

Aplicación del análisis multivariado a una clasificación de suelos del orden Vertisol en Venezuela

Application of the multivariate analysis to a Vertisol order soils in Venezuela.

J. Francisco Lozada; Jesús M. Guedez E.

Departamento de Suelos, Decanato de Agronomía, Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, Edo. Lara.

RESUMEN

Se aplicó un análisis discriminante múltiple y uno de correlación canónica a 64 perfiles de Suelos del orden Vertisol, ubicados en Venezuela, que fueron agrupados de acuerdo a la croma del color del suelo en húmedo, según la clasificación propuesta por Icomert (1984) y separados, para este trabajo, en Aquert, aquellos perfiles que cumplían con los requisitos exigidos y No Aquert para el resto de los perfiles. Se concluyó que las variables que más discriminaban en la separación de los grupos, en orden de importancia, son la croma del suelo en húmedo, el contenido de sodio intercambiable, el pH, el porcentaje de arcilla y la conductividad eléctrica; que basados en estas cinco características los grupos son estadísticamente diferentes; que existían nueve perfiles de suelo mal clasificados y que el único eje de correlación canónica generado no hace una separación muy grande entre los grupos.

Palabras Clave: Vertisol, Aquert, análisis multivariado, clasificación de suelos.

ABSTRACT

Sixty four profiles of the Vertisol order, from Venezuela, were grouped according to the Munsell soil chroma moist, following the proposition presented by ICOMERT (1984) and split off into AQUERT and NO AQUERT. Discriminant analysis and canonical correlation were applied. It was found that soil color chroma moist, exchangeable sodium content, pH, clay content and electrical conductivity, were the most important soil characteristics for discriminating between soil groups. Based upon those soil characteristics, AQUERT and NO AQUERT soil groups are significantly different from each other. Nine soil groups were wrongly classified. Only one canonical correlation axis was generated and it does not make a good separation between groups.

Index words: Vertisol, Aquert, multivariate analysis, soils classification.

INTRODUCCIÓN

El Comité Internacional sobre Vertisoles (Icomert) ha venido desarrollando un trabajo conducente a la proposición de cambios en la clasificación de los Vertisoles, que mejoren las clases resultantes, tanto desde el punto de vista genérico como práctico (Icomert, 1981). Uno de los problemas detectados en la clasificación taxonómica actual, en el caso de los Vertisoles específicamente, es originado por las diversas condiciones de drenaje en que estos suelos se encuentran, que varían desde muy pobremente drenados a condiciones de mejor drenaje. La utilización de los Grandes Grupos Pell y Chrom no separan satisfactoriamente los suelos Vertisoles de acuerdo al criterio drenaje, coexistiendo suelos con drenaje muy deficiente con suelos mejor drenados dentro del Gran Grupo. Estudios realizados en Venezuela por Comerma y otros (1978) permitieron proponer la creación del Sub Orden Aquert, para incluir aquellos Vertisoles pobremente y muy pobremente drenados. (Icomert, 1982 y 1983).

En 1984, el Icomert propone una nueva clave para la clasificación del Orden Vertisol en donde se consideran las condiciones de drenaje, evidenciadas por características morfológicas, como criterio para separar Vertisoles a un alto nivel de abstracción, y se crea al Sub Orden Aquert, para agrupar aquellos suelos con un régimen de humedad aquíco (o artificialmente drenados, según sea el caso), y que en los primeros 50 cms de suelo, presenten colores dominantes, en húmedo, con croma de 1 o menos en ausencia de moteados y de 2 o menos cuando en el suelo exista moteado. Estos requisitos deben cumplirse en más de la mitad del pedón considerado. Es conocido que cuando los suelos son diferenciados sobre la base de características morfológicas, físicas y químicas, no se provee de información alguna que considere la diferencia entre los suelos en términos cuantitativos, su significancia a los niveles de tolerancia deseada y la importancia relativa de las diferentes características de suelo en separar los diferentes grupos. Goel et al. (1973).

