuevos grupos.

Los programas en SAS de DISCRIM y CANDISC se presentan en el Anexo 4 del Apéndice.

4.4.3.3.4. Nueva clasificación. Usando los nuevos grupos ya reclasificados se volvió a realizar el proceso CANDISC, mediante el cual se obtienen parámetros de diferenciación clara de grupos. Estos están limitados por una distancia estadística y un círculo de radio igual a:

$$r = \left[\frac{\chi^2_{1-\alpha}}{n \cdot K} \right]^{\frac{1}{2}}$$
, i.e correspondientes a una probabilidad $1-\alpha$ (.99, .95, .90).

donde:

r = radio del círculo

χ^2 = distribución χ^2

nK = tamaño de la muestra de la población K

α = nivel de probabilidad

4.4.4. Simulación de rendimientos

Se hizo mediante el programa SIMRE en una microcomputadora Apple II, para cada sitio y para el año de 1986. Los datos climáticos utilizados pertenecieron a la estación Jalpa, los cuales se guardaron en un archivo por medio del programa Archivo.

Los datos del suelo correspondieron a las variables de CC, PMP, densidad aparente y profundidad.

Los datos del cultivo fueron datos reportados por Cruz (1985) y Aguilera y Martínez (1986), así como las constantes de la función polinomial para el cultivo de maíz (Cruz, 1985). El día de siembra fué en el cual los agricultores establecen los cultivos en la zona, así como los días a floración y etapa de madurez fue la que determinó INIFAP, en sus experimentos en la región con maíz de temporal.

La función polinomial que predice el rendimiento de maíz en función del balance de agua aprovechable en el suelo es la siguiente: (Cruz, 1985).

$$Y_r = -0.169 + 0.1188X_1 + 0.187X_2 + 0.0154 X_3 - 0.0000965X_1^2 - \\ 0.000102X_2^2 - 0.000117X_3^2 + 0.0000921X_1X_2 + 0.0 + 0.000057X_2X_3$$

donde:

Y_r = rendimiento de grano relativo

X_1 = contenido de humedad aprovechable residual en la etapa vegetativa

X_2 = contenido de humedad aprovechable residual en la etapa de floración

X_3 = contenido de humedad aprovechable residual en la etapa de madurez

El programa SIMRE se reproduce en el Anexo 6 del Apéndice.

V. RESULTADOS Y DISCUSION

En el presente capítulo se hará una exposición y análisis de los resultados obtenidos al trabajar el rendimiento como principal variable de clasificación de manejo de suelos, primero mediante el uso de las herramientas de la estadística univariada, segundo por medio de las técnicas de análisis multivariado; y por último la predicción del rendimiento en suelos con diferentes niveles de manejo.

5.1. Prueba de normalidad

a) Prueba de normalidad según el criterio de Johnson y Wichern

Esta prueba se hizo para cada una de las unidades de suelos, observándose que muestran un ajuste a la distribución normal, como se puede ver en la Figura 7. Más sin embargo, al realizar la prueba de hipótesis como lo señala Johnson y Wichern (1982), solo la unidad de suelos castañozem no es significativo al .01 de probabilidad, mientras los fluvisoles, regosoles y feozem son significativos al 0.05 y .01 de probabilidad, esto se presenta en el Cuadro 2.

Por otra parte para fines prácticos se puede asumir normalidad en la unidad de suelos catañozem, ya que como señala Johnson y Wichern (1982) la eficiencia de la prueba decrece a medida que el número de observaciones crece, no siendo de mucha importancia ésta baja de precisión ya que ésta unidad tiene 32 observaciones y es la de mayor número.

b) Prueba de normalidad según el criterio de Kolmogorov y Smirnov

Esta prueba al igual que la anterior nos indica si los valores son como lo indican algunos autores.

Al trabajar todas las observaciones de cada unidad de suelos, se observó que estos valores se ajustan a una distribución normal, como se puede ver en

Cuadro 2. Coeficientes de correlación para la prueba de normalidad de Johnson y Wichern.

UNIDAD DE SUELOS	COEF. CORRELACION	NIVEL DE PROBABILIDAD			SIGNIFICANCIA
		.10	0.05	0.01	
Fluvisol	0.961	0.966	0.958	0.941	S
Regosol	0.983	0.960	0.950	0.929	S
Feczem	0.973	0.960	0.950	0.929	S
Castañozem	0.957	0.977	0.972	0.960	NS

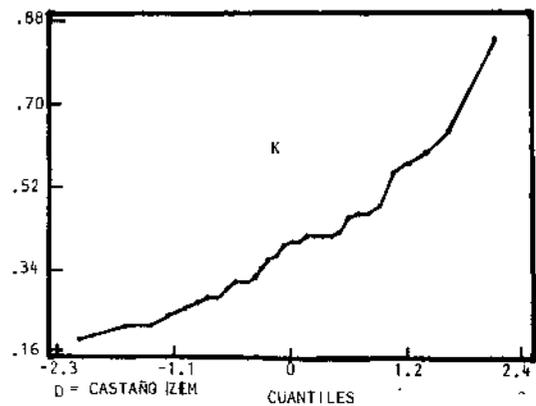
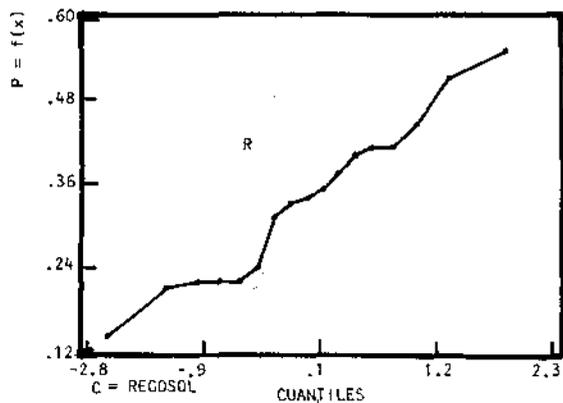
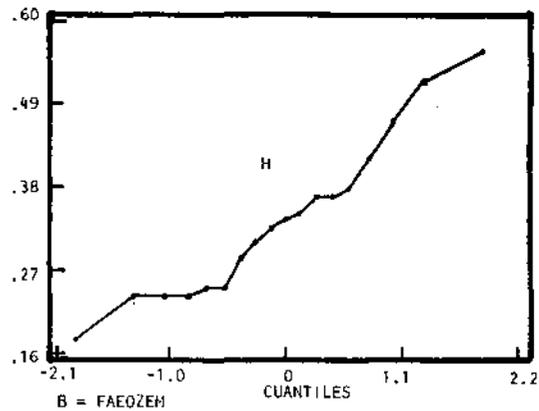
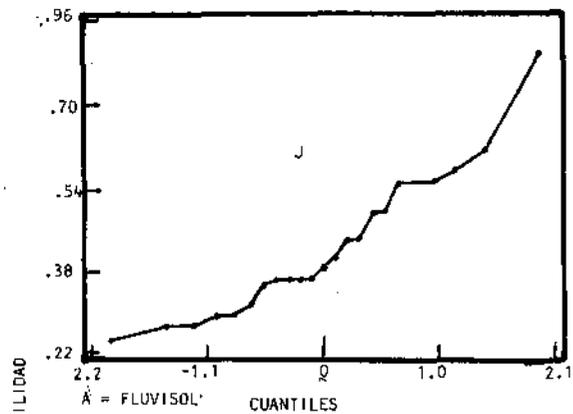


FIG. 7. PRUEBA DE NORMALIDAD PARA CUATRO UNIDADES DE SUELOS SEGUN EL CRITERIO DE JOHNSON Y WICHERN.

Cuadro 3. Valores de significancia para la prueba de normalidad según Kolmogorov-Smirnov.

UNIDAD DE SUELOS	N	DIFERENCIA MAXIMA	NIVEL DE PROBABILIDAD		SIGNIFICANCIA	
			.05	.01		
			$[P(x)_{Emp_i} - P(x)_{Teo_i}] [P(x)_{Emp_j-1} - P(x)_{teo_i}]$			
Fluvisol	23	0.156	0.102	0.275	0.330	S
Regosol	17	0.147	0.088	0.318	0.381	S
Feozem	18	0.139	0.113	0.309	0.371	S
Castañozem	32	0.139	0.108	0.234	0.281	S

la Figura 8 donde se gráfica para cada unidad de suelos la curva de acumulación de densidad de probabilidad para la distribución muestral acumulada (empírica) como para la distribución acumulada en la hipótesis H_0 (teórica).

Para probar la hipótesis nula $H_0: F(Y) = F_0(Y)$, para todo Y , donde F_0 es la distribución normal acumulada contra la alternativa $H_1: F(Y) \neq F_0(Y)$, para al menos un Y ; se busca ese valor máximo y se refiere a valores de tablas para un nivel de probabilidad α , y con el número (n) de observaciones. Esto proporciona pruebas para rechazar o aceptar la hipótesis nula. Los valores para ésta prueba, se dan en el Apéndice.

Donde: $D = \text{Sup}(Y) [F(Y) - F_0(Y)] \leq D_{\text{tablas}} (\alpha \text{ y } n)$.

De esta manera, en todos los casos fue significativa con nivel de probabilidad al 0.05 y 0.01 para cada una de las unidades de suelos, como se puede ver en el Cuadro 3.

Los valores totales se reproducen en el Apéndice.

Por lo tanto, se puede asumir normalidad de las observaciones de cada una de las unidades de suelos, basada en las pruebas de Johnson y Wichera, y Kolmogorov-Smirnov.

5.2. Ajuste gráfico a la curva normal.

Se hizo un ajuste gráfico de la curva empírica a la curva teórica normal, dándole suavizamiento en forma simétrica, según la ecuación de la curva normal la cual la reportan los autores de la revisión de literatura. En la Figura 9 se observa éste ajuste para cada unidad de suelos.

Juntando las cuatro gráficas correspondientes a cada grupo de suelos, se obtiene una general, la cual ayuda para hacer una primera comparación de las poblaciones, así como un primer paso para decidir los tratamientos que entrarán

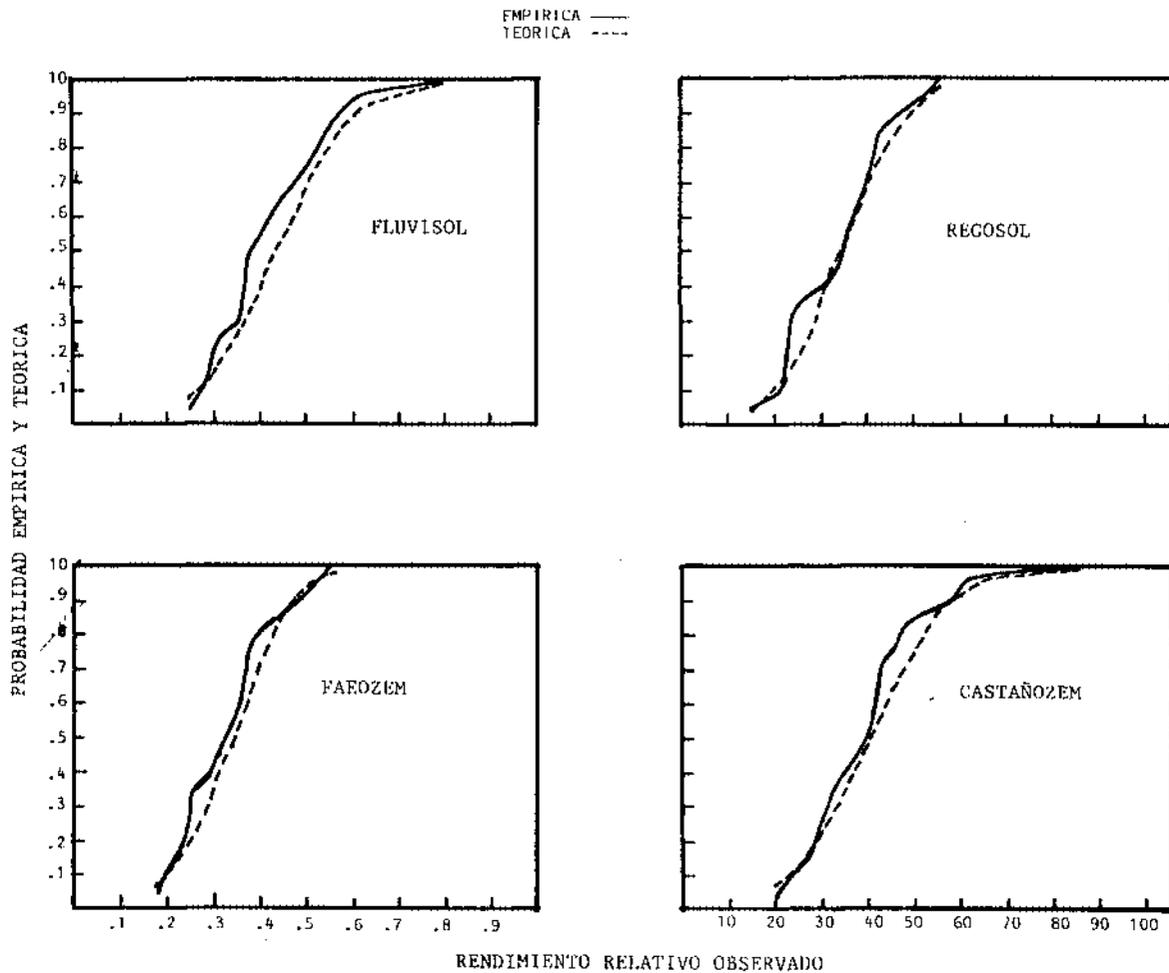


FIG. 8 . PRUEBA DE NORMALIDAD PARA CUATRO UNIDADES DE SUELOS SEGUN CRITERIO DE KOLMOGOROV-SMIRNOV.

