

ANÁLISIS DISCRIMINANTE LINEAL EN EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS DE LA SIERRA NORTE DE PUEBLA, MÉXICO.

M.G. Tenorio Arvide¹, M.A. Valera Pérez², G. Linares Fleites², O. A Acevedo Sandoval³ y J.B. Dixon⁴

¹ Postgrado en Ciencias Ambientales, ICUAP, B. Universidad Autónoma de Puebla, México.

² Dpto. de Investigaciones en Ciencias Agrícolas. B. Universidad Autónoma de Puebla, México.

³ Universidad Autónoma de Hidalgo. ⁴ Texas A&M University, College Station, Texas. USA.

RESUMEN

Desarrollar criterios de Calidad de Suelos que puedan utilizarse en una evaluación objetiva de riesgos ambientales es un reto al que se enfrentan actualmente los investigadores de la Ciencias del Suelo. En este trabajo se han analizado, en la región de la Sierra Norte de Puebla, México, tres problemas relacionados, a saber, (1) Contenidos de materia orgánica y residuos en los suelos para evaluar la Calidad de Suelos, (2) La reacción pH del suelo, y (3) La fertilidad natural del suelo. El objetivo es identificar las propiedades del suelo que permitan distinguir entre suelos con Calidad Inherente (suelos con vegetación forestal) y suelos con Calidad Dinámica (suelos de agricultura temporal). Se obtuvieron funciones discriminantes para cada uno de los tres problemas, mostrándose que el uso del suelo es el factor determinante en el cambio de calidad del mismo.

ABSTRACT

The developments of soil quality criteria that can be used in an objective evaluation of environmental risk are actual challenges that confront the soil science research. In the present research we have analyzed three problems about soil quality at Sierra Norte de Puebla, México; (1) Quantification of organic matter/residues in the soil to evaluate soil quality; (2) Soil pH reaction; and (3) Natural soil fertility. The goal is to identify the properties of the soil that can be used to distinguish between soils with Inherent Quality (soils with forest vegetation) and soils with Dynamic Quality (soils with season crops). It was possible to obtain discriminates functions for each one of these problems; the result showed that the use of soil is a determinant factor in the quality change of the soils.

Palabras claves: Andisoles, Calidad Inherente, Calidad Dinámica, Función Discriminante.

INTRODUCCIÓN.

Existe un interés creciente en la Sociedad hacia el desarrollo sustentable y con ello se ha ampliado la comprensión de la importancia del uso del suelo. El suelo influye de manera positiva en el tiempo de vida de los seres humanos por su contribución a una nutrición adecuada, incluyendo agua limpia, aire limpio y el mantenimiento de la biodiversidad, pero también puede influir de manera negativa dada la contaminación del espacio en que vivimos (Blum, 1999).

Actualmente, uno de los retos más importantes que enfrenta la ciencia del suelo es desarrollar criterios de Calidad del Suelo (CS) que puedan utilizarse en una evaluación objetiva de riesgos ambientales (Sims *et al.*, 1997). Debido a la inquietud existente con respecto a la degradación del suelo y a la necesidad de un manejo sostenible de los agro- ecosistemas, ha resurgido el estudio de las propiedades del suelo enfatizándose hacia una función específica del uso del suelo (Carter *et al.*, 1997). Este enfoque ecológico del suelo reconoce las interacciones suelo - ser humano y de esta manera la CS es inseparable del concepto de sostenibilidad del sistema y de su uso.

Doran y Parkin, en 1994, definieron la CS como la "capacidad que tiene un suelo para sostener la productividad biológica dentro de los límites de su ecosistema, permitiendo conservar la calidad ambiental y promoviendo la salud de plantas y animales"; por lo tanto, el concepto de calidad se relaciona con una función o uso específico del suelo. La CS se clasifica en Calidad Inherente (CI) y Calidad Dinámica (CD). La CI se conforma con las propiedades innatas del suelo, tales como textura, mineralogía, color, etc., mientras que la CD son las propiedades de la CI modificadas por las actividades antropogénicas (Natural Resources Conservation Service (NRSC), 2001).

La evaluación de la CS es una herramienta que sirve para valorar el impacto de las prácticas de manejo utilizadas y diagnosticar las causas de los problemas en una determinada región. En particular, en la Sierra Nororiental del Estado de Puebla, México, no se han realizado estudios sobre la CS. a pesar de la gran importancia que tiene poder discriminar si las propiedades del suelo mantienen la CI o se han modificado para tornarse en suelos con CD.