Horton et al., (1968) consideraron que cuando se decide hacer un agrupamiento a priori, es a menudo deseable establecer si hay diferencias estadísticamente significativas entre los grupos formados; pero, si se utiliza un análisis univariado y la diferencia entre los grupos no es muy marcada se puede encontrar que aún cuando hayan sido medidas muchas variables, ninguna de ellas por sí sola producirá diferencias estadísticamente significativas entre los grupos; además un análisis univariado ignora la dependencia existentes entre variables, lo cual puede ser asumido muy bien como una fuente que no permita establecer diferencias entre los grupos, más aún si se piensa en los suelos como cuerpos politéticos. De aquí que existan dos problemas relacionados que son: primero, encontrar una técnica que permita hacer una discriminación entre los grupos existentes y segundo, que esta operación pueda ser realizada de la manera más económica posible tomando en cuenta el número de variables requeridas; en otras palabras, lo que se busca es un método que combine de una manera óptima las ventajas de una discriminación multivariada con una economía de tiempo y dinero. Si se dispone de una metodología tal, ella puede ser utilizada para hacer la comparación de los distintos suelos por su semejanzas o diferencias, a la vez que permite seleccionar el número mínimo de características posibles, y sus combinaciones necesarias para que se pueda hacer una discriminación entre los distintos grupos a cualquier nivel de clasificación.

Según Harmann et al, (1976), con el advenimiento de la computadora electrónica y el desarrollo de procesos estadísticos relacionados con la computación es ahora prácticamente posible seleccionar y aplicar cualquier programa de métodos de análisis multivariado que le permitan al investigador realizar todas las operaciones anteriormente expuestas.

Es tarea de esta investigación demostrar que utilizando el método P7M incluido en el paquete de programas del BMDP, se puede mejorar una clasificación de suelos del Orden Vertisol en Venezuela. El objetivo general del presente trabajo es el de analizar estadísticamente el comportamiento de una serie de variables morfológicas y químicas, en el agrupamiento de suelos Vertisoles, considerando como primer criterio de separación entre grupos, las condiciones de drenaje reflejadas por la croma del suelo, a través de la aplicación de la proposición de clasificación de Icomert (1984).

Los objetivos específicos son: 1) Analizar la aplicación de un análisis discriminante múltiple a una clasificación de suelos del orden Vertisol, con ejemplos de suelos venezolanos; 2) Analizar la aplicación de un análisis de correlación canónica a una clasificación de suelos del orden Vertisol en Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material de trabajo utilizado fué la descripción morfológica y resultados analíticos de 10 variables estudiadas en 64 perfiles, clasificados como Vertisoles en diferentes áreas del país (Lozada, 1987).

Las variables fueron: pH, Conductividad eléctricas (CE), Carbono orgánico (CO), Capacidad de intercambio catiónico (CIC), contenido de Sodio Intercambiable, (SOD), contenido de Arcilla, (ARC), Croma, (CRO), Value, (VAC), Matiz (MAT) y Contenido de CaCO₃. (CC).

Estas variables aparecen descritas en el Cuadro 1, para los 64 perfiles seleccionados.

Los 64 perfiles fueron agrupados de acuerdo al cromas, según la clasificación propuesta por Icomert (1984) y separados, para este trabajo en 2 categorías: Aquert, aquellos perfiles que cumplían los requisitos propuestos para este SubOrden y No Aquert aquellos perfiles que no satisfacían los requisitos exigidos para los Aquerts, con el fin de facilitar el tratamiento estadístico de los datos.

A estos dos grupos así obtenidos, se les aplicó un análisis discriminante múltiple y uno de correlación canónica, basado en el programa P7M, incluido en el paquete de programas computarizados de Biomedical-BMPD, y procesado en la sección de Estadísticas del FONAIAP, Maracay.

Los fundamentos teóricos sobre los cuales se basan, tanto el análisis discriminante múltiple como el de correlación canónica, fueron detallados por Lozada (1987).

De los 64 perfiles estudiados 55 se ubicaron en la categoría Aquert y los restantes en la categoría NO Aquert.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis Discriminante Múltiple

La aplicación del análisis discriminante múltiple permitió la elaboración del Cuadro 2.

En este Cuadro se presentan los valores de F para las diferentes variables cuando los dos grupos son comparados en un análisis de la varianza univariado. En dicho cuadro se puede observar que la variable con mayor valor de F es la Cromas del color del suelo en húmedo, lo cual trae como consecuencia que sea la primera variable en constituir la función de clasificación.