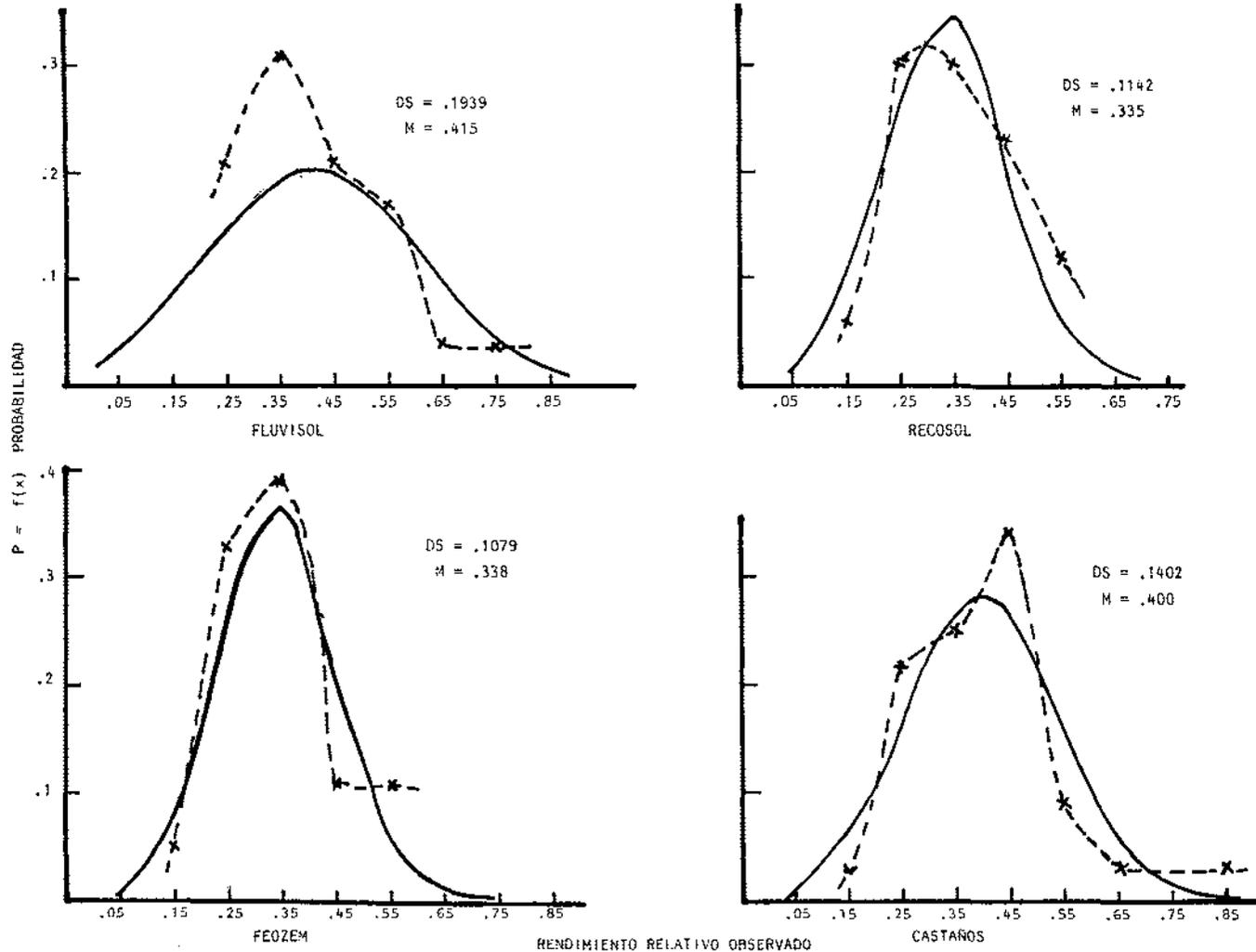


FIG. 9 . AJUSTE GRAFICO DE LA CURVA EMPIRICA A LA CURVA TEORICA NORMAL PARA LAS UNIDADES DE SUELOS.

en el análisis de varianza. Esto se puede ver en la Figura 10.

Así mismo en el Cuadro 4, se dan los valores de medias (\bar{x}), desviación estandar (σ) y de la varianza (σ^2), los cuales son necesarios para definir la ecuación de cada curva correspondiente a cada unidad de suelos.

El análisis de la Figura 10 indica que la curva de los regosoles y feozem son practicamente igual, debido a que tienen casi la misma media y desviación estandar, lo cual denota que se trata de una misma población. Más sin embargo, en el caso de los fluvisoles y castañozem se observa que éstos son algo diferentes, porque, aunque tienen una media muy parecida, la desviación estandar es diferente.

5.3. Intervalos de confianza

En el Cuadro 4 se observa las estadísticas simples, en el cual aparece el intervalo de confianza superior e inferior. Los regosoles y feozem tienen intervalos muy parecidos, mientras que los fluvisoles son diferentes a los anteriores, así como también lo son a los castaños.

El intervalo de confianza de cada unidad sirvió para tener una pureza más alta de cada grupo así como para reclasificar aquellas observaciones que se encuentran por abajo o arriba de los límites inferior o superior de una unidad de suelos, pero que pudiera entrar en otro intervalo más amplio de alguna otra unidad. Esto se observa en el Cuadro 5 donde aparece en la primer columna la unidad original y en las columnas de la derecha las unidades del resultado de la reclasificación, notándose que cerca del 50% de las observaciones de cada unidad permanecieron como inicialmente estaban clasificadas.

La definición del nivel de manejo se da en el Anexo 1 del Apéndice.

En el Cuadro 6 aparece en forma detallada el número de observaciones que se quedaron como inicialmente estaban clasificadas, o bien el número de ellas

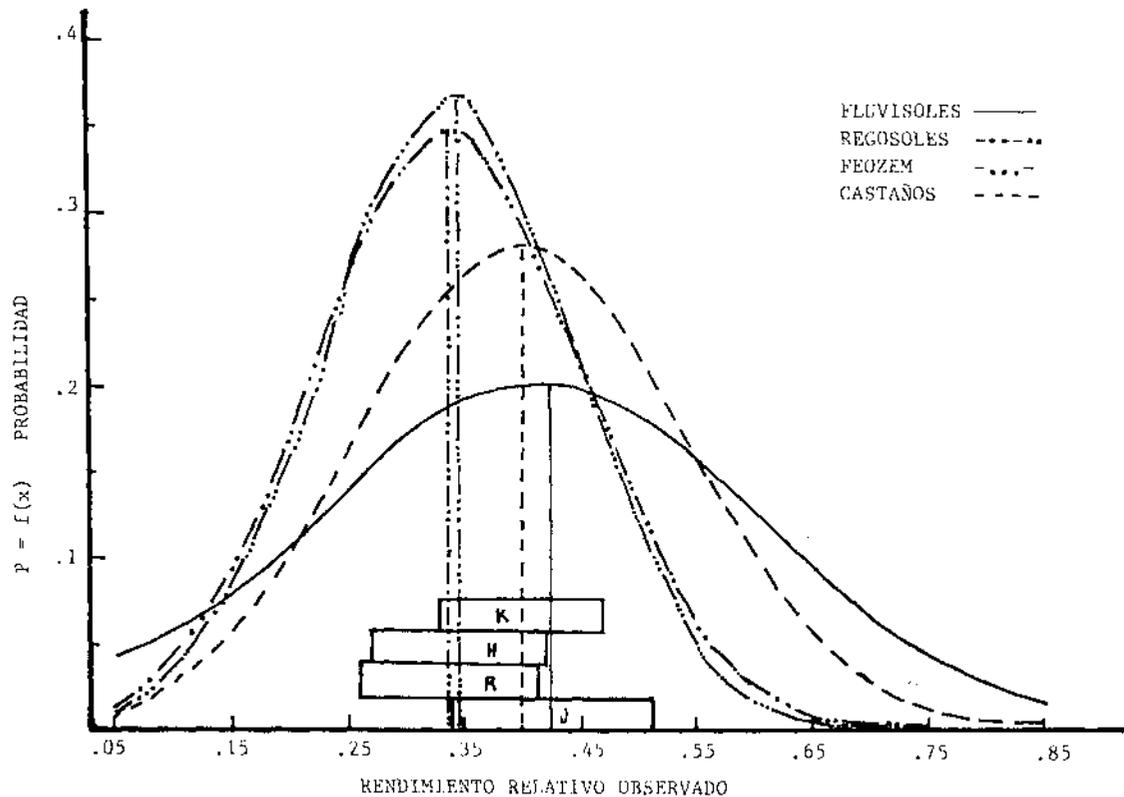


FIG. 10 . AGRUPACION DE LOS CUATRO AJUSTES GRAFICOS DE LA DISTRIBUCION NORMAL.

Cuadro 4. Valores estadísticos simples para cada unidad de suelos.

ESTADÍSTICA CLÁSICA						IC
PARAMETRO	MEDIA (\bar{X})	D.S (σ)	VAR. (σ^2)	C.V	I_s	L_1
Fluvisol	.433	.134	.018	30.9	.51	.35
Regosol	.344	.114	.013	33.1	.42	.26
Feozem	.339	.105	.011	30.9	.41	.26
Castañozem	.402	.138	.019	34.3	.47	.33

Cuadro 5. Observaciones reclasificadas y su porcentaje.

UNIDAD	No original	RECLASIFICACIONES				
		J	RH	K	>	<
Fluvisol	23	11 48%	5 22%	-	6 26%	1 4%
Regosol	17	-	8 47%	1 6%	2 12%	6 35%
Feozem	18	2 11%	8 44%	-	2 11%	6 33%
Castañozem	32	1 3%	7 22%	15 47%	5 16%	4 12%
RECLASIFICACIONES		14	28	16	15	17

Cuadro 6. Número de observaciones que no cambiaron y su manejo, así como las que reclasificaron.

CLASIFICACION ORIGINAL	RECLASIFICACION															TOTAL	
	J			R + H			K			>			<				
	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B		
J	No.	2	9	0	0	1	4	0	0	0	6	0	0	0	0	1	
	%	9	39	0	0	4	17	0	0	0	26	0	0	0	0	4	23
R	No.	0	0	0	1	7	0	1	0	0	1	1	0	0	1	5	
	%	0	0	0	6	41	0	6	0	0	6	6	0	0	6	29	17
H	No.	1	1	0	0	8	0	0	0	0	0	2	0	0	1	5	
	%	6	6	0		44	0	0	0	0	0	11	0	0	6	28	18
K	No.	1	0	0	0	2	5	2	13	0	5	0	0	0	0	4	
	%	3	0	0	0	6	16	6	41	0	16	0	0	0	0	13	32

Nivel de manejo ver el Anexo 1 del Apéndice.

que se reclasificaron así como el manejo que tenían.

Se observa además que las observaciones que permanecieron sin cambio corresponden en un alto porcentaje a un manejo medio, p.e. en los fluvisoles de 9 observaciones que permanecieron sin cambio que tienen un manejo medio que corresponde a un 39% y solo 2 tienen un manejo alto que corresponde a un 9%. De ésta manera en forma total se puede notar que de todas las observaciones originales y reclasificadas que forman éste grupo de fluvisoles está de terminado en un 78% por un manejo bueno (medio-alto).

De esta misma manera podemos ver que lo mismo se aplica para las unidades regosol más feozem con un 72% para el manejo bueno, así como la unidad de castaño con un 72% para el manejo bueno.

Por otro lado, se nota que las unidades fluvisol y castaños si se manejan con un nivel alto, estas forman un grupo superior, llamado de mayor rendimiento y si llegasen a tener un nivel bajo se podrían clasificar en otra unidad preferentemente al grupo con observaciones mayor como lo es el de regosol + feozem.

Así mismo, las unidades feozem y regosol que tengan observaciones que correspondan a un nivel bajo estas formarían una unidad nueva llamada de menor rendimiento.

Estas dos últimas unidades de mayor y menor rendimiento están formadas en su totalidad en observaciones que tienen un manejo alto (80%) y las de menor rendimiento en observaciones de manejo bajo (88%). En el Cuadro 7 se resumen el manejo para cada nueva unidad.

Así mismo indica todo esto que los suelos tienen una capacidad de respuesta natural la cual se refleja su fertilidad, retención de humedad, etc. pero si tienen un manejo adecuado éstos suelos darán mayor respuesta al rendimiento como es el caso de los fluvisoles y castañozem. En cambio, suelos que tengan una capacidad natural de respuesta baja y un manejo malo darán una menor respuesta

al rendimiento, como lo son los regosoles y feozem. Esto es importante debido a que nos pueden servir en forma práctica para hacer una planeación de inversiones para producir en cada suelo, en otras palabras los suelos fluvisoles y castaños necesitan menor inversión para que sean productivos. Los suelos feozem y regosoles necesitan mayor inversión para que sean más o menos productivos.

5.4. Análisis de varianza

En éste análisis se utilizó un diseño completamente al azar desbalanceado, los tratamientos correspondieron a los grupos o unidades de suelos que resultaron de la reclasificación los cuales son: fluvisoles, regosoles + feozem, castañozem, menor rendimiento y mayor rendimiento.

El resultado de éste análisis indicó que sí hay diferencias significativas entre los tratamientos al ser $F_{calculada}$ altamente significativa ($F_c > F_t$).

Así mismo, el coeficiente de variación de 13.93% denota una variación entre los tratamientos, como se observa en el Cuadro 8.

5.4.1. Diferencia mínima significativa (DMS)

Este análisis se hizo mediante una prueba de "t" la cual indica la diferencia o igualdad entre las medias de los tratamientos.

Se obtuvo que las medias de los fluvisoles y castaños estadísticamente son iguales, por lo que, pueden comportarse como un solo grupo para manejo.

Por otra parte las medias de regosol + feozem son estadísticamente diferentes a las medias de los tratamientos de mayor rendimiento, al de menor rendimiento así como a las medias de los fluvisoles y castaños, ésto se puede ver en el Cuadro 8.

5.5. Grupos de manejo

La agrupación que a continuación se presentará no es definida por las características físicas del suelo como CC, PMP, profundidad y densidad aparente.

Cuadro 7. Resumen del manejo para cada nueva unidad de suelos.

CLASIFICACION NUEVA	No.	MANEJO (%)		
		A	M	B
Fluvisol	14	4 (28%)	10 (72%)	-
Regosol + Faeozem	28	1 (4%)	18 (64%)	9 (32%)
Castañozem	16	3 (19%)	13 (81%)	-
Menor	17	-	2 (12%)	15 (88%)
Mayor	15	12 (80%)	3 (20%)	-

Manejo de unidades reclasificadas.

Cuadro 8. Análisis de varianza completamente al azar y prueba de medias.

FUENTE DE VARIACION	GL	SC	CM	F _c	F _{t 05}	Q1
Tratamientos	4	1.26	.315	108.62	2.5	3.6
Error	85	.25	.003			
TOTAL	89	1.51				

C.V. = 13.93%

PRUEBA DE "F" (DMS)				
1J	3K	2RH	4 <	5 >
.4228	.4131	.3321	.2276	.6053

ya que sus valores de media y desviación estandar son casi iguales, con excepción del grupo de menor rendimiento en donde tiene buena capacidad de retención de humedad, pero son en general suelos más delgados.

En definitiva lo que hizo posible la clasificación de éstos suelos fue el rendimiento y su manejo, ya que éste último, consiste en la forma que un agricultor trabaje su terreno de cultivo, lo cual se refleja en el rendimiento del cultivo.

Los grupos de suelos que se clasificaron en función del manejo en el área de estudio son:

1. menor rendimiento
2. regosoles más feozem
3. fluvisoles más castañozem
4. mayor rendimiento

La formación de éstos cuatro grupos obedece al resultado del análisis de varianza y de la prueba de "t". Más sin embargo, es conveniente indicar que ésto no corresponde a una clasificación taxonómica, sino que por el contrario es una clasificación de manejo, tal como se puntualiza en los objetivos de este trabajo.

Así mismo, esta clasificación queda restringida al área de estudio, enmarcado bajo ciertas condiciones físicas como es el clima y suelo, y además las características sociales de la región. Bajo éste supuesto se propone una cartografía de manejo de suelos que a continuación se presenta.

5.6. Clasificación propuesta de manejo

Esta propuesta de clasificación nos proporciona una capacidad de respuesta relativa de los suelos que se cultiven con maíz bajo un manejo determinado.

Esta clasificación se encuentra en el mapa de la Figura 11 del Apéndice, hecho a una escala de 1:50 000. Las áreas de color rojo (JK) corresponden a un nivel de manejo medio y el cual se esperaría un rendimiento relativo de maíz de .33 a .51 y las áreas de color verde (RH) tienen un nivel de manejo medio y el cual se esperaría un rendimiento relativo de maíz de .26 a .41, éstos son suelos con una capacidad de respuesta más baja que la anterior. De igual manera las áreas de color café (bajo) tienen un nivel de manejo bajo y se esperaría un rendimiento relativo de maíz menor de .26 y por último las áreas de color morado (alto) tienen un nivel de manejo alto y por lo tanto se esperaría un rendimiento relativo de maíz mayor de .51.

5.7. Análisis multivariado

En ésta sección se comparan las técnicas del análisis multivariado con las de la estadística univariada para fines de agrupación de suelos. Se utilizan los procedimientos CANDISC (discriminantes canónicas) y DISCRIM (discriminantes), lográndose con el primer procedimiento hacer una agrupamiento inicial enseguida se hizo una reclasificación y después volver a repetir el primer proceso. A continuación se discuten éstos procedimientos.