Para saber si los grupos son estadísticamente diferentes después de incluida en la función de clasificación la variable Cromas del color del suelo en húmedo, se calcula la U de Will.

$$U = 0.5875496$$

la cual tiene una distribución aproximada a la \hat{u} de Will con (1, 62, 1) G de L, cuya transformación a la distribución de F con 1 y 62 G de L, coincide con el valor de F calculado para la variable Cromas del color del suelo.

$$F(1, 62) = 43.523$$

lo cual indica que los grupos son estadísticamente diferentes con un nivel de significancia de 0.001.

Funciones de Clasificación para los Diferentes Grupos:

	Aquert	No Aquert
(n-g) \bar{X} XiW11-1ui'	2.19137	5.20758
$\ln P_i - 1/2(n-g) \bar{X} iW11-1 \bar{X} i$	-2.17830	-9.08025
$P_i = 1/2 = 0.5$	-	-

Xi: Promedio de la Cromas del color del suelo en húmedo.

Al ser aplicada esta función de clasificación a cada uno de los perfiles ui, el perfil ANO4 que pertenecía al grupo Aquert con un valor de 4.549 pasa al grupo No Aquert con un valor de 6.907, el perfil ANO6 que pertenecía al grupo No Aquert con un valor de 1.335 pasa al grupo Aquert con un valor de 2.2044, el perfil GU24 que pertenecía al grupo Aquert con un valor de 4.834 pasa al grupo No Aquert con un valor de 7.585, el perfil de GU25 que pertenecía al grupo Aquert con un valor de 3.673 pasa al grupo No Aquert con un valor de 4.824, el perfil PO32 que pertenecía al grupo Aquert con un valor 4.242, pasa al grupo No Aquert con un valor de 6.178 y el perfil YA34 que pertenecía al grupo Aquert con un valor 3.519 pasa al grupo No Aquert con un valor de 4.460. En conclusión, cuando el análisis discriminante múltiple en su función de clasificación tiene en cuenta a la variable Cromas del color del suelo en húmedo, se detecta que había cinco individuos del grupo Aquert y uno del grupo No Aquert mal clasificados.

El Cuadro 3 presenta en su lado izquierdo los valores de F calculados cuando se comparan los grupos en su análisis de covarianza, donde la covariable es la Cromas del color del suelo en húmedo. En él se puede observar que la segunda variable en entrar en la función de clasificación es el Sodio Intercambiable, además se puede observar que al ser tomada la Cromas del color del suelo en húmedo como covariable se reduce las diferencias significativas para el pH y el Sodio, y desaparecen las diferencias para el Carbono Orgánico y el Carbonato de Calcio. Del lado derecho del cuadro se pueden observar los valores de F calculados para la variable Cromas del color del suelo en húmedo cuando se comparan los dos grupos en un análisis de covarianza con el Sodio como covariable, lo cual indica que dicha variable se debe mantener en la función de clasificación. Conformada la función de clasificación por la Cromas del color del suelo en húmedo y el Sodio Intercambiable se calcula el estadístico U de Will.

$$U = 0.55655 \sim (2, 62, 1)$$

Cuya transformación a F es

$$F(2, 61) = 24.30$$

Lo cual indica que los grupos son estadísticamente diferentes con un nivel de significancia del 0.001.

Al ser aplicada esta función de clasificación a los diferentes perfiles de suelo ui, no se produce modificación alguna en la conformación de los grupos.

Cuadro 1. Características Morfológicas y Químicas de los Suelos estudiados.

PERFIL	pH	CO	CIC	SOD	CC	ARC	CE	MAT	VAL	CRO
IANOI	5.79	2.51	47.05	2.08	2.91	67.19	08.97	20.00	2.73	2.00
2AN02	5.36	1.72	43.25	1.26	2.19	71.56	05.96	20.00	2.80	2.00
3AN03	5.81	3.08	39.34	1.03	2.48	63.73	10.64	20.00	2.17	1.58
4AN04	6.53	1.58	45.85	0.15	6.16	42.68	01.25	20.00	3.07	3.07
5AN05	6.43	1.54	47.32	0.13	2.69	62.45	01.04	20.83	3.67	3.33
6AN06	6.38	1.15	49.20	0.16	3.54	68.82	00.30	21.50	3.60	2.00
7AN07	4.62	1.36	32.59	0.54	0.92	50.30	01.25	20.00	3.67	3.50
8AN08	6.11	0.97	28.58	3.96	1.08	59.58	04.08	20.58	4.12	3.23
9AN09	6.00	1.37	30.16	1.51	1.24	42.88	01.18	20.00	3.73	3.80
IOANOIO	6.70	1.29	37.07	0.23	2.38	72.60	00.36	20.00	4.00	3.00
11 ANO1	6.50	1.34	35.46	0.45	2.29	68.85	01.19	20.00	3.17	3.00
12 AP12	4.77	0.91	24.50	0.31	0.00	66.23	00.37	20.00	3.33	2.00
13 AP13	3.91	2.30	23.23	0.23	0.00	54.18	00.26	17.92	3.83	1.83
14 BA14	5.07	1.80	21.50	0.16	0.00	58.94	00.11	20.00	3.00	2.00
15 BA15	4.72	1.84	24.75	0.17	0.00	56.32	00.32	20.00	3.40	2.00
16 C016	5.77	1.45	29.20	0.20	1.89	49.31	00.36	23.50	4.00	2.00
17FA17	4.50	1.19	48.78	0.63	3.05	82.84	00.51	20.00	3.00	2.00
18 GU21	5.87	1.22	28.55	0.73	1.90	67.20	00.20	22.00	3.00	1.80
19 GU22	4.92	1.63	34.82	0.26	0.00	70.09	00.17	20.00	5.00	2.20
20 GU23	4.86	1.07	35.97	0.35	0.00	74.16	00.19	17.50	4.00	2.00
21 GU24	4.93	1.04	20.94	0.14	0.00	41.80	00.22	20.00	5.00	3.20
22 GU25	5.37	0.69	31.32	0.31	0.00	62.61	00.19	20.00	5.00	2.67
23 M026	7.90	0.48	26.43	0.33	1.49	60.51	00.52	20.00	4.07	3.73
24P027	5.82	1.18	21.93	1.50	1.00	59.87	00.24	18.33	3.67	1.33
25P028	6.10	1.60	36.05	0.43	0.00	42.57	00.17	25.00	3.00	2.00
26P029	5.94	2.55	32.52	0.29	0.00	44.38	00.50	25.00	3.33	1.67
27P030	6.55	0.69	19.46	0.29	0.00	47.40	00.70	25.00	4.83	1.83
28P032	6.99	3.65	36.71	0.14	2.03	60.39	00.72	22.50	4.23	2.93
29 YA34	6.80	1.46	53.48	0.70	1.72	52.12	00.44	20.75	2.60	2.60
30 YA35	6.33	1.46	29.88	0.39	1.98	44.97	01.09	23.16	3.53	2.27
31 W36	6.35	0.48	27.30	0.27	0.00	50.58	00.18	17.50	4.00	2.00
32 ZU37	5.37	0.82	25.12	1.92	0.00	51.43	03.74	17.50	4.13	3.40
33AP38	4.05	2.43	31.65	0.24	1.08	56.94	00.21	2000	4.00	1.00
34 AP39	5.00	3.44	43.01	0.21	1.39	71.17	00.49	20.00	2.58	1.00
35AP40	4.42	1.75	39.05	0.54	1.23	64.10	00.31	20.00	4.10	1.00
36 BA43	5.19	1.95	28.63	0.33	0.75	58.13	00.15	20.00	4.00	1.00
37BA44	5.00	1.99	29.82	0.70	0.00	70.40	00.20	20.00	3.00	1.00
38BA45	4.70	1.45	32.87	0.32	0.00	69.66	00.20	20.00	4.00	1.00
39BA46	4.93	3.79	32.13	0.30	0.00	64.27	00.73	20.00	4.67	0.33
40BA47	4.38	1.92	30.84	0.32	0.00	59.64	00.27	21.00	4.00	1.00
41 C054	6.50	2.07	35.83	0.36	0.83	43.37	00.40	20.83	2.67	0.67
42 C055	5.77	1.93	31.42	0.41	0.00	63.60	00.43	22.50	3.33	0.00
43 GU56	5.29	0.65	28.76	0.45	0.00	62.69	00.06	20.00	5.00	1.00
44 GU57	4.92	2.08	39.68	0.38	0.00	64.94	00.51	18.17	2.00	0.27
45 GU58	5.03	1.00	35.61	0.41	0.00	73.32	00.18	20.00	4.27	1.00
46 GU59	4.46	1.31	38.42	0.20	0.00	74.04	00.12	20.00	4.00	1.00
47P060	5.73	1.40	26.25	0.24	3.03	72.69	00.34	17.50	4.83	0.00
48P061	5.15	0.77	20.72	0.71	1.83	58.50	00.06	22.50	4.67	0.67
49P062	5.10	2.04	30.26	0.08	1.23	52.40	00.33	16.67	4.00	1.00
50P063	4.60	1.71	25.27	0.02	0.00	54.10	00.16	23.33	4.67	2.00
51 P064	5.53	1.97	31.93	0.20	2.41	68.15	00.42	21.17	5.00	0.53
52 P065	5.88	1.93	28.32	0.34	0.17	53.80	00.60	21.67	4.50	1.00
53 P066	5.29	4.43	32.92	0.32	0.00	47.80	00.44	20.00	2.00	1.00
54 P067	5.27	1.88	22.42	0.28	0.00	59.05	00.72	20.00	4.17	1.00
55 P068	4.80	4.10	37.88	0.42	0.00	50.04	00.31	20.00	2.50	2.00
56P069	4.65	3.74	28.68	0.23	0.00	63.15	00.15	20.00	2.50	1.00
57P070	5.63	1.58	22.77	0.25	0.00	45.01	00.63	22.50	4.00	1.00
58P071	5.13	1.79	27.72	0.22	0.00	51.61	00.64	28.75	6.25	0.50
59P072	5.40	2.42	32.97	0.20	0.00	53.81	00.44	22.50	3.00	1.00
60P073	5.97	1.01	28.70	0.31	0.00	53.95	00.31	32.50	4.00	0.00
61 P074	4.60	2.00	25.21	0.23	0.00	54.69	00.78	32.50	4.00	0.00
62P075	6.25	2.69	27.00	0.28	0.00	45.40	00.41	27.17	4.40	0.60
63P076	5.23	2.02	33.26	0.23	0.00	61.94	00.63	20.00	3.00	1.00
64 YA77	6.70	0.96	40.94	0.20	1.72	53.53	00.55	22.50	3.00	0.00