5.7.1. Prueba de Wilkinon para normalidad multivariada

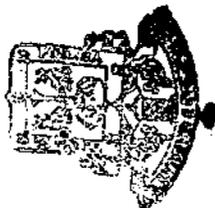
Dado que uno de los requisitos del análisis multivariado es la normalidad de las variables involucradas en éste. Se realizó la prueba de Wilkinon para detectar la validez del análisis.

Los resultados de ésta prueba se presentan en el Cuadro 9. Como debería esperarse las variables canónicas que se ajustan mejor a la normalidad multivariada tienen una distribución simétrica de cuantiles y un nivel de probabilidad alto, como se observa en la variable CAN 1 de la unidad regosol. La mayoría de las variables presentan una distribución sesgada hacia uno de los extremos.

Cuadro 9. Prueba de normalidad multivariada para cuatro unidades de suelos según el criterio de Wilkinson.

SERIE	N	VARIABLE CANONICA	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	QUANTILES		PRUEBA DE PROBABILIDAD	
					75%	25%	WILKINSON(W)	P < W
Fluvisol	23	1	-1.33	.77	-.96	-1.87	.95	.40
		2	.40	1.22	.96	-.43	.93	.21
Regosol	17	1	2.68×10^{-6}	1.31	1.02	-1.10	.97	.83
		2	5.09×10^{-6}	1.27	.95	-.25	.93	.35
Feozem	17	1	.58	1.02	1.23	-.01	.93	.28
		2	.56	1.09	1.63	-0.8	.91	.17
Castañozem	32	1	-.36	.93	.53	-.99	.95	.23
		2	-.66	.59	-.15	-1.12	.96	.54

ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA



Dadas las bajas probabilidades reportadas para la prueba de Wilkinson, no se cumple la condición de normalidad multivariada.

A pesar de ésto se consideró conveniente continuar con el análisis a fin de constatar si éste hecho impedía el agrupamiento de los suelos.

5.7.2. Primer agrupamiento

Este primer agrupamiento obtenido (Figura 11) no es claro debido a que no se forman grupos definidos de suelos y además por la pequeña distancia estadística o distancia de Mahalanobis, entre cada una de las medias poblacionales. Sin embargo las distancias de Mahalanobis señalan que estadísticamente existen tres grupos diferentes que son: fluvisoles, feozems y castañozems, al mismo tiempo se observa que los regosoles no se distinguen de las otras unidades al nivel de probabilidad de 10%. En el Cuadro 10 se presentan las distancias y sus probabilidades.

Cuadro 10. Distancias y probabilidades de Mahalanobis para la primera agrupación.

	H	J	K	R
H	.	1.94	1.55	1.09*
	.	.0001	.0001	.323**
J		.	1.44	0.49
		.	.0001	.78
K			.	.98
			.	.732
R				.
				.

* Distancia de Mahalanobis

** Probabilidad de Mahalanobis

Debido a lo anterior, al trazar círculos que delimitan las poblaciones teniendo como centro la media canónica de la población (unidad de suelos)

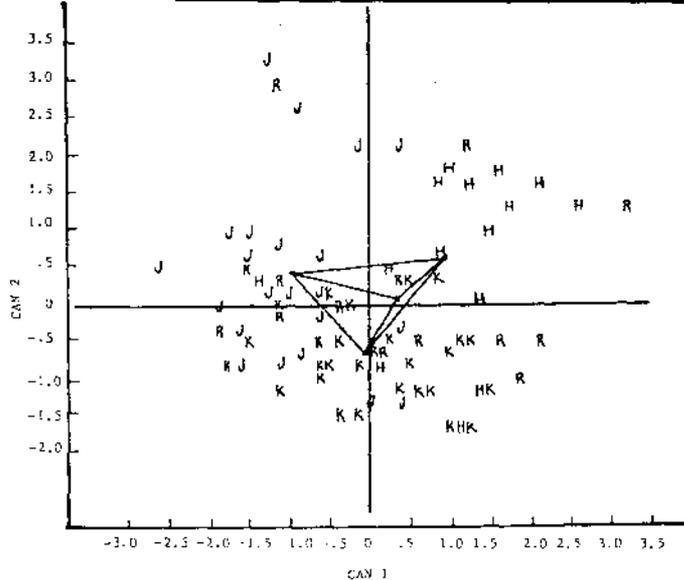


Figura 11. Distancia de Mahalanobis para el 1er. agrupamiento.

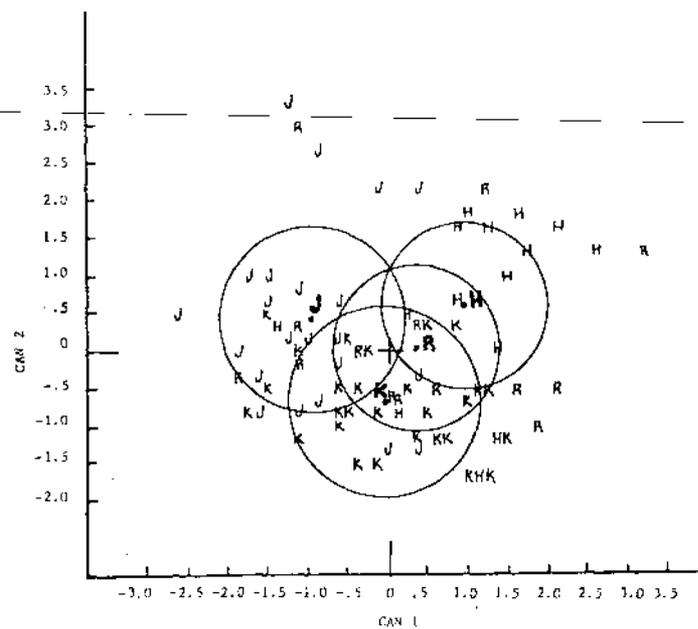


Figura 12. Círculos que agrupan a las observaciones en la 1a. clasificación.

y como radio la probabilidad al 10% de la distribución ji cuadrada (χ^2) de la variable. Como se observa en la Figura 12, éstos se traslapan demasiado, donde se comprueba que no corresponden las observaciones a los cuatro grupos definidos a priori. Nótese también que existen numerosas observaciones de las unidades que quedan fuera de ésta probabilidad, es decir, que no corresponden al valor típico de la unidad, pro lo que se procedió a hacer una reclasificación de éstas observaciones.

La Figura 12 se construyó usando los coeficientes canónicos estandarizados que se forman con la combinación de las ocho variables observadas. Los valores de los mismos se dan en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Coeficientes canónicas estandarizados, primera clasificación.

VARIABLE	CAN 1	CAN 2
Profundidad	-.50	.10
CC	-.33	-.39
PMP	1.12	.06
H. vegetativa	-1.37	1.03
H. floración	1.15	-1.56
H. madurez	.53	1.35
Rendimiento	-.24	-.15
D. aparente	.71	-.53

Se observa que la variable CAN 1 agruparía puntos hacia valores (-) en función principalmente de la humedad residual aprovechable en etapa vegetativa (HUEG) y la profundidad (PROF) y hacia valores (+) en función del PMP y la humedad residual aprovechable en floración (HFLO) y en menor grado la densidad aparente (DAP) y la humedad residual aprovechable en madurez (HMAD). De la misma manera la variable CAN 2 agruparía puntos hacia valores (-) en función de HFLO y DAP y hacia valores (+) en función de HUEG y HMAD.

5.7.3. Reclasificación

La reclasificación se hizo mediante el procedimiento DISCRIM del paquete estadístico SAS. En éste proceso se nombraron observaciones típicas aquellas que tuvieran un valor en la variable canónica uno, dentro del rango de 25 al 75% del análisis de normalidad, por otro lado, las que se encontraron fuera de éste rango se llamaron no típicas. Las funciones lineales discriminantes con los que se hace ésta reclasificación se dan en el apéndice.

En el Cuadro 12 se muestran los resultados de la reclasificación de los valores típicos, observándose que las unidades feozems, fluvisoles y castañozem se clasifican como inicialmente estaban con un porcentaje alto (de 89, 92 y 81% respectivamente) y el resto se reclasifica en otras unidades, en la unidad regosol solo el 33% se clasifica como regosol, el 34% se reclasifica como castañozem y solo el 11% como feozem.

Por otra parte al reclasificar los valores no típicos se observa en el Cuadro 13 que para la unidad feozem el 50% permaneció como feozem y el resto se reclasificó en las demás unidades. Para la unidad fluvisol el 54% se quedó como fluvisol, el 34% se reclasificó con castañozem y el 9% como regosoles. Para la unidad castañozem, la más numerosa, el 50 se reclasificó con feozems, el 37% como fluvisol y solo el 12% se quedó como castañozem. Y por último la unidad regosol se reclasificó totalmente en otras unidades, el 50% como feozem, el 50% como fluvisol.

Esto indica que los valores no típicos fueron los que más se reclasificaron y en el caso de las unidades feozem y fluvisol hasta un 50%, mientras que en las unidades castañozem y regosol se reclasificaron casi en un 100% en otras unidades.

Cuadro 12. Número de observaciones típicas clasificadas y porcentaje para la nueva serie.

SERIE ORIGINAL	H	J	K	R	TOTAL
H	8 88.9	0	1 11.1	0	9 100.0
J	0	11 91.7	1 8.3	0	12 100.0
K	1 6.2	0	13.0 81.2	2 12.5	16.0 100.0
R	1 11.1	0	5 55.5	3 33.0	9 100.0
TOTAL	10	11	20	5	46
PORCENTAJE	21.74	23.9	43.5	10.8	100.0
	.22	.24	.35	.19	

Cuadro 13. Número de observaciones no típicas clasificadas y porcentaje para la nueva serie.

SERIE ORIGINAL	H	J	K	R	TOTAL
H	4 50.0	2 25.0	1 12.5	1 12.5	8 100.0
J	0	6 54.5	4 36.3	1 9.0	11 100.0
K	8 50.0	6 37.5	2 12.5	0	16 100.0
R	4 50.0	4 50.0	0	0	8 100.0
TOTAL	16	18	7	2	43
PORCENTAJE	37.2	41.8	16.3	4.6	100.0
	.22	.24	.35	.19	

5.7.4. Segundo agrupamiento

Este segundo agrupamiento se hizo mediante el procedimiento CANDISC del paquete estadístico SAS. Después de haber hecho la reclasificación de las observaciones atípicas que no formaban parte de algún grupo se procedió a realizar de nuevo el agrupamiento.

En la Figura 13 se observa que al realizar de nuevo la agrupación se forman claramente tres grupos de suelos, mientras tanto en la Figura 14 se observa que el agrupamiento de suelos es definido primeramente por las distancias de Mahalanobis entre las medias muestrales y además, estas son más grandes que las obtenidas en el primer agrupamiento, reafirmando la existencia de los mismos tres grupos (fluvisol, feozem y castañozem) estadísticamente diferentes, lo cual se puede observar al comparar las distancias de Mahalanobis en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Distancias y probabilidades de Mahalanobis.

	H	J	K	R
H	.	6.42	3.45	2.99*
	.	.0001	.0001	.1608**
J		.	3.36	4.34
		.	.0001	.0063
K			.	2.08
			.	.6761
R				.
				.

* Distancia de Mahalanobis

** Probabilidad de Mahalanobis.

Sin embargo, sigue existiendo poca diferenciación en las observaciones de la unidad regosol, ya que no se distinguen de las unidades feozem y castañozem al nivel de probabilidad de 10%.

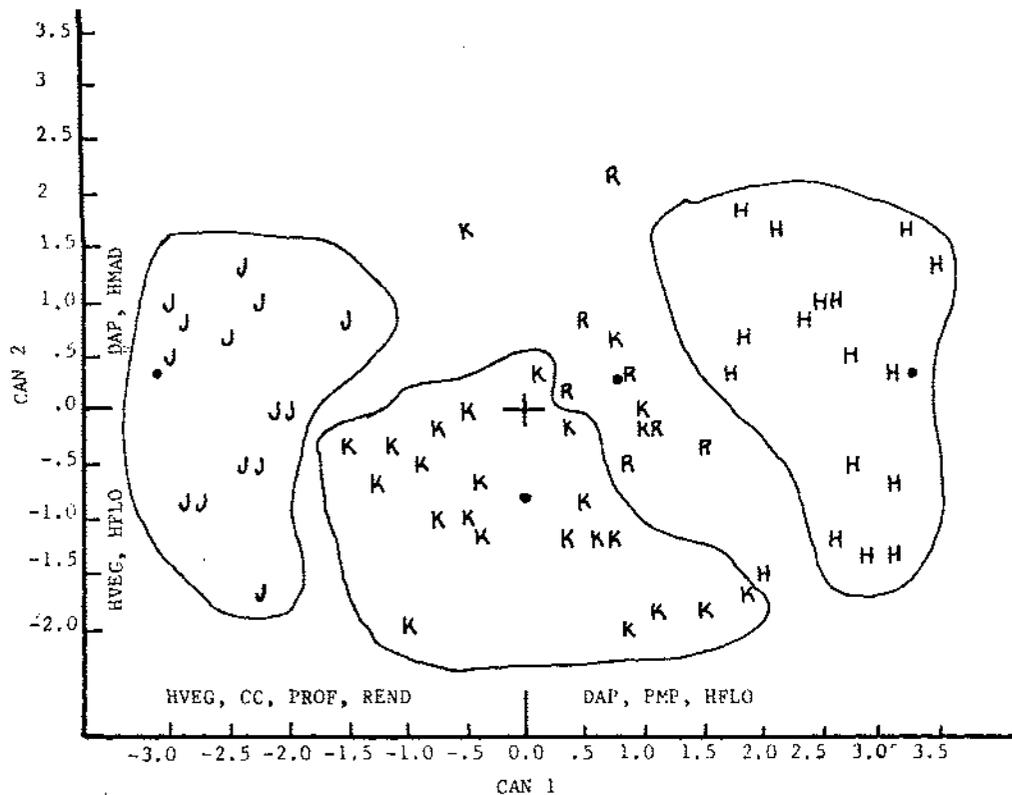


Figura 13. Grupos claramente definidos hechos por los coeficientes canónicos.

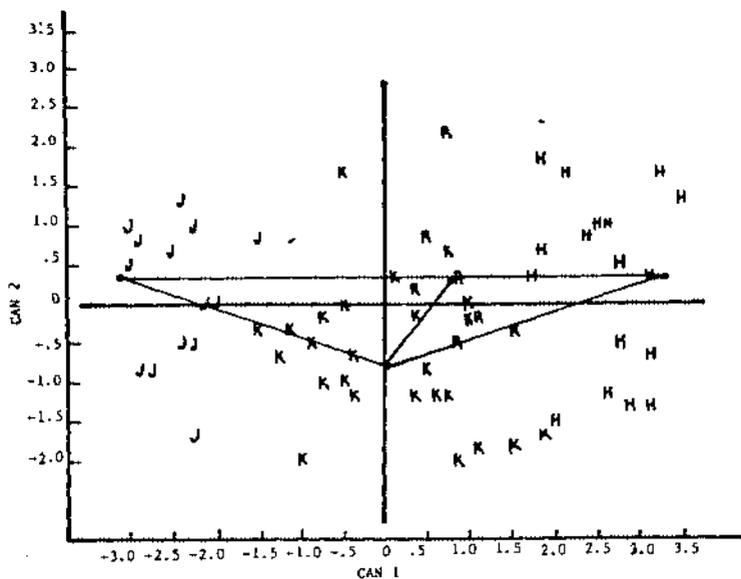


Figura 14. Distancias de Mahalanobis y probabilidades en la 2a. agrupación.

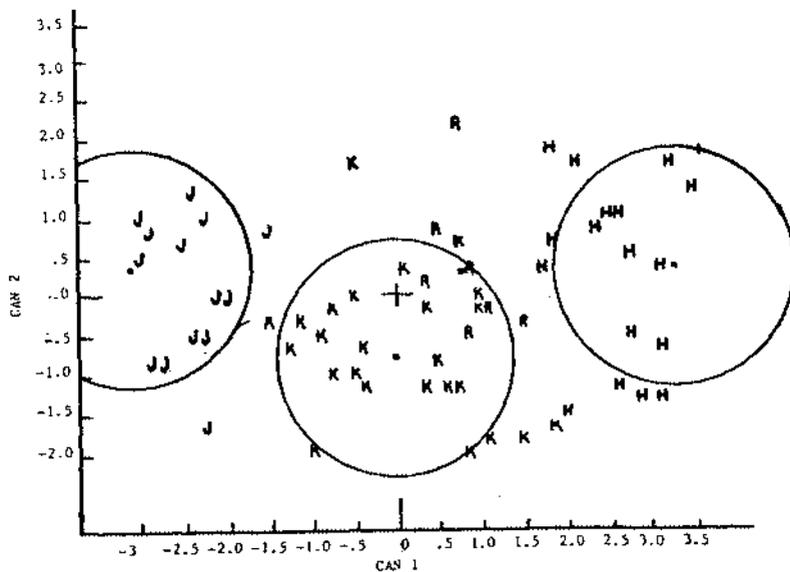


Figura 15. Círculos que delimitan las observaciones al 95% de probabilidad en la 2a. agrupación.

De la misma manera que el primer agrupamiento se trazaron círculos al mismo nivel de probabilidad (10%). En éste caso los círculos tienen un traslape nulo, lo cual indica la formación de grupos de suelos definidos (Figura 15). Sin embargo siguen existiendo observaciones atípicas principalmente de la unidad regosol. Mediante éste análisis se podría decir que existen solo tres grupos de suelos y que los regosoles no se separan con claridad y pueden quedar incluidos en cualquier unidad.

Los grupos claramente definidos están formados por la combinación de las ocho variables observadas de las cuales se obtienen dos variables canónicas con las cuales se realizan éstas gráficas, y al mismo tiempo los coeficientes canónicos del Cuadro 15 indica las variables que tienen más peso para definir los grupos. De ésta manera, la variable CAN 1 agruparía puntos hacia valores (-) en función principalmente de la profundidad (PROF), CC, humedad residual aprovechable en etapa vegetativa (HVEG) y del rendimiento (REND); y hacia valores (+) en función de la densidad aparente (DAP), PMP y humedad residual aprovechable en floración (HFLO). De la misma manera la variable CAN 2 agruparía puntos hacia valores (-) en función principalmente de H VEG, HFLO y hacia valores (+) en función de humedad residual en madurez (HMAD) y de DAP.

Así de ésta manera, el grupo de los fluvisoles están influenciados por valores de HVEG, PROF y REND. Los faeozem están determinados por valores de DAP, PMP y en menor grado por HFLO, y por último los castañozems están caracterizados por HVEG, CC, PMP y en menor grado por PROF, REND y HFLO. Esto se observa en forma más clara en la Figura 13.

El mapa propuesto para ésta agrupación usando ésta técnica se encuentra en el Apéndice.

Cuadro 15. Coeficientes canónicos estandarizados.

VARIABLE	CAN 1	CAN 2
Profundidad	-1.12	-.32
CC	-1.36	-.13
PMP	3.26	.00
H vegetativa	-3.18	-.92
H floración	3.36	-.85
H madurez	.35	2.05
Rendimiento	-.53	.34
Densidad aparente	1.49	.50

5.8. Clasificación de suelos y su manejo

En las dos formas de agrupamiento de suelos descritas anteriormente es de suma importancia tomar en cuenta el manejo que tiene cada suelo para poderlo agrupar. En el Cuadro 16 se puede ver que los grupos formados por la estadística univariada corresponden a tres niveles de manejo claramente definidos. El grupo de mayor (>) rendimiento está determinado hasta en un 80% por un manejo alto; los grupos de regosol + faeozem (RH) y fluvisol + castañozem (JK) tienen hasta un 65% y 76% de manejo medio respectivamente; mientras que el grupo de menor (<) rendimiento, como se esperaba está influenciado hasta en un 88% por manejo bajo.

Por otro lado al utilizar los métodos multivariados para la clasificación de suelos en la primera agrupación, se puede ver en el Cuadro 17 que se consideraron observaciones atípicas a un 52, 59, 33 y 22% para las unidades fluvisol, regosol, faeozem y castañozem respectivamente. Esto se puede observar gráficamente en las Figuras 16 (a,b,c,d), donde se notan los puntos que están agrupados a un nivel de probabilidad de 10% con su respectivo manejo, así como los puntos que no están agrupados para las unidades anteriormente mencionadas.

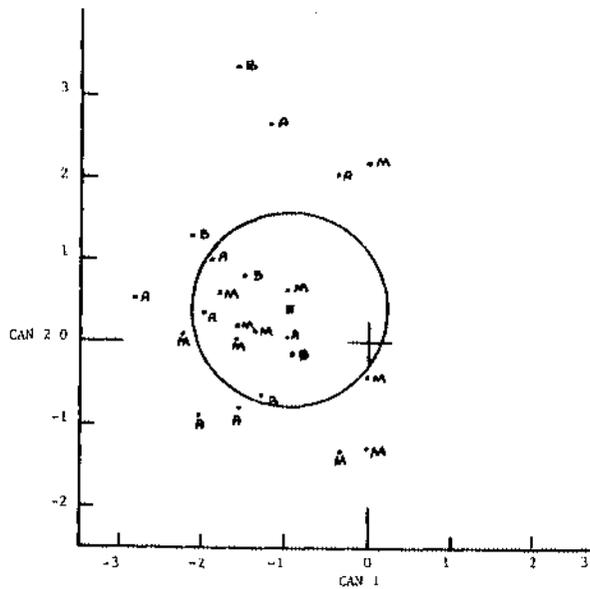


Figura 16a. Asociación del manejo en la 1er. agrupación con suelos de la unidad Fluvisol.

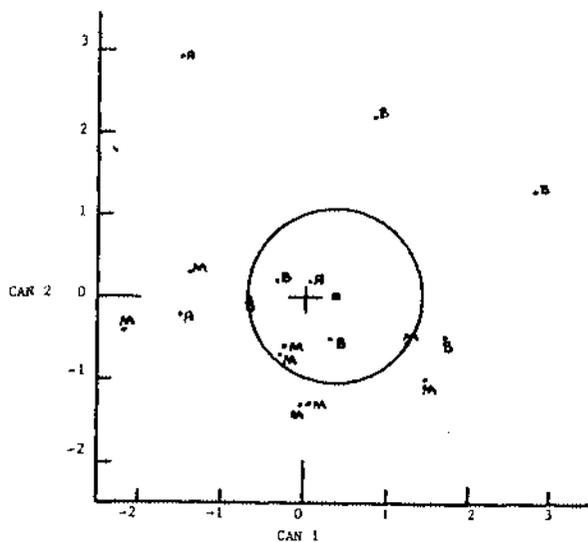


Figura 16b. Asociación del manejo en la 1er. agrupación de suelos de la unidad Regosol.

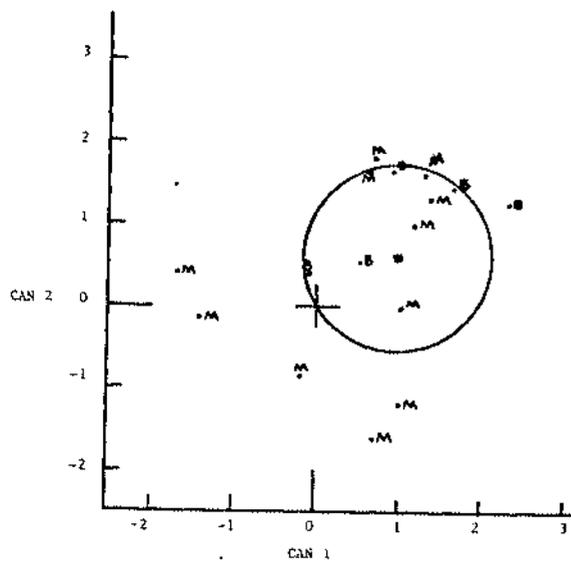


Figura 16c. Asociación del manejo de la ler. agrupación en suelos de la unidad Eozem.

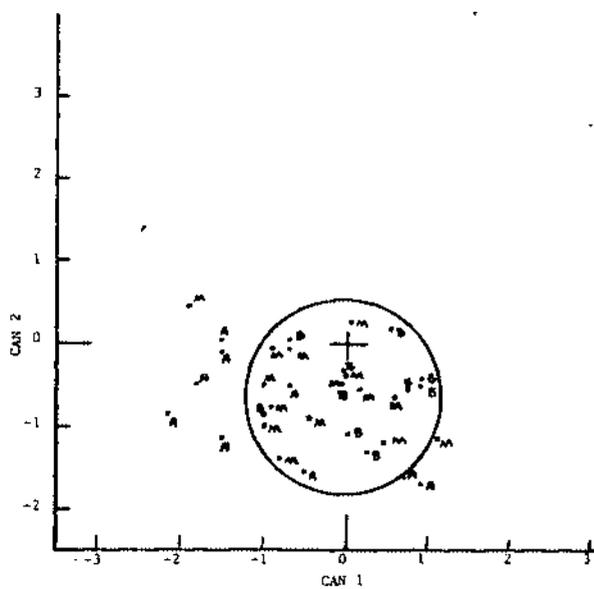


Figura 16d. Asociación del manejo de la ler. agrupación de suelos de la unidad Castañozem.

Cuadro 16. Manejo en las unidades univariadas.

AGRUPACION UNIVARIADA	n	M A N E J O		
		A	M	B
	15	12(80%)	3(20%)	0
RF	28	1(40%)	18(65%)	9(31%)
JK	30	7(24%)	23(76%)	0
	17	0	2(12%)	15(88%)

También se puede advertir en ésta figura que la unidad regosol es la que presentó más observaciones atípicas lo cual indica poca pureza o precisión en la clasificación de esta unidad en la cartografía de DETENAL. En congruencia con ésta aseveración se nota que el porcentaje de observaciones atípicas es el más alto con un 60% aproximadamente, y de éste porcentaje hasta un 70% de las observaciones son de manejo bueno (medio-alto).

En el Cuadro 18 se observa que en los tres grupos formados, el porcentaje de observaciones agrupadas a un nivel de probabilidad de 10% es de 88.8, 55.5 y 70 para fluvisoles, faeozem y castañozem respectivamente. De la misma manera se observa que para las series fluvisol y castañozem los suelos con manejo bueno (medio-alto) están determinados en un 91.5 y 84% respectivamente, mientras que para la faeozem solo el 54% corresponden a suelos con manejo bueno, sin embargo en ésta misma serie, los suelos con manejo medio

Cuadro 17. Manejo en unidades de agrupación multivariada.

SERIE	AGRUPACION AL 10% PROB.	MANEJO			NO. DE OBSERV. RECLASIFIC.	n	% FUERA	% FUERA CON MANEJO A y M
		A	M	B				
Fluvisol	No	5	5	2	6	23	52	63
	Si	3	5	3				
Regosol	No	2	5	3	14	17	59	70
	Si	1	3	3				
Faeozem	No	0	5	1	5	18	33	83
	Si	0	7	4				
Castañozem	No	6	1	0	17	32	22	86
	Si	3	13	9				

* No = observaciones fuera del círculo que son agrupados a un nivel de probabilidad.
Si = observaciones dentro del círculo que son agrupados a un nivel de probabilidad.

Cuadro 18. Manejo en unidades del segundo agrupamiento multivariado.

SERIE	n	AGRUPACION AL 10% PROB.	MANEJO			% DENTRO	% DENTRO CON MANEJO A y M
			A	M	B		
Fluvisol	28	Fuera	1	1	2	88.8	91.5
		Dentro	12	10	2		
Faeozem	27	Fuera	1	6	5	55.5	53.5
		Dentro	0	8	7		
Castañozem	27	Fuera	1	4	3	70	84.0
		Centro	2	14	3		

y bajo la constituyen en un 100%, lo cual indica que las series fluvisol y castañozem están determinadas en función de un manejo de nivel alto a medio, mientras que la serie o grupo faeozem está determinado en función de un manejo de nivel medio a bajo. La agrupación de éstos suelos con su respectivo manejo se presenta en la Figura 17 (a,b,c).

La unidad regosol se excluye de presentarla en éstos cuadros y figuras debido a que solo cuenta con siete observaciones y todas son atípicas.

5.9. Predicción de rendimiento

La predicción del rendimiento en las unidades cartográficas seleccionadas se hizo mediante el modelo de Rojas y Palacios (1982).

Debido a que el modelo no produjo adecuadamente en todos los sitios muestreados y tomando en cuenta la forma del muestreo (parcelas comerciales) y que además el modelo se ha probado en parcelas a un nivel de manejo bueno, se seleccionaron aquellos sitios con manejo bueno (alto y medio) para hacer la predicción del rendimiento.

La simulación se hizo para cada tipo de manejo así como también en forma conjunta. La predicción del rendimiento no es aceptable ya que en ambos casos se observa una poca asociación de puntos en los diagramas de dispersión (Figura 18 a y b).

Al realizar el análisis de regresión lineal simple para manejo medio, medio-alto y alto se obtuvo los siguientes coeficientes de regresión y de determinación (Cuadro 19).

En el Cuadro 19 se puede observar que los r^2 (coeficiente de determinación) son muy bajos y que éstas circunstancias al modelo no predicen aceptablemente el rendimiento de maíz de secano en forma comercial.

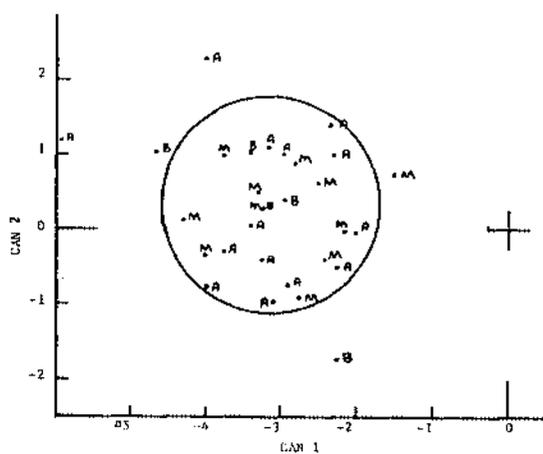


Figura 17a. Asociación del manejo de la 2a. agrupación de suelos en la unidad fluviol.

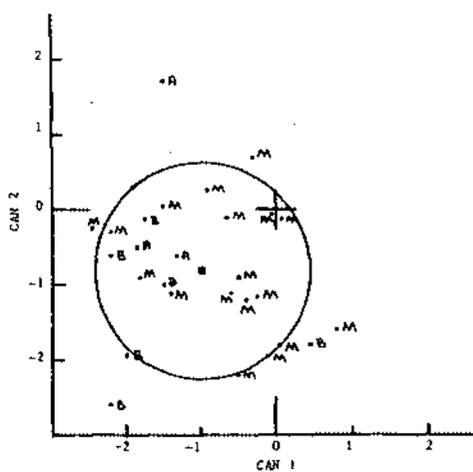


Figura 17b. Asociación del manejo de la 2a. agrupación en la unidad Castañozem.