Fuente: Lozada, 1987

En conclusión, cuando el análisis discriminante múltiple en su función de clasificación torna en cuenta la variable Sodio Intercambiable se mantienen las diferencias significativas al nivel de 0.001, cuando se comparan los dos grupos. Además se observa que ningún perfil cambia de grupo.

El Cuadro 4 presenta en su lado izquierdo los valores de F calculados cuando se comparan los dos grupos en un análisis de covarianza con las variables Cromina y Sodio como covariable.

En el se puede observar que la tercera variable en entrar en la función de clasificación es el pH. Del lado derecho del cuadro se presentan los valores de F calculados cuando se comparan los dos grupos en un análisis de covarianza donde actúan como covariables el pH y la variable a la cual no se le está calculando el valor de F.

En el se puede observar que tanto la Cromina del color del suelo en húmedo y el Sodio Intercambiable deben continuar en la función de clasificación, Conformada la función de clasificación por la Cromina, el Sodio y el pH se calcula el estadístico U de Will. $U = 0.52848 - t_1(3,62, J)$ Cuya transformación a F es $F(0,60) = 17.844$

la cual indica que los grupos son estadísticamente diferentes con un nivel de significación del 0.001.

Cuadro 2. Valores de F calculados para las diferentes variables

Variable	F
pH	9.899 ..
CO	5.808 ..
CIC	0.955
SOD	9.563 ..
CC	4.847 **
ARC	0.086
CE	1.022
MAT	1.383
VAL	0.059
CRO	43.523 ..

significativo al 0.05 para 1 y 62 G de L

Cuadro 3. Valores de F calculados para las diferentes variables

Variable	F	Variable	F
pH	3.189	C;RO	32.967 ..
CO	1.658		
CIC	0.129		
SOD	3.397		
CC	0.708		
ARC	1.686		
CE	0.002		
MAT	0.222		
VAL	0.233		

** significativo al nivel 0.05 para 1 y 61 G de L
 • significativo al nivel 0.15 para 1 y 61 G de L

Funciones de clasificación para los diferentes Grupos:

	Aquert	No Aquert
(n-g) XiWn-lui'	pH 9.44766	10.623441
	SOD 137745	2.98599
	CRO 0.97564	3.73428
LnPi.IJ2(n-g)XiWII-1Xi	27.01853	-41.29506

Al ser aplicada esta función de clasificación a cada uno de los diferentes perfiles de suelo ui, no se produce modificación alguna en la conformación de los grupos.

Cuadro 4. Valores de F calculados para las diferentes variables.

Variable	F	Variable	F
pH	3.157	SOD	3.392
CO	1.402	CRO	25.974
CIC	0.142		
CC	0.644		
ARC	1.288		
CE	1.420		
MAT	0.372		
VAL	0.479		

** significativo al nivel 0.05 para 1 y 61 G de L
 • significativo al nivel 0.15 para 1 y 61 G de L

En conclusión, cuando el análisis discriminante múltiple en su función de clasificación, toma en cuenta la variable pH se mantienen las diferencias significativas al nivel de 0.001, cuando se comparan los dos grupos. Además se nota que ningún perfil u_i cambia de grupo.

El Cuadro 5 presenta en un lado izquierdo los valores de F calculados cuando se comparan los dos grupos en un análisis de covarianza teniendo como covariables al pH, Sodio y Croma. En "I se puede observar que la variable Arcilla presenta diferencias significativas entre los grupos con un nivel del 0.15, lo cual trae como consecuencia que dicha variable pasa a conformar la función discriminante múltiple. Del lado derecho del cuadro se puede observar los valores de F calculados, cuando se comparan los dos grupos en un análisis de covarianza tomando como covariable la variable Arcilla junto con las otras variables que están en la función de clasificación, excepto aquella variable a la cual se le quiere medir su poder discriminante. En "I se puede observar que las variables pH, Sodio, y Croma deben permanecer en la función de clasificación y que la variable pH aumenta su poder discriminante cuando se incluye la Arcilla como covariable. Conformada la función de clasificación con las variables Cromo, Sodio, pH y Arcilla se calculó el valor U de Will.

$$U = 0.5066999 - d(4,62, I)$$

Cuya transformación a F es

$$F(4,59) = 14.36$$

lo cual indica que los grupos son estadísticamente diferentes con un nivel de significación del 0.001.

Funciones de Clasificación para los Diferentes Grupos:

		Aquert	No Aquert
(n-g) $X_i W_{II} - l_{ui}$	pH	2.48888	13.95288
	SOD	0.44113	1.96092
	ARC	0.91612	1.00296
	CRO	3.08325	6.04166
$\ln P_i - 1/2(n-g) X_i W_{II} - l_{Xi}$		-63.30875	-84.79077

Al aplicar estas funciones de clasificación a cada uno de los perfiles u_i , el perfil GU24 que pertenecía al grupo No Aquert con un valor de 45.528 pasa al grupo Aquert con un valor de 46.483.

Cuadro 5. Valores de F calculados para las diferentes variables.

Variable	F	Variable	F
CO	0.889	pH	4.443**
CIC	0.014	SOD	2.820**
CC	0.030	CRO	27.930**
ARC	2.536*		
CE	1.820		
MAT	0.014		
VAL	0.671		

** significativo al nivel 0.05 para 1 y 61 G de L
* significativo al nivel 0.15 para 1 y 61 G de L

Cuadro 6. Valores de F calculados para las diferentes variables.

Variable	F
CO	0.524
CIC	0.322
CC	0.140
CE	2.428*
MAT	0.531
VAL	0.787

** significativo al nivel 0.05 para 1 y 61 G de L
* significativo al nivel 0.15 para 1 y 61 G de L

En conclusión, cuando el análisis discriminante múltiple en su función de clasificación, toma en cuenta la variable Arcilla se mantienen las diferencias significativas entre grupos con un nivel de significación del 0.001, aumenta el poder discriminante de la variable pH y el perfil GU24 regresa del grupo No Aquert al grupo Aquert,

Del lado izquierdo del Cuadro 6 se presentan los valores de F calculados cuando se comparan los dos grupos en un análisis de covarianza utilizando como covariables el pH, Sodio, Arcilla y Cromo. En "I se puede observar que con la inclusión de Arcilla como covariable se aumenta el poder discriminante de la variable Conductividad Eléctrica, lo cual trae como consecuencia que dicha variable sea incluida en la función de clasificación.