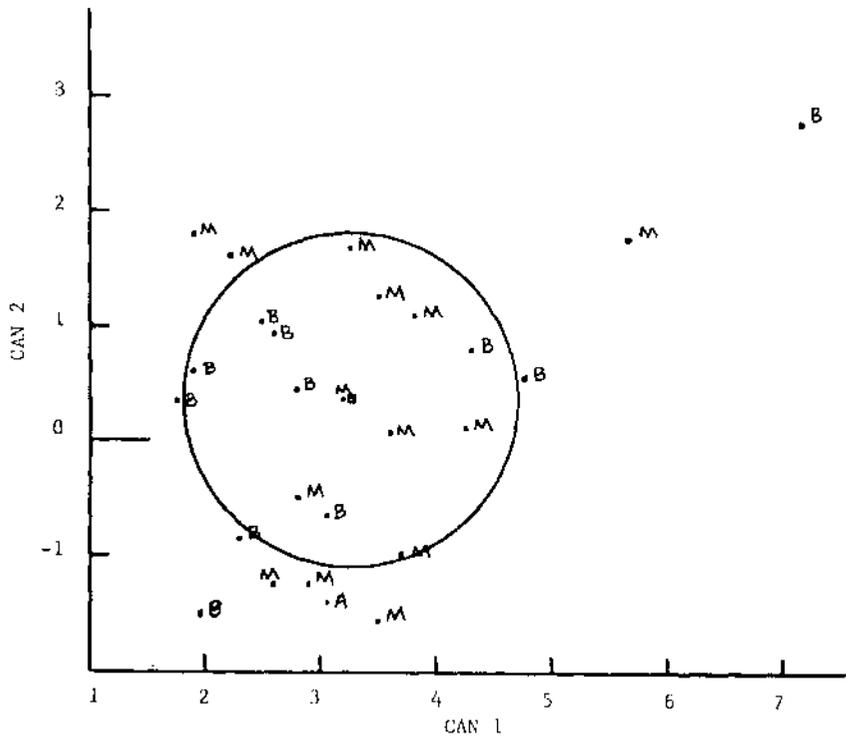


Figura 17c. Asociación del manejo de la 2a. agrupación en la unidad Faeozem.

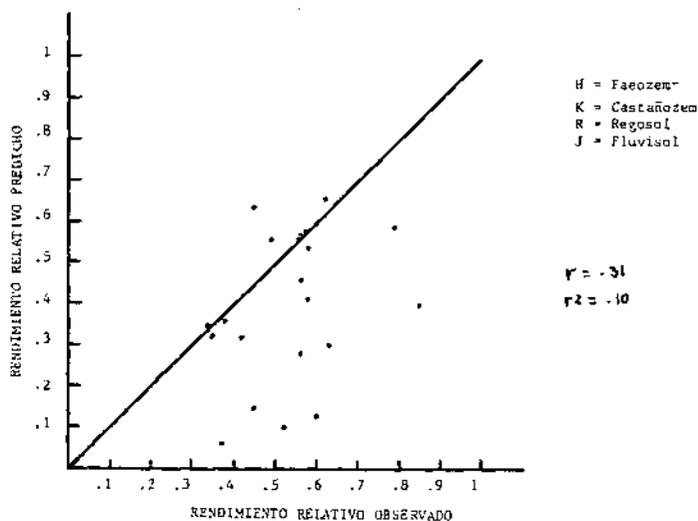


Figura 16a. Predicción del rendimiento relativo por medio del sistema de simulación SIMRE, para manejo alto. Donde predice el 35% para K, 0% para H, 20% para R y el 45% para J.

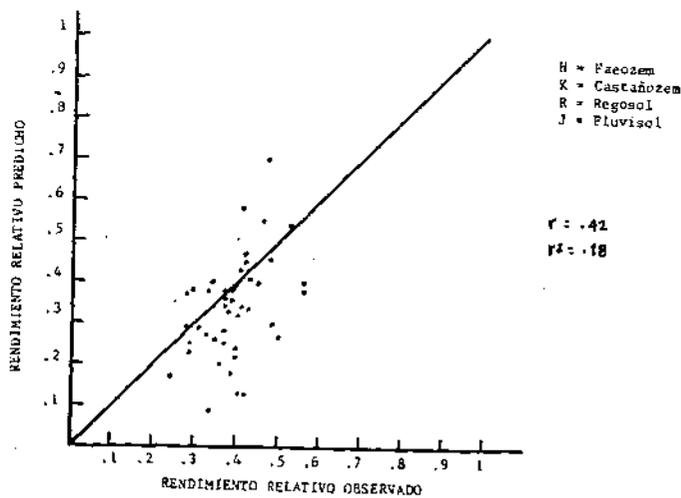


Figura 16b. Predicción del rendimiento relativo por medio del sistema de simulación SIMRE, para manejo medio. Donde predice el 30% para K, 25% para H, 21% para R y 23% para J.

Cuadro 19. Coeficientes de regresión y determinación para la regresión lineal simple entre el rendimiento predicho y el observado.

MANEJO	n	r	r ²
MEDIO	43	.42	.18
MEDIO-ALTO	63	.38	.15
ALTO	20	.31	.10

Por otro lado, esto coincide en parte con lo obtenido por Cruz (1985), quien encontró un coeficiente de determinación de .66 para la predicción del rendimiento de maíz de secano bajo condiciones experimentales. De ésta manera, los coeficientes obtenidos en el análisis indican una tendencia a que el modelo pueda predecir el rendimiento bajo condiciones comerciales, siendo necesario incluir al modelo al nivel de manejo de cada suelo como variable, así como también lo relacionado a la lluvia.

Para ver la influencia de una estación meteorológica en la predicción del rendimiento se hizo la simulación para los 15 sitios localizados en un radio de tres y medio km a la estación, de estos sitios el 46% tuvieron un manejo medio y el 33% un manejo alto (79% manejo bueno). Al hacer el análisis de regresión lineal simple se obtiene un coeficiente de regresión de .90 y un coeficiente de determinación de .82 lo cual denota la importancia de hacer la simulación con datos de lluvia de una estación climatológica cercana. En la Figura 19 se observa la ubicación de los puntos simulados de acuerdo a la recta con pendiente uno.

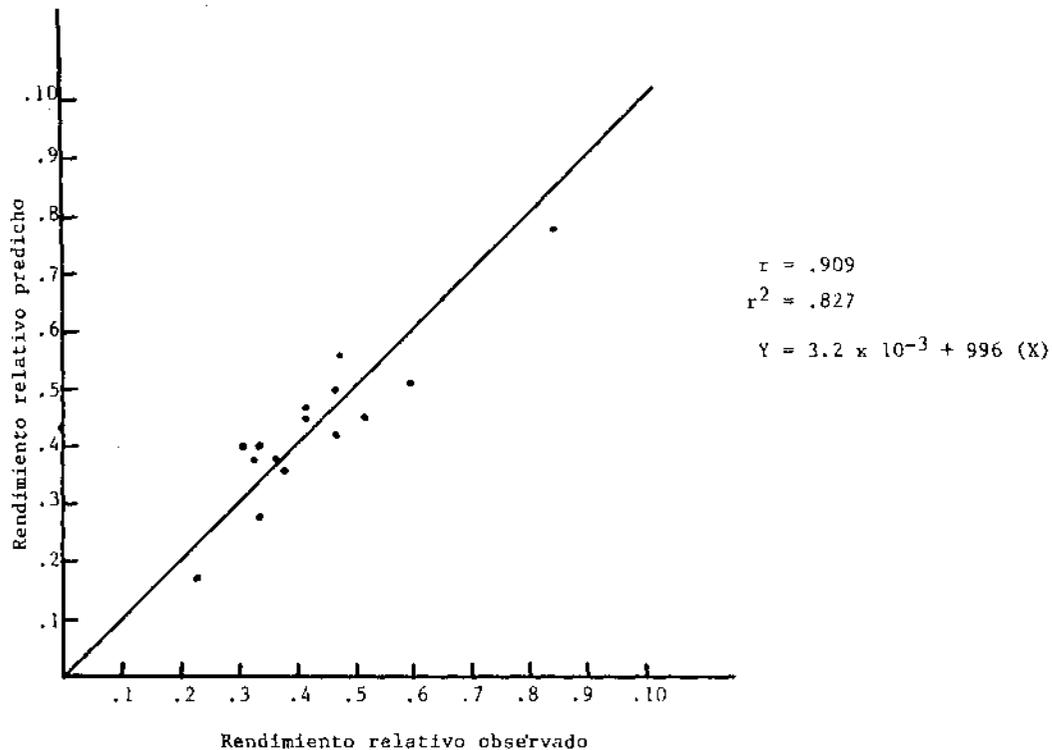


Figura 19. Predicción del rendimiento relativo por medio del sistema de simulación SIMRE
 Análisis de regresión entre el rendimiento relativo predicho y el observado, en
 una área de 3.5 km de radio a la estación climatológica.

5.10. Discusión general

Usando técnicas univariadas para hacer una clasificación de manejo de suelos, se obtuvieron cuatro grupos que son: los de mayor rendimiento, los RH, los JR y los de menor rendimiento que son definidos claramente por un manejo alto, medio, medio y bajo respectivamente.

De la misma manera al usar técnicas multivariadas se obtienen tres grupos de manejo de suelos claramente definidos y que corresponden a fluvisol, faeozem y castañozem; mientras el regosol fue insignificante debido a la atipicidad de sus observaciones y al reducido número de éstas. Al mismo tiempo el manejo forma parte importante en ésta agrupación, siendo que los grupos formados tienen un nivel de manejo alto-medio para fluvisoles y castañozem, mientras que para faeozems tiene un nivel de manejo medio-bajo.

De ésta manera, por las dos formas utilizadas para estos agrupamientos es posible construir una clasificación de manejo de suelos a partir de unidades de DETENAL, siendo definitivo en las mismas hasta en un 50% el manejo que reciben los suelos.

Por otra parte, las dos técnicas usadas para hacer estos agrupamientos de suelos son buenas para éste propósito aunque la univariada es menos exacta ya que solo toma en cuenta el rendimiento del cultivo, lo cual podría causar que se reclasificaran mal algunas observaciones. Este método tiene la ventaja de que se puede usar fácilmente; mientras que la multivariada es más exacta, debido a que toma no solo el rendimiento del cultivo, sino que utiliza otros parámetros del suelo. Su cálculo es más complicado y tardado por lo que es conveniente contar con un equipo de computación, razón por la cual se dificultaría su uso en programas técnicos de los Distritos de Desarrollo u otras Instituciones.

Ahora bien, en las dos formas de clasificación se observa que para la unidad original de los regosoles no existe una diferenciación clara de sus

observaciones, lo cual indica que la clasificación DETENAL requiere tomar otros parámetros auxiliares para diferenciar suelos someros en áreas con un microrelieve variado.

La estimación del rendimiento usando el modelo de Palacios en las unidades cartográficas seleccionadas si es adecuado, aunque para fines de interpolación a localidades lejanas a las estaciones meteorológicas se requieren en el modelo variables relacionadas con la distribución espacial y temporal de la lluvia.

A éste respecto Cruz (1985) encontró que este modelo si predice aceptablemente los rendimientos para condiciones áridas y semiáridas. Para investigar la influencia que tiene una estación climatológica en la simulación, en éste estudio se observó que la predicción es aceptable en un radio de tres y medio km de la estación obteniéndose un coeficiente de determinación de .82 en la regresión lineal simple y que además un alto porcentaje de éstos sitios tienen un manejo bueno (79% alto-medio). Siendo un indicativo de que el modelo puede ser útil bajo éstas circunstancias del estudio, una vez que se hagan los ajustes necesarios relativos al manejo y variabilidad de la lluvia.

5.11. Prueba de hipótesis

a) En este estudio realizado en la región del Mpio. de Jalpa, Zac. en donde se muestreo el rendimiento comercial de maíz y otras variables del suelo, se encontró que el rendimiento tiene una distribución normal en cada unidad de suelos, con lo cual se hizo una clasificación de manejo de suelos partiendo de unidades propuestas por DETENAL, por lo cual se acepta la primera hipótesis.

b) Al hacer la simulación en las unidades cartográficas por medio del modelo SIMRE, éste no es capaz de predecir el rendimiento en cada unidad de

suelos de DETENAL, por lo cual se rechaza la segunda hipótesis a nivel de toda el área de estudio.

Más sin embargo al hacer la simulación en sitios cercanos a la estación climatológica la predicción del rendimiento es aceptable por lo que a nivel puntual se acepta la segunda hipótesis.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En el presente capítulo se dan las conclusiones para éste trabajo, que se enumeran enseguida:

1. Tanto con los métodos univariados como con los multivariados es posible formar grupos con igual respuesta al manejo.
2. El manejo tecnológico del cultivo influyó en forma decisiva en el agrupamiento de los suelos.
3. El agrupamiento de los suelos usando las técnicas multivariadas es más exacta debido a que además del rendimiento intervienen como variables del suelo las constantes de humedad, densidad aparente, profundidad del suelo, humedades residuales aprovechables en etapas fenológicas del cultivo, lo cual le da mayor peso a la clasificación.
4. Es posible usar la cartografía de suelos realizada por DETENAL para hacer una clasificación de manejo y obtener así una cartografía de manejo.
5. Hay poca exactitud en el sistema de DETENAL para clasificar con claridad los suelos someros. Debido a que el proyecto FAO no es un sistema de clasificación de suelos sino una nomenclatura y al ser aplicada por DETENAL tiene fallas conceptuales sobre la definición de las unidades aplicadas a una escala grande (1:50 000) ya que provienen de una escala chica (1:5'000 000).
6. El modelo de simulación SIMRE, utilizado bajo condiciones de maíz de secano y con las características del muestreo, sí predice acertadamente el rendimiento del cultivo, siempre y cuando los datos meteorológicos sean representativos del lugar bajo simulación.

6.2. Recomendaciones

1. Se recomienda hacer un estudio socioeconómico para que se defina con claridad las circunstancias del nivel de manejo de los suelos, así como para determinar los componentes más importantes de éste. E identificar las características de los productores por unidad de suelos que puedan estar dispuestos a adoptar alguna tecnología.
2. El modelo tiende a predecir el rendimiento del cultivo en los suelos con manejo bueno por lo cual es necesario incluir en el modelo la variable referente al nivel de manejo que incluya: variedades de maíz, nivel de fertilización plagas y malezas principalmente.
3. Es necesario incluir en el modelo variables más reales referentes a la infiltración del agua en el suelo, por lo cual se recomienda hacer un estudio más amplio de infiltración en diferentes suelos.
4. Se debe incluir en el modelo variables relacionadas con la variabilidad espacial y temporal de la lluvia.
5. Se recomienda probar el modelo usando una clasificación de suelos más exacta donde se utilice la serie o fase, como el sistema Estadounidense o Ruso.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Aguilera C.M. y E.R. Martínez. 1986. Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. 3a. Ed. Univ. Aut. Chapingo. Chapingo, México p(60-167, 193-280).
- Andrade A., J.R. 1986. Cultivo del frijol en Aguascalientes, situación actual y comparación del plasma germinal 1940-1984. Tesis de MC. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 253 p.
- Boul, S.W.; F.D. Hole y R.J. McCracken. 1981. Génesis y clasificación de suelos. Trillas. México. p. 365-377.
- Baver, L.D., W.H. Gardner y W.R. Gardner. 1980. Física de suelos. UTEHA. México. p. (50-100).
- Camargo H., A. 1983. Estudio de la variabilidad de la sortividad y conductividad hidráulica saturada en tres series de suelos y su uso para la predicción de infiltración. Tesis de Licenciatura. Univ. Aut. Chapingo, Chapingo, México. p (12-16).
- Campbell G.S. 1985. Soil physics with basic. Transpot models for soil-plant-systems. Developments in soil science No. 14. Elsevier. New York. p 60-62, 65-67, 73-77, 98-99.
- Catalán V.E. 1987. Modelo hidrodinámico para la predicción del avance en riego por melgas. Tesis de MC. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. (1-7, 20-21).
- Chadule G. 1980. Iniciación a los métodos estadísticos en Geografía. La geografía y sus problemas. Colección ElCano. Ariel. Barcelona. 284 pp.
- Cortés T.H.G. 1987. Análisis de la distribución estadística de las intensidades de lluvia en el área de estudio del CREZAS-CP. Tesis de Licenciatura Univ. Aut. Chapingo, Chapingo, México. 128 pp.
- Córdoba A.M. 1985. Prueba de bondad de ajuste de las funciones lognormal, gamma incompleta, exponencial y raíz cúbica a duración y magnitud de lluvias mediante los estadígrafos de Kolgomorov-Smirnov y Smirnov. Tesis de licenciatura. UACH. Chapingo, México. Inédito.
- Cruz C.B. 1985. Predicción de rendimientos con base en información edafoclimática. Tesis licenciatura. Univ. Aut. Chapingo, Chapingo, México. 108 pp.
- USDA. 1979. Semillas. CECSA. p. (786-787).
- DETENAL. 1974. Cartas edafológicas 1:50 000. Tepechitlan y Jalpa (F12-D26 y F13 - D27). DETENAL. México. Mapa.
- DETENAL. 1974. Cartas de uso del suelo 1:50 000. Tepechitlan y Jalpa (F13- D26 y F13 - D27). DETENAL. México. Mapa.

- Douchaufour P. 1975. Manual de edafología Toray-Masson, S.A. Barcelona, p. 397-406.
- FAO. 1980. Pronóstico de cosechas basado en datos agrometeorológicos (serie producción y protección vegetal No. 17). Roma 66 pp.
- FAO. 1974. Los métodos de simulación en el aprovechamiento de los recursos hídricos (serie riego y drenaje No. 23). Roma 65 pp.
- Fernández R.M. 1986. Evaluación de seis patrones de cultivos y sus balances de agua bajo condiciones de secano. Tesis de MC. Colegio de Postgraduados Chapingo, México. 151 pp.
- Figueroa S.B. 1985. Determinación de constantes de humedad (p. 79-95). Benjamín Figueroa S y Abelardo Nuñez B. (Eds.) En: Determinación de las principales propiedades físicas de los suelos agrícolas (Simposio Nacional, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo) San Luis Potosí, SLP. México.
- García E. 1981. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Enriqueta García de Miranda. México. 252 pp.
- Gaucher G. 1971. El suelo y sus características agronómicas. Omega. Barcelona p (276-279).
- Gavande S.A. 1979. Física de suelos, principios y aplicaciones. Limusa, México. p. 157-198.
- Gerez V. y Grijalva M. 1976. El enfoque de sistemas. 1a. ed. Limusa. México. 580 pp.
- González Cossío F.V. 1985. Determinación de propiedades físicas del suelo mediante muestreo estadístico p. (96-114). Benjamín Figueroa S. y Abelardo Nuñez B. (eds) En: Determinación de las principales propiedades físicas de los suelos agrícolas (Simposio Nacional, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo). San Luis Potosí, SLP. México.
- González Cossío F.V. 1988. Curso de métodos estadísticos multivariados. CREZAS. Colegio de Postgraduados. Salinas, SLP. México. Manuscrito.
- González F.G.M. 1986. Planteamientos, alternativas y efectos de matrices mal condicionadas en el análisis de correlación canónica. Tesis MC. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. p (5-30).
- Hastings N.,A.J. and J.B. Peacock. 1975. Statistical distributions. A handbook for students and practitioners. John Wiley. New York. 130 pp.
- Henin S.R. Gras y G. Monnier. 1972. El perfil cultural. Mundi-Prensa. Madrid. 342 pp.
- Hillel, D. 1980. Applications of soil physics. Academic Press, New York. p. 6-10, 109-110.

- Infante C.S. 1980. Métodos estadísticos no paramétricos. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. p. 3-96.
- Infante G.S. y G.P. Zarate L. 1984. Métodos estadísticos. Un enfoque interdisciplinario. Trillas. México. p. 127-236.
- Inzunza, I.M.A. 1986. Respuesta del maíz a variaciones del régimen de humedad en el suelo en tres etapas de su desarrollo. Tesis MC. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 180 pp.
- Jasso Ch. C. 1985. Influencia de algunos sistemas de labranza sobre las propiedades físicas del suelo, producción de materia seca y extracción de nitrógeno en sorgo bajo condiciones de temporal. Tesis MC. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. p. (5-30).
- Johnson R.A. y D.W. Wichern. 1982. Applied multivariate statistical analysis. Prentice Hall. New Jersey, USA. P. 151-156.
- Kaurichev I.S.; Panov N.P.; Stratonovich M.V.; Grechin I.P. Savich V.I.; Ganzhara N.F. y Merzhin A.P. 1984. Prácticas de edafología. Mir Moscú. p. 230-243.
- Keith E.; E. Sacton y C.G. Blum. 1981. Regional prediction of crop water stress by soil water budgets and climatic demand. American Society of Agricultural Engineers.
- Kendall M. 1975. Multivariate Analysis. Charles Griffin. Londres p. (30-40).
- Kramer P.J. 1974. Relaciones hídricas de suelos y plantas, una síntesis moderna 1a. ed. Edutex. México.
- Linsdley J.R.K.; M.A. Kohler y J.L. Paulhus H. 1977. Hidrología para ingenieros. 2a. ed. Mc. Graw Hill. México.
- Luque M.,R.E. 1984. Patrones de distribución de la lluvia en el tiempo y su aplicación en modelos de simulación del sistema suelo-planta-atmósfera. Tesis MC. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 157 pp.
- Marinato M.,R. y Palacios v.,E. 1982. Respuesta del cultivo de trigo a variaciones de la humedad en el suelo en diferentes etapas de crecimiento. En: Agrociencia edición especial. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. p. (87-100).
- Mojarro D.F. y Palacios V.E. 1982. Ajuste de las funciones de Jensen-Haise, Harton y Norero para la estimación de la evapotranspiración. En: Agrociencia edición especial. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. p. 125-136.
- Moncada M.,E.D. y Palacios V.E. 1985. Aplicación de un modelo de simulación para predecir las escorrentías mensuales en una cuenca. En Agrociencia No. 59. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Moreno B.,A. y Jauffred M.,F.J. 1973. Elementos de probabilidad y estadística. Representaciones y servicios de ingeniería, S.A. México. p. 10-81.
- Morey V.R.; Gilley R.J.; Bergorud G.F. y Dirkzwager R.,L. 1980. American Society of Agricultural Engineers. p. (1165-1170).
- Ochoa G.,A. 1986. Efecto de la lluvia sobre el rendimiento de maíz bajo los sistemas agrícolas de temporal y humedad residual en el Plan Puebla. Tesis MC. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 98 pp.

- Orozco S.,V.; Quiñonez G.H y Allende L.,r. 1977. Manual para la aplicación de las cartas edafológicas de DETENAL para fines de ingeniería civil. SPP. DETENAL. México 80 pp.
- Ortiz S.,C.A. 1984. Elementos de agrometeorología cuantitativa, con aplicaciones en la República Mexicana. Univ. Aut. Chapingo. Chapingo, México. 235 pp.
- _____ y Cuanalo C.,H. 1984. Metodología del levantamiento fisiográfico. Un sistema de clasificación de tierras. 2a. ed. Colegio de Postgraduados Chapingo, México. 86 pp.
- Ortiz V.,B. y Ortiz S.,C.A. 1980. Edafología. 3a. ed. Univ. Aut. Chapingo, Chapingo, México. p (90-130).
- Orlocci L. 1978. Multivariate analysis in vegetation research. Dr. W. Junk B.V. Publishers. Boston P (309-317).
- Osuna C.,E.S. 1987. Efecto de la lluvia sobre las propiedades físicas de los suelos laboreados. Tesis MC. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Méx. 182 pp.
- Palacios V.E. 1981. Introducción a la teoría de la operación de distritos y sistemas de riego. 2a. ed. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México p. (36-86, 200-254).
- _____. 1984. Construction and use of a response function ob beans to soil moisutre. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 55 pp.
- Palacios V.E. 1982. Estimación de los requerimientos de agua de los cultivos para conocer el cuando y como regar. En: Agrociencia, Recop. de art. publicados en diferentes revistas técnicas. Colegio de Postgraduados Chapingo, Méx. p. 66-68.
- _____ y Martínez G.A. 1978. Respuesta de los cultivos a diferentes niveles de humedad del suelo. Univ.Aut. Chapingo, Chapingo, México. 149 pp.
- _____ y Jaspeado G.J.L. 1982. Método para estimar la tensión del suelo en función de su contenido de humedad. En: Agrociencia recopilación de artículos publicados en diferentes revistas técnicas. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. p 51-66.
- Pimentel L.,J. y Rodríguez O.J.M. 1985. Evaluación de un métodos para cartografiar tierras erosionadas en zonas áridas y semiáridas. Tesis licenciatura. Univ. Aut. Chapingo, México. p. 102-107.
- Raisz E. 1978. Cartografía general. 2a. ed. Omega. Barcelona p (5-7, 310-337).
- Reyes C.,P. 1982. Diseño de experimentos aplicados. Trillas. México. 344 pp.
- _____. 1980. Bioestadística aplicada. 1a. ed. Trillas. México. 217 pp.

- Ritchie J. T. 1972. Modelo para predecir la evaporación de un cultivo en hilera con cubierta incompleta. Vol. 8:5 Water Resources Research.
- Rodríguez, S.,E. 1987. Los sistemas de agricultura de temporal en el ejido Villa Hidalgo, Zac. y su efecto en las propiedades del suelo. Tesis licenciatura. Univ.Aut. Chapingo, Chapingo, México. p. 29-32, 50-56.
- Rodríguez Z.,C. y Palacios V.E. 1982. Efecto de la tensión de la humedad del suelo sobre tres etapas fenológicas del cultivo. Agrociencia. edición especial.Colegio de Postgraduados. Chapingo, México p(113-124).
- Rojas B., J.R. 1983. Validación de un modelo de predicción para rendimiento de grano de frijol. Tesis MC. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 142 pp.
- Rojas, A.M.A. y Palacios V.E. 1982. Modelo de simulación digital del sistema suelo,planta,atmósfera para estimar rendimiento de cultivos. Agrociencia. Edición Especial. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. p (43-52).
- Sánchez V.G. 1987. Estudio preliminar sobre distribución y variabilidad de Opuntia joconostle Weber en el estado de Zacatecas. Tesis licenciatura Univ. Aut. Chapingo. Chapingo, México. 126 pp.
- SARN. 1983. Estudio agrológico de reconocimiento del Distrito de Temporal. No. 147. PLANAT. Jalpa. Zac. México. 63 pp.
- SAS. Institute Inc. 1982. Sas User's Guide: Statistics. Cary North Carolina, USA.
- Silva M.,C. 1978. Unidades de suelos, interpretadas para su uso en ingeniería civil y aprovechadas por el campesino en usos agropecuarios. 2a. ed. CECSA. México. 63 pp.
- Snedecor G.W. and Cochran W.G. 1980. Statistical methods. 1a. ed. the Iowa State University, USA. p. 17-23, 39-41.
- Soto, E.M. 1978. Uso de la carta climática de DETENAL. SPP. México. 23 pp.
- Spiegel M.R. 1976. Probabilidad y estadística. (Serie Schaum) Mc Grau Hill. México. p (38-75, 108-154).
- SPP. 1980. Guías para la interpretación de cartografía. Geología. DETENAL. México. 32 pp.
- SPP. 1981. Guías para la interpretación de cartografía. Cartas Urbanas. DETENAL. México. 31 pp.
- SPP. 1979. Descripción de la leyenda de la carta edafológica. DETENAL. DETENAL. México. p(3-104).
- Steel G.D.R. & Torrie H.J. 1985. Bioestadística principios y procesamientos. MC Graw-Hill, 2a. ed. (1a.en español) México p (39-83, 533-553).

- Tanaka A.Y y Yamaguchi J. 1981. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento de grano en maíz. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 120 pp.
- Universidad Autónoma Chapingo. 1982. Prácticas de fisiología vegetal. Chapingo, México. (80-97).
- _____. 1984. Notas de curso de fitoproducción. Chapingo, México.
- Yamane T. 1979. Estadística. Harla. México. p(73-82).

ANEXO No. 1

NIVEL DE MANEJO

Este fué dividido arbitrariamente según los siguientes factores.

1. Nivel alto. Son suelos donde se fertiliza con nitrógeno, fósforo (relación 2:1) o solo nitrógeno y adición de materia orgánica (estiércol vacuno). La preparación de suelos se hace con maquinaria la cual consiste de barbecho y rastra. Se siembra y se escarda con maquinaria o se escarda con tracción animal. Se deshierba usando productos químicos o se hace manualmente. Se controlan plagas solo en granos almacenados, en campo es muy raro. Se usa semilla criolla seleccionada.

2. Nivel medio. En éstos suelos se fertiliza solo con nitrógeno y algún año se aplica materia orgánica. La preparación de suelos es con tracción animal, la cual consiste en un barbecho de deslome y cruza con arado de vertedera y solo cuando tienen recursos y disposición de maquinaria se hace solo barbecho. Se usa maíz criollo se deshierba manualmente no se combaten plagas y la siembra se hace manual con tracción animal, al igual que la escarda y la segunda escarda.

3. Nivel bajo. En estos suelos no se fertiliza, por lo regular no se preparan los suelos. Se siembra semilla criolla, se siembra con tracción animal no se deshierba, no se combate plagas y por lo general nada más se hace la primera escarda.

Se puede considerar que la agricultura de un nivel de manejo alto es más comercial y en donde además se utilizan los paquetes tecnológicos y de crédito agrícola que ofrecen las instituciones de éste ramo. Mientras tanto las otras dos son más bien de autoconsumo.

FLUVISOLES

OBSERV.	P(X)EMPI.	Z	P(X)TEOR.	DIFER #1	DIFER # 2
.25	.0434782609	-1.35259259	.0880929544	.0446146935	.0880929544
.28	.130434783	-1.13037037	.129160121	1.27466198E-03	.0856818598
.3	.217391304	-.98222223	.162995157	.0543961477	.032560374
.32	.260869565	-.834074075	.202119522	.0587500432	.0152717823
.36	.304347826	-.537777779	.29536514	8.98268621E-03	.0344955747
.37	.47826087	-.463703705	.321429955	.156630915	.0170821286
.39	.52173913	-.315555557	.376169903	.145569227	.102090967
.41	.565217391	-.167407409	.433524622	.13169277	.0882145087
.45	.652173913	.128888887	.55127738	.100896533	.0139400114
.5	.739130435	.499259258	.691201705	.0479287298	.0390277919
.56	.869565217	.942703703	.827339512	.0422257057	.0882090768
.58	.913043478	1.09185185	.862550877	.0504926017	7.01434072E-03
.62	.956521739	1.38814815	.917453991	.0390677482	4.41051251E-03
.8	1	2.72148148	.996750447	3.24955303E-03	.040228708

Cuadro 20A. VALORES DE LA UNIDAD FLUVISOL PARA LA PRUEBA DE NORMALIDAD SEGUN KOLMOGOROV-SMIRNOV.