Del lado derecho del cuadro se observan los valores de F calculado, cuando se comparan los dos grupos en un análisis de covarianza tornando como covariable la Conductividad Eléctrica junto con las otras variables que se encuentran en la función de clasificación, excepto aquella variable a la cual se le quiere medir su poder discriminante. En "I se puede observar que las variables pH, Sodio, Arcilla y Cromo deben permanecer en la función de clasificación y que con la inclusión de la Conductividad Eléctrica como covariable se aumenta el poder discriminante de la variable Sodio.

Conformada la función de clasificación con las variables Cromo, Sodio, pH, Arcilla y Conductividad Eléctrica se calcula el valor de U de Will.

$$U = 0.4863428 - d(5,62, I)$$

cuya transformación a F es

$$F(5,58) = 12.25$$

lo cual indica que los grupos son estadísticamente diferentes con un nivel de significación de 0.001.

Funciones de Clasificación para los Diferentes Grupos:

	Aquert	No Aquert
(n-g) XiWll~lui'	pH 12.93343	14.56843
	SOD 3.21490	5.7589
	ARC 0.95193	1.05198
	CE 1.47492	2.01953
	CRO 3.42736	6.51283
LnPi-ll2(n-g)XiW11-IXi	-65.73714	-89.34363

Al aplicar estas funciones de clasificación a cada uno de los perfiles ui, el perfil AN06 que pertenecía al grupo Aquen con un valor de 89.248 pasa al No Aquert con un valor de 89.341.

En conclusión, cuando el análisis discriminante múltiple en su función de clasificación, toma en cuenta la variable Conductividad Eléctrica se mantienen las diferencias significativas entre grupos con un nivel de 0.001, aumenta el poder discriminante del Sodio y el perfil AN06 regresa del grupo Aquen al No Aquen.

El Cuadro 7 presenta los valores de F calculados cuando se comparan los dos grupos en un análisis de covarianza tomando como covariable el pH, Sodio, Arcilla, Conductividad Eléctrica y Cromo. En el se puede observar que ninguna de las variables presenta diferencias entre los grupos con un nivel de significación del 0.15, lo cual trae como consecuencia que ellas no lleguen a conformar la función de clasificación,

En conclusión, las variables Carbono Orgánico, Capacidad de Intercambio Catiónico, Carbonato de Calcio, Matiz del color de suelo en húmedo y Value del color del suelo en húmedo no tienen ningún poder discriminante entre los grupos Aquert y No Aquen.

Al aplicarle a los perfiles de suelo la validación "Yacknife", la cual consiste en clasificarlos como si ellos no pertenecieran a grupo alguno, los perfiles AN07, GU21, P027, YA35 YW36 son enviados a los siguientes grupos: (Cuadra 8).

En conclusión, cuando el análisis discriminante múltiple aplica la validación "Yacknife", detecta que existían cinco perfiles de suelo mal clasificados, los cuales unidos a los cuatro encontrados en los pasos anteriores producen un total de nueve perfiles de suelo mal clasificados, no obstante, hay que hacer notar que de estos solamente uno pertenecía al grupo No Aquen y los ocho restantes pertenecían al grupo Aquert.

Cálculo de la Variable Canónica:

Como en este existen únicamente dos grupos, ello trae como consecuencia que se logre generar 0010 un valor de la variable canónica, el cual se calcula como:

$$y = \frac{HXW_{11}^{-1}X'H'}{HN^{-1}H}$$

Pero

$$HXW_{11} - 1XH = 0.182168$$

Y

$$HN^{-1}H = 1/12$$

Cuadro 7. Valores de F calculados para las diferentes variables

Variable	F
CO	0.059
CIC	0.020
CC	0.006
MAT	0.585
VAL	0.250

$\lambda = 2.186016$

Cuya correlación canónica es: $\rho = \sqrt{\frac{\lambda}{1 + \lambda}}$

$\rho = 0.8283$

Coefficientes de Función Canónica

$$\rho = W_{11}^{-1}X'H' \sqrt{\frac{(n-g)/\lambda}{n}}$$

$$\rho = \begin{bmatrix} 0.3844556 \\ -0.2646294 \\ -0.009586 \\ 0.0944975 \\ -0.2948789 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{pH} \\ \text{SOD} \\ \text{ARC} \\ \text{CE} \\ \text{CRO} \end{matrix}$$

$$C = 1/2 HXW_{11} - 1X'I$$

Donde

$$I = [1 \ 1]$$

$$C = 0.6452769$$

donde se puede observar que este coeficiente de función canónica resume gran parte de la información sobre las variables pH, Sodio y Croma del color del suelo en húmedo, pero indica muy poca información sobre las variables Arcilla y Conductividad Eléctrica.