REGOSOLES

OBSERV.	P(X)EMPI.	Z	P(X)TEOR.	DIFER. # 1	DIFER # 2
.15	.058	-1.698	.044	.141	.044
.22	.117	-1.084	.139	.021	.080
.23	.294	-.996	.159	.134	.041
.25	.352	-.820	.205	.147	.088
.32	.411	-.206	.418	6.505	.065
.34	.470	-.030	.487	.017	.075
.35	.529	.057	.522	6.657	.052
.36	.588	.144	.557	.030	.028
.38	.647	.329	.625	.021	.037
.41	.705	.583	.720	.014	.073
.42	.823	.671	.749	.074	.043
.45	.882	.935	.825	.057	1.584×10^{-3}
.52	.941	1.549	.939	1.794×10^{-3}	.057
.56	1	1.900	.971	.028	.030

Cuadro 20B. VALORES DE LA UNIDAD REGOSOL PARA LA PRUEBA DE NORMALIDAD SEGUN KOLMOGOROV-SMIRNOV.

FEOZEM					
OBSERV.	P(X)EMP 1.	Z	P(X)TEOR.	DIFER # 1	DIFER # 2
.18	.055	-1.537	.062	6.575×10^{-3}	.062
.24	.222	-.958	.168	.053	.113
.25	.333	-.862	.194	.139	.027
.29	.388	-.476	.316	.071	.016
.31	.444	-.283	.388	.056	4.960×10^{-4}
.33	.5	-.090	.463	.036	.019
.34	.555	5.785×10^{-3}	.502	.053	2.308×10^{-3}
.35	.611	.102	.540	.070	.014
.37	.722	.295	.616	.106	4.923×10^{-3}
.38	.777	.391	.652	.125	.069
.42	.833	.777	.781	.051	3.714×10^{-3}
.47	.888	1.259	.896	7.168×10^{-3}	.062
.52	.944	1.741	.959	.014	.070
.56	1	2.127	.983	.016	.038

Cuadro 20C. VALORES DE LA UNIDAD FEOZEM PARA LA PRUEBA DE NORMALIDAD SEGUN KOLMOGOROV-SMIRNOV.

CASTAÑOZEM

OBSERV.	P(X)EMP 1.	Z	P(X)TEOR.	DIFER # 1	DIFER # 2
.20	.031	-1.465	.071	.040	.071
.23	.093	-1.240	.105	.012	.074
.25	.125	-1.103	.134	9.910×10^{-3}	.041
.27	.156	-.958	.168	.012	.043
.28	.187	-.886	.187	2.018×10^{-4}	.031
.29	.25	-.814	.207	.042	.020
.31	.281	-.669	.251	.029	1.645×10^{-3}
.32	.343	-.596	.275	.068	5.983×10^{-3}
.33	.375	-.524	.299	.075	.043
.35	.406	-.379	.352	.054	.022
.37	.437	-.235	.407	.030	7.897×10^{-4}
.38	.468	-.162	.435	.033	2.165×10^{-3}
.40	.5	-.018	.497	7.216×10^{-3}	.024
.41	.562	.054	.521	.040	.021
.42	.687	.126	.550	.137	.012
.43	.718	.198	.578	.139	.018
.46	.75	.416	.661	.088	.057
.47	.812	.488	.687	.125	.062
.49	.843	.633	.736	.107	.075
.56	.875	1.139	.827	2.215×10^{-3}	.029
.58	.906	1.284	.900	5.756×10^{-3}	.025
.60	.937	1.429	.923	.013	.017
.65	.968	1.790	.963	5.405×10^{-3}	.025
.85	1	3.230	.999	6.017×10^{-4}	.030

Cuadro 200. VALORES DE LA UNIDAD CASTAÑOZEM PARA LA PRUEBA DE NORMALIDAD SEGUN KOLMOGOROV-SMIRNOV.

ANEXO 3. Funciones discriminantes

Cuadro 21. Funciones discriminantes. Las reclasificaciones de las observaciones está dada en base a las funciones lineales discriminantes.

VARIABLE	S E R I E			
	H	J	K	R
Constante	-4631.3	-4963.3	-4789.9	-4795.0
CC	-26.6	-26.1	-26.3	-26.7
PMP	7.1	4.3	5.6	6.3
DAP	-672.9	-754.8	-709.1	-704.0
Profundidad	7.3	8.0	7.6	7.5
H. vegetativa	16983.9	17692.4	17321.6	17280.0
H. floración	-3250.7	-3418.1	-3319.6	-3306.0
H. madurez	-751.6	-780.5	-775.8	-773.1
Rendimiento	-76.6	-56.3	-67.9	-73.8

Anexo No. 4. Programas de procedimiento SAS.

```

PROGRAMA SAS CANDISC.
1 - DATA A;
2 - INPUT CC PMP PROF HUEG HFLO HMD REND SERIE $;
3 - CARDS;
4 - PROC PRINT;
5 - PROC CANDISC OUT = ANUACA OUTSTAT = AUC ALL;
6 - VAR PROF CC PMP HUEG HFLO HMD REND DAP;
   CLASS SERIE;
7 - PROC PRINT DATA = ANUACA
8 - PROC PLOT DATA = ANUACA
9 = PLOT CAN 2 * CAN 1 = SERIE/HXIS - 5.0 to 5.0 BY 0.5 VAXIS -3.0 to 4.5
   BY 0.5

```

PROGRAMA SAS DISCRIM

```

1. DATA A; INFILE ARCH;
2. INPUT CC PMP DAP PROF AVEG HFLO HMD REND SERIE $;
3. PROC SCORE DATA = A SCORE = AUC OUT = UACA;
4. DATA SH SJ SK SR
5. SET UACA
6. IF SERIE = 'H' THEN DO;
7. IF CAN 1 GE -.01266 & CAN 1 LE 1.2340 THEN C 11 = 'HT'
8. OUTPUT SH; END
9. IF SERIE = 'J' THEN DO;
10. IF CAN 1 GE -1.8746 & CAN 1 LE -0.9675 THEN C11 = 'JT'
11. OUTPUT SJ; END.
12. IF SERIE = 'K' THEN DO;

```

```
13. IF CAN1 GE -0.9922 y CAN 1 LE 0.5348 THEN C11 = 'KT'
14. OUTPUT SK; END
15. IF SERIE = 'R' THEN DO;
16. IF CAN 1 GE -1.1087 & CAN 1 LE 1.0292 THEN C11 = 'RT'
17. OUTPUT SR; END
18. DATA X; SET SH SJ SK SR
19. PROC PRINT
20. DATA CA 11 t C11 NT; SET X;
21. IF C11 ' ' THEN OUTPUT C11 NT; ELSE OUTPUT C11 T;
22. PROC DISCRIM WCORR LIST LISTERR DATA = C11 T TESTDATA =C11 NT OUT=DISC;
23. CLASS SERIE;
24. VAR CC PMP DAP PROF HUEG H FLO HMAD REND;
25. PRIORS H = 0.2174 J=0.2391 K=0.3478 R=0.1957;
26. TITLE 'ANALISIS TIPICO, C11';
27. PROC DISCRIM DATA = DISC TESTDATA = C 11 NT TESTLIST;
28. CLASS SERIE;
29. TEST CLASS SERIE; VAR CC PMP DAP PROF HUEG HFLO HMAD REND;
30. TITLE 'ANALISIS NO TIPICO C11';
```

Anexo No. 5. Glosario de abreviaturas.

SAS = Paquete estadístico : statistical Analysis Systems

SIMRE = Modelo de simulación de rendimientos

AIDA = Paquete estadístico. Apple interactive data analysis

STATPRO = Paquete estadístico. Statistical procedures

INIFAP = Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Pecuarias

CC = Capacidad de campo

PMP = Punto de marchitez permanente

DAP = Densidad aparente

PROF = Profundidad del suelo

HVEG = Humedad residual aprovechable en etapa vegetativa

HFLO = Humedad residual aprovechable en etapa de floración

HMAD = Humedad residual aprovechable en etapa de madurez

REND = Rendimiento

UNIVARIATE = Procedimiento del paquete SAS. Calcula normalidad multivariada

CANDISC = Procedimiento del paquete SAS. Agrupa individuos

DISCRIM = Procedimiento del paquete SAS. Reclasifica individuos

CAN 1 = Variable secundaria en el análisis multivariado producto de las variables originales

CAN 2 = Variable secundaria en el análisis multivariado producto de las variables originales

ARCHIVO = Programa de cómputo para archivar datos climáticos

AJUSTE = Programa de cómputo para hacer regresiones

KOLMOSMIR = Programa de cómputo para hacer la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov.

```

1 HOJE
10 PR# 1 PRINT * * * SIMRE *
   * *
15 HTAB 7: FLASH : PRINT "SUELO-
   PLANTA-ATMOSFERA": NORMAL
20 DIM EVP(365).PREC(365).HA(365
   )
30 PRINT : PRINT "QUIERES CREAR
   UN ARCHIVO DE DATOS?. S/N":
   GET A$
40 IF A$ = "N" THEN 140
50 PRINT : PRINT : INPUT "DESDE
   QUE DIA QUIERES CREAR EL ARC
   HIVO ?":DI: PRINT
60 PRINT : INPUT "HASTA QUE DIA
   ?":NDIAS
70 PRINT "MECE LOS DATOS: PREC.E
   VP"
80 FOR I = DI TO NDIAS
90 INPUT PREC(I).EVP(I)
100 NEXT I
110 GOSUB 400: REM CREANDO EL
   ARCHIVO
140 DIM LOC(10).PMP(10).DACC(10).H
   RA(10)
150 DIM OCC(10).LNC(10).LX(10).B(10
   ).AC(10)
160 REM LEE DATOS DEL SUELO
165 HTAB 10: PR# 1
170 PRINT : PRINT : INPUT "NUMER
   O DE ESTRATOS ?":NES
175 PR# 1: PRINT NES
180 PRINT : PRINT TAB( 10):"INF
   ILTRACION": PRINT
190 PRINT TAB( 10):"1. RAPIDA"
200 PRINT TAB( 10):"2. MEDIA"
210 PRINT TAB( 10):"3. LENTA": PRINT
   : PRINT
220 PRINT TAB( 10):"ESCOGE UN N
   UMERO ": PR# 0
225 INPUT INF: PR# 1: PRINT INF
230 PRINT : PRINT TAB( 10):"ESC
   OGE UN TETA (DE 10 A 50) ":
   : PR# 0
235 INPUT TET: PR# 1: PRINT TET
240 PRINT : PRINT : PRINT TAB(
   10):"ENTRAN POR ESTRATO"
242 PRINT : PRINT TAB( 10):"CC"
   : SPD( 7):"PMP": SPD( 7):"DA
   ": SPD( 7):"HRA": PR# 0
245 FOR J = 1 TO NES
250 PRINT : INPUT "CC.PMP.DA.HRA

```

```

" : CC(J), PMP(J), DA(J), HRA(J)
255 PR# 1: PRINT TAB( 9): CC(J):
    TAB( 18): PMP(J): TAB( 28): D
    A(J): TAB( 38): HRA(J): PR# 0
260 LCC(J) = (CC(J) - PMP(J)) * D
    A(J) * 1.5
270 LC(J) = LCC(J) * HRA(J): LM(J) =
    1.8 * LCC(J): NEXT J
280 VM1 = 15 / INF
290 IF INF = 3 THEN VM1 = 4
300 VMA1 = 4 * VM1
310 REM LEE DATOS DEL CULTIVO: P
    RINT
320 PR# 1: PRINT : PRINT TAB( 1
    0): "HO. DEL DIA DE SIEMERA
    ": PR# 0
321 INPUT SID: PR# 1: PRINT SID:
    PR# 0
330 PRINT : INPUT "R.P.F. CA": RP.F
    .CA
332 PR# 1: PRINT : PRINT TAB( 1
    0): "R.P. = " : RP : " F = " : F : "
    CA = " : CA : PRINT : PRINT :
    PR# 0
340 INPUT "ICV. II. I2": ICV. II. I2
345 PR# 1: PRINT TAB( 10): "I1 =
    " : ICV : " I2 = " : I2 :
    " : I2 : PRINT : PRINT
350 PRINT TAB( 10): "COEFICIENTE
    S DE LA FUNCION POLINOMIAL (
    10)": PRINT
360 FOR I = 1 TO 10: K = I - 1
370 PRINT TAB( 15): "B": K: " = " :
    : PR# 0
380 INPUT B(I)
385 PR# 1: PRINT B(I): NEXT I
390 PRINT : PRINT TAB( 10): "COE
    FICIENTES DE LA FUNCION DE S
    TEWART (4)": PRINT
400 FOR I = 1 TO 4: K = I - 1
410 PRINT TAB( 15): "A": K: " = " :
    : PR# 0
420 INPUT A(I)
425 PR# 1: PRINT A(I): NEXT I: PRINT
430 PRINT TAB( 10): "COEFICIENTE
    DE NOMBRE " : : PR# 0
435 INPUT C: PR# 1: PRINT C: PR#
    0
440 NP = NBS * 150
450 IF RP > NP THEN RP = NP
460 HIM = 1: H2M = 1: H3M = 1
470 INVERSE : PRINT : PRINT "ME
    VOY A LEER LOS DATOS DEL CLI
    MA": PRINT : PR# 0
475 FOR I = 1 TO 5000: NEXT I: NORNAL

```



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

```

490 GOSUB 4000: REM ARCHIVOS
530 INPUT "NUMERO DEL LUGAR":NH#

550 FOR N = 1 TO NBIAS
570 IF N < SID THEN NS = 0
580 IF N = SID THEN NS = 1
590 SPRE = SPRE + FREQ(N):SEV = S
    EV + EVP(N)
600 PCD = NS / ICV:OS = 7.6
610 KC = CA + F * (PCD ^ 2 - PCD ^
    3)
620 IF PRED(N) = 0 THEN IK = IK +
    1
625 IF PRED(N) > 0 THEN IK = 0
630 IF PRED(N) < NS AND PRED(N) >
    0 THEN OS = PRED(N) + 0 - EV
    P(N)
640 IF OS < 0 THEN OS = 0
650 CO = 1: IF KC < CO THEN CO =
    KC
660 IF PCD > .8 THEN CO = 1
670 EVS = (1 - CO) * .85 * EVP(N)
    + OS / 7.6 * E2P(1 - II)

690 Q = NS: IF EVS = 0 THEN CA =
    .2
690 PAR = KF * (PCD / (.15 + .85 *
    PCD))
700 IF NS = 0 THEN PAR = 000
710 IF PAR < 000 THEN PAR = 000
720 EN = INT (PAR / 150)
730 REM INFILTRACION DE LA LLUVIA
740 IF PRED(N) = 0 THEN 900
750 IV = VIM1 - (VIM1 - VIM1) * L
    (1) / LCC(1)
760 ESC = 0:VPI = PRED(N) / (.66 +
    .0256 * PRED(N))
770 IF IV > VPI THEN 790
780 ESC = PRED(N) * (1 - IV / VPI
    )
790 PREIN = PRED(N) - ESC:SECC =
    SECC + ESC
800 L(1) = L(1) + PREIN
810 IF L(1) < LM(1) THEN 840
820 VFIN = L(1) - LM(1):L(1) = LM
    (1)
830 GOTO 850
840 VFIN = 0
850 L(2) = L(2) + VFIN
860 FOR J = 2 TO EN:VFIN = 0
870 IF L(J) > LM(J) THEN VFIN =