Relación entre centroides de Grupo y Ejes Canónicos:

Grupos	
Aquert	-2.306152
No Aquert	-3.2762958

Cuadro 8. Reagrupación de algunos perfiles, luego de aplicar la validación Yackknife.

Perfil citado	Función de clasificación	Aquert	No Aquert
AN07	79.42	78.85	Aquert
GU21	115.92	117.62	No Aquert.
P027	109.18	109.80	No Aquert
YA35	103.71	104.39	No Aquert
ZU36	108.24	109.58	No Aquert

CONCLUSIONES

Con la aplicación del análisis discriminante múltiple a los sesenta y cuatro perfiles de suelo del orden Vertisol en Venezuela, los cuales previamente habían sido separados en Aquert y No Aquert, se encontró, que el orden de importancia de las variables en la separación de los grupos fue el siguiente: Croma del color del suelo en húmedo, pH en pasta, Sodio Intercambiable, porcentaje de Arcilla y Conductividad Eléctrica,

Además se detectó que las variables Carbono Orgánico, Capacidad de Intercambio Catiónico, Carbonato de Calcio, Matiz del color del suelo en húmedo y Value del color del suelo en húmedo no tienen ningún poder discriminante entre los grupos Aquert y No Aquert.

El análisis discriminante múltiple basado sobre las cinco características que tienen poder discriminante, encontró que los dos grupos son estadísticamente diferentes con un nivel de significación del uno por mil, demostrando además que había nueve perfiles del orden Vertisol, de los suelos estudiados, asignados a grupos a los cuales no debían pertenecer.

Con la aplicación del análisis de correlación Canónica se genera un eje Canónico, el cual no logra hacer una separación muy lejana entre los grupos Aquert y No Aquert.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean dejar constancia de su agradecimiento al personal del CENIAP-MARACAY, especialmente al Sr. Orlando Graterol, de la Sección de Estadística por su valiosa cooperación y generosa ayuda en el procesamiento estadístico de los datos aquí analizados.

BIBLIOGRAFIA

- BURROUGH. P y R. WEBSTER: 1976. Improving a reconnaissance Soil classification by Multivariate Methods. Journal of Soil Science. 27: 554-571.
- COMERMA. 1.A., O. LUQUE y I.R. PAREDES. 1978. El drenaje como criterio de clasificación taxonómica en Vertisoles de Venezuela. V Congreso Venezolana de la Ciencia del Suelo. Barquisimeto.
- GOEL, S.K. y S.T. GUAIKAWAD. 1973. Use of discriminant function analysis in differentiating soils and selecting important distinguishing characters. Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics, 25 (2): 205-214.
- HARMANN, M.O. D.W. SMITH y J.J. LAMPBRECHTS. 1976. The use of Multivariate Statistical Technique for the Classification of Soils at Series level. Agrochimophysics, 8: 1-4.
- HORTON, I.F.; S. RUSSELL y A.W. MOORE. 1968. Multivariate Covariance and Canonical Analysis: A method for selecting the most effective discriminators in a Multivariate situations. Biometrics, 24: 845-858.
- ICOMERT. International Committee on Vertisols. 1981. 1st Circular Letter. Juan Comerma. Chairman Icomert.
- ICOMERT. International Committee on Vertisols. 1982. 2nd Circular Letter. Juan Comerma. Chairman Icomert.
- ICOMERT. International Committee on Vertisols. 1983. 3rd Circular Letter. Juan Comerma. Chairman Icomert.
- ICOMERT. International Committee on Vertisols. 1984. 5th Circular Letter. Juan Comerma. Chairman Icomert.
- LOZADA, F. 1987. Utilización del Análisis Multivariado para mejorar una clasificación de suelos del orden Vertisol en Venezuela. Trabajo de Ascenso. UCLA-Agronomía.
- USA. 1990. Keys to Soil Taxonomy. SMSS. Technical Monograph No. 19 A.I.D. USDA. USA.
- WEBSTER. R. y P.A. BURROUGH. 1974. Multiple discriminant analysis in soil survey. Journal of Soil Science, 25: 120-134.