```

```

      L(J) = LN(LJ)
880 L(J) = L(J) - VFIN:L(J + 1) =
      L(J + 1) + VFIN
890 NEXT J
900 REM CALCULO DE LA EVAPORACION
      YSPORACION
910 L(1) = L(1) - EVS
920 IF L(1) < 0 THEN L(1) = 0
930 LT = 0: TLC = 0
940 FOR J = 1 TO EN
950 LT = LT + L(J):TLC = TLC + LC
      (J)
960 NEXT J:HA1 = LT / TLC
970 IF HA1 > 1 THEN HA1 = 1
980 KS = 1 / (1 + (EVP(N) / TET) *
      (1 - HA1) / HA1)
990 XET = EVP(N) * KS
1000 ET = XET * XPRIM * XTERC + B(10) * NYWA
      * XTERC
1010 GOTO 1380
1020 XPRIM = E1T / X1ET:XSEG = E2
      T / X2ET:XTERC = E3T / X3ET
1030 GOTO 1320
1040 REM CALCULO DEL RENDIMIENTO
      O MEJORADO DEL NITRATO
1050 B1 = X1ET / X1U * 100 + 1.33
      B2 = X2ET / X2U * 100 + 1.0
      + 1.33
1060 B3 = X3ET / X3CV * 100 + 1.0
      + 1.25
1070 R1 = CC * E1T / X1ET - CC -
      1.0 / B1
1080 R2 = CC * E2T / X2ET - CC -
      1.0 / B2
1090 R3 = CC * E3T / X3ET - CC -
      1.0 / B3
1100 NH3 = R1 + R2 * 10
1110 REM CALCULO RENDIMIENTO DE
      YODO DE STEWART
1120 O1 = 1 - E1T / X1ET:O2 = 1 -
      E2T / X2ET:O3 = 1 - E3T / X3
      ET
1130 SRS = A(1) + 10.0 * (A(2) *
      O1 / NET + A(3) * O2 / NET +
      A(4) * O3 / NET)
1140 SDRS = SPRE - ZGIV - SDRS
1150 REM IMPRIME RESULTADOS
1160 PR# 1
1170 PRINT : PRINT : PRINT TAB#
      100:"SIMULACION DE RENDIMIE
      TOS":
1180 PRINT " " : "DE " : NH3
1190 PRINT " " : "DIA": " " : S1U

```

```

1500 PRINT "*****
*****
*****"
1505 PR# 0
1510 PRINT : PRINT TAB( 10):"LL
UVIA TOTAL = ":SPRE:SPRE =
0
1520 PRINT TAB( 10):"EVP. TOTAL
= ":SEV:SEV = 0
1530 PRINT TAB( 10):"PERCOLACIO
N = ":SDRE:SDRE = 0
1540 PRINT TAB( 10):"ESCURRIMIE
NTO = ":SOEC:SOEC = 0
1550 PRINT TAB( 10):"EVAPOTRANS
P. = ":ZETV:ZETV = 0
1560 PRINT TAB( 10):"EVP. SUELO
= ":SUM:SUM = 0
1570 PRINT TAB( 10):"EVAPOTRA.
MAX. = ":MET:MET = 0
1580 PRINT : PRINT TAB( 10):"NU
MEROS RESIDUALES MINIMAS":
PRINT
1590 PRINT TAB( 10):"X1 = ":H1M
1600 PRINT TAB( 10):"X2 = ":H2M
1610 PRINT TAB( 10):"X3 = ":H3M
: PRINT : PRINT
1615 PR# 1
1620 PRINT TAB( 10):"RENDIMIENTO
OS"
1630 IF RE < 0 THEN RE = 0
1640 PRINT : PRINT TAB( 10):"PO
LIMOM. REND. = ":RE
1650 PRINT TAB( 10):"MORERO REN
D. = ":NRE
1660 PRINT TAB( 10):"STEWART RE
ND. = ":SRE: PRINT : PRINT
1665 PR# 0
1670 PRINT TAB( 10):"EVAPOTRANS
./DEFICITS EVAPTRAPS."
1680 PRINT : PRINT TAB( 14):"E1
": TAB( 28):"ETX": TAB( 42):
"DEF"
1690 PRINT TAB( 10):E1T: TAB( 2
4):X1ET: TAB( 38):D1
1700 PRINT TAB( 10):E2T: TAB( 2
4):X2ET: TAB( 38):D2
1710 PRINT TAB( 10):E3T: TAB( 2
4):X3ET: TAB( 38):D3
1711 PRINT : PRINT : PRINT : PRINT
1712 PRINT : PRINT : PRINT
1713 PR# 0
1770 H1M = 1:H2M = 1:H3M = 1

```

```

1775 SID = SID + 5
1780 IF SID > 192 THEN GOSUB 90
00
1795 PR# 1: PRINT : PRINT "LA SI
GUIENTE FECHA DE SIEMBRAS ES
EL DIA ":SID: PRINT : PRINT

1800 FOR J = 1 TO NIES
1810 L(J) = LCC(J) * HRA(J)
1820 NEXT J
1830 GOTO 560
1840 END
2000 REM GRAFICA
2010 INPUT "VAS A METER LOS DATO
S DESDE UN ARCHIVO (S/N) ":D
Z$
2020 IF DZ$ = "S" THEN GOSUB 32
00
2030 PR# 1: PRINT : PRINT : PRINT
: PRINT
2035 PRINT TAB( 5):"DIAS": TAB(
18):"N U M E R O D E S E
D U A L": PRINT
2040 PRINT TAB(10):"0 1 2 3
4 5 6 7
8 9 10"
2050 G$ = "S"
2060 PRINT TAB(10):"-----
-----
-----"
2070 FOR J = 1 TO 100
2075 PRINT TAB( 6):J:
2078 HTAB 10
2080 HA(J) = INT ( (HA(J) * 100) /
2)
2090 GOSUB 3000
2095 HTAB 1
2100 NEXT J
2110 RETURN
3000 FOR I = 1 TO HA(J)
3010 PRINT G$:
3020 NEXT I: PRINT
3040 RETURN
3200 RETURN
4000 REM ALMACENANDO DATOS
4012 REM ARCHIVO SECUENCIAL
4015 G$ = CHR$(4): REM CTRL-D
4020 HOME : VTAB 5
4030 HTAB 5: PRINT "1. ESCRIBIR
DATOS EN UN"
4035 HTAB 8: PRINT "ARCHIVO NUEV
O": PRINT
4040 HTAB 5: PRINT "2. ADICIONAR
DATOS A UN ARCHIVO"
4045 HTAB 8: PRINT "EXISTENTS": PRINT
4050 HTAB 5: PRINT "3. LEER DATO

```



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

```

S DE UN ARCHIVO"
4055 HTAB 8: PRINT "EXISTENTE": PRINT

4060 HTAB 5: PRINT ". SALIRSE D
EL PROGRAMA": PRINT
4070 GOSUB 4100: REM SELECCIONE
UN NUMERO
4080 IF I = 4 THEN HOME : RETURN

4085 ON I GOSUB 5000,6000,7000
4090 RETURN
4100 REM ESCOGER UN NUMERO
4110 INVERSE : PRINT "ESCOGE UN
NUMERO": NORMAL : PRINT "":

4120 GET A#
4130 I = VAL TAB)
4140 IF I < 1 OR I > 4 THEN 4120

4150 RETURN
5000 REM CREANDO UN ARCHIVO NUE
VO
5010 GOSUB 5200: REM PREPARANDO
LA ESCRITURA
5020 PRINT "PRESIONE LA TECLA D
PARA INTRODUCIR DATOS EN EL
DISQUETE": PRINT
5030 PRINT "PRESIONE CUALQUIER O
TRA TECLA PARA SALIRSE"
5040 GET A#
5050 IF A# < > "D" THEN HOME :
RETURN
5060 PRINT : INPUT "CUAL ES EL N
OMBRE DEL ARCHIVO ?":M#
5061 PRINT : PRINT
5070 PRINT D$:"OPEN":M#
5080 PRINT D$:"DELETE":M#
5090 PRINT D$:"OPEN":M#
5100 GOSUB 5300: REM ENTRAN LOS
DATOS
5110 PRINT D$:"CLOSE":M#
5120 RETURN
5200 REM PREPARANDO LA ESCRITUR
A
5210 HOME : VTAB 5
5220 PRINT "INSERTE EL DISQUETE
EN EL CUAL LOS DATOS SERAN A
LMACENADOS": PRINT
5230 RETURN
5300 REM ENTRAN LOS DATOS
5330 PRINT "ENTRAN LOS DATOS"
5340 PRINT D$:"WRITE":M#
5350 FOR I = 0 TO 10 DIAS
5360 PRINT PREC(I): PRINT EVPC(I)

```

```

5370 NEXT I
5380 RETURN
6000 REM ADICIONANDO DATOS A UN
ARCHIVO
6010 GOSUB 5200: REM PREPARANDO
LA ESCRITURA
6020 PRINT "PRESIONE 'A' PARA AD
ICIONAR DATOS": PRINT
6030 PRINT "PRESIONE CUALQUIER O
TRA TECLA PARA SALIRSE": PRINT

6040 GET A$
6050 IF A$ < > "A" THEN HOME :
RETURN
6060 PRINT : INPUT "NOMBRE DEL A
RCHIVO ?":N$
6070 PRINT D$:"APPEND":N$
6080 GOSUB 5300: REM ENTRAR LOS
DATOS
6090 PRINT D$:"CLOSE":N$
6120 RETURN
7000 REM LEER DATOS
7010 HOME : VIAD 5
7020 PRINT "1. LEER UN ARCHIVO E
NTERO": PRINT
7030 PRINT "2. LEER 'N' DATOS AD
MENZANDO EN LA LOCALIZACION
L": PRINT
7040 PRINT "3. LEER 'N' DATOS AL
AZAR": PRINT
7050 PRINT "4. SALIRSE": PRINT :
PRINT
7060 GOSUB 4100: REM ESCOGER UN
NUMERO
7070 IF I = 4 THEN HOME : RETURN
7080 ON I GOSUB 7100,7200,7300
7090 RETURN
7100 REM LEER UN ARCHIVO ENTERO
7105 HOME
7110 GOSUB 8000: REM PREPARANDO
LA LECTURA
7120 PRINT D$:"OPEN":N$
7140 INPUT "DESDE QUE DIA?":O1
7150 INPUT "HASTA QUE DIA":NDIAS

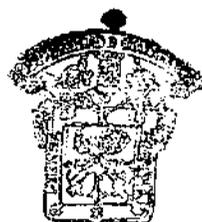
7160 PRINT D$:"READ":N$
7170 FOR I = O1 TO NDIAS
7180 INPUT PREC(I),EVP(I)
7190 PRINT PREC(I),EVP(I)
7195 NEXT I
7196 PRINT D$:"CLOSE":N$
7197 RETURN
7200 RETURN

```

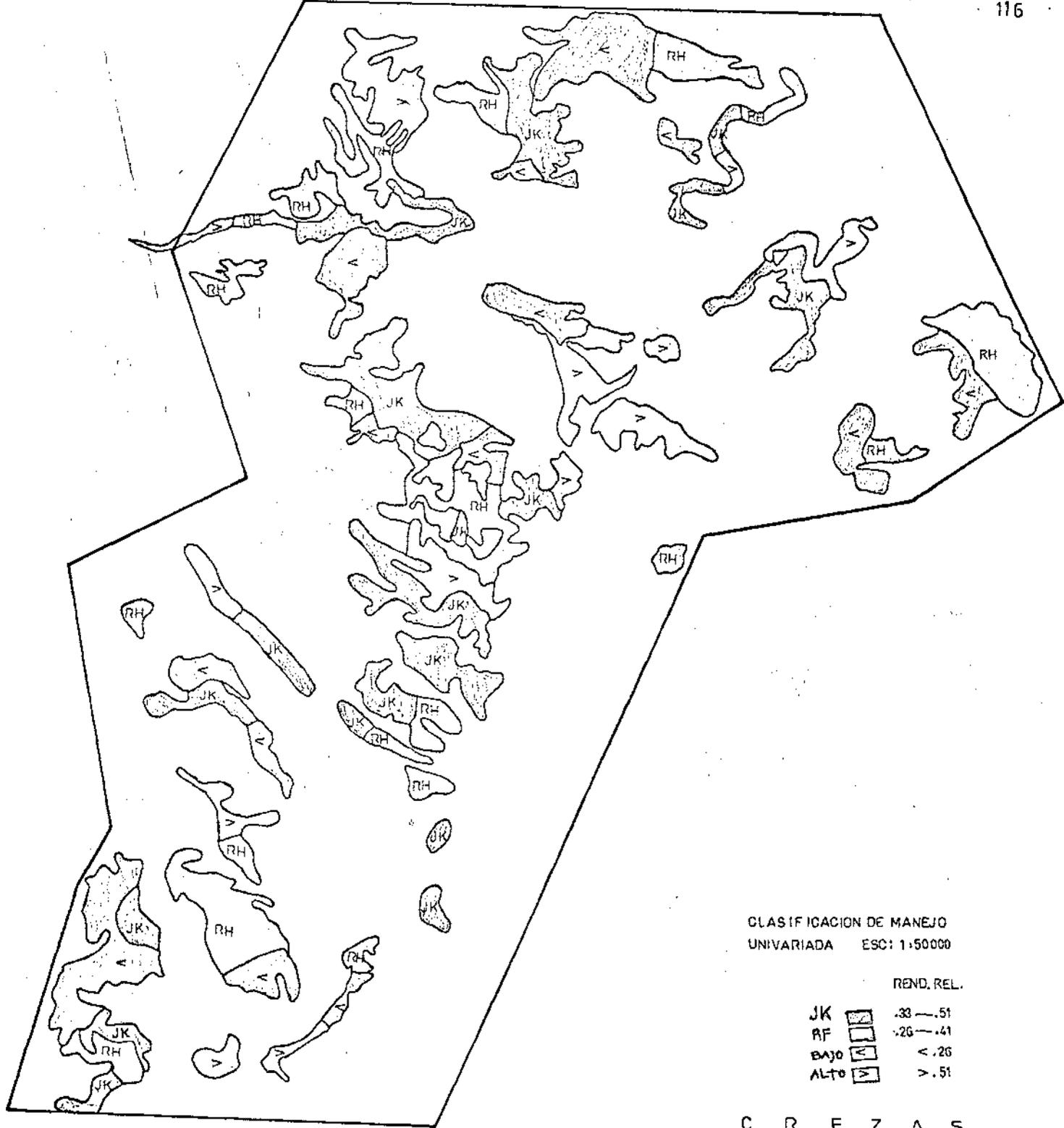
```

7300 RETURN
8000 REM PREPARANDO LA LECTURA
8010 PRINT "INSERTE EL DISCO QUE
CONTIENE LOS DATOS QUE VAN
A SER LEIDOS": PRINT
8030 PRINT "PRESIONE 'L' PARA LE
ER EL ARCHIVO": PRINT
8040 PRINT "PRESIONE CUALQUIER O
TRA TECLA PARA SALIRSE"
8050 GET A$
8060 IF A$ < > "L" THEN 8000
8070 PRINT : INPUT "NOMBRE DEL A
RCHIVO ?":N$
8080 IF N$ = "" THEN RETURN
8090 RETURN
9000 PRINT "CAMBIAMOS DATOS CLIM
ATICOS S/N"
9010 INPUT C$
9020 IF C$ = "S" THEN 9050S 400
0
9030 INPUT "NOMBRE LUGAR ":NHS
9040 INPUT "NOMBRE LA SINGULAR EN O
LA PLURAL"
9050 PRINT

```



**ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA**



C R E Z A S

JUAN CARLOS