El objetivo del trabajo es identificar las propiedades del suelo que establezcan la diferencia entre CI y CD obteniendo sendas funciones discriminantes que permitan predecir la CS. Para lograr estos objetivos se seleccionaron tres problemas de los propuestos por la NRSC (2001):

Problema 1. Contenidos de materia orgánica y residuos en los suelos;

Problema 2. La reacción pH del suelo, y

Problema 3. La fertilidad natural del suelo.

En cada uno de estos problemas se determinaron propiedades que pueden ser empleadas para la evaluación de la CS; se compararon las propiedades de los suelos que conservan su vegetación forestal y por tanto mantienen su CI, con otros suelos que después de haber perdido su cobertura forestal son utilizados para la agricultura temporal, modificando sus propiedades y alcanzando una CD.

DESARROLLO.

1. CARACTERIZACIÓN DEL ESTUDIO.

La zona estudiada corresponde a la Caldera de Teziutlán, estado de Puebla, México, con suelos que derivan fundamentalmente de material piroclástico y cubren una superficie aproximada de 846 Km². Se identificaron suelos de los órdenes Entisol, Inceptisol, Alfisol y Ultisol, predominando los del orden Andisol (Valera, et al., 2001).

Las muestras de suelo corresponden a los horizontes A de 25 perfiles representativos y geo-referenciados. Se identificaron dos grupos de suelo, uno que conserva la vegetación forestal del que se observaron 13 muestras, y otro, que se utiliza para agricultura de temporal, observándose las restantes 12 muestras.

Las variables consideradas para cada uno de los tres problemas aparecen en el Cuadro 1. En los problemas seleccionados de la “Guía para valorar la Calidad del Suelo en planes de Conservación” de la NRCS (2001) no está considerado el por ciento de Nitrógeno (%N) para definir los problemas 1 y 3, sin embargo, en otros trabajos sobre Andisoles, el %N ha sido utilizado como variable en la determinación de la CS (Roldán, et al., 2003), por lo que decidimos incluirlo en nuestro estudio.

Los resultados de los análisis físicos y químicos de las muestras de suelo se efectuaron según el Soil Survey Laboratory Methods Manual” (Soil Survey Staff, 2006) y se resumen en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas de los problemas considerados en el estudio de la Calidad de Suelos de la Sierra Norte de Puebla, México.

<i>Problema 1</i>	<i>Problema 2</i>	<i>Problema 3</i>
- % Carbono Orgánico (%CO)	- Acidez Hidrolítica (AH; pH - H ₂ O, relación 1:2)	- % Carbono Orgánico (%CO)
- % Nitrógeno Total (%N)	- Acidez Intercambiable (AI; pH - KCl, relación 1:2)	- Acidez Hidrolítica (AH; pH - H ₂ O, relación 1:2)
- % Volumen Raíces (%VR)		- Capacidad de intercambio Catiónico (CIC)
- Profundidad del horizonte A, en cm. (Prof)		- Saturación en Bases (%V)
- % Residuos en volumen (%R)		- Calcio intercambiable (Ca)
		- Magnesio intercambiable (Mg)
		- Sodio intercambiable (Na)
		- Potasio intercambiable (K)
		- % Nitrógeno Total (%N)

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas de las muestras seleccionadas para determinar la Calidad de Suelos de la Sierra Norte de Puebla, México.

Muestra ^a	Prof. (cm)	AH ^b	AI ^c	CO ^d	N ^e	VR ^f	R ^g	V ^h	CIC	Ca	Mg	Na	K
(%)									(cmol(+)/kg S)				
CI1	3	6.0	5.2	10.5	0.8	2.4	40.0	29.4	19.4	3.3	1.6	0.2	0.6
CI2	4	5.1	4.4	4.0	4.3	32.0	33.3	36.9	13.6	2.9	1.1	0.4	0.6
CI3	6	6.5	5.8	5.2	0.3	4.8	25.0	54.5	19.3	5.4	2.8	0.9	1.4
CI4	5	5.3	4.5	4.6	0.3	4.0	28.6	47.0	13.2	3.0	2.3	0.4	0.5
CI5	10	5.9	5.3	6.7	0.4	8.0	16.7	10.6	33.0	2.3	0.5	0.4	0.3
CI6	5	5.4	4.7	5.3	0.4	4.0	28.6	19.8	19.4	2.0	1.0	0.4	0.5
CI7	21	5.3	4.8	5.8	0.4	16.8	8.7	14.2	34.6	3.5	1.0	0.2	0.1
CI8	20	4.8	4.0	7.0	0.5	16.0	23.1	27.4	35.8	5.6	1.4	2.0	0.8
CI9	34	5.1	4.5	7.4	0.5	27.2	15.0	50.6	16.8	4.1	1.3	2.8	0.3
CI10	5	6.0	5.4	5.9	0.5	4.0	28.6	55.7	34.2	9.7	3.1	2.2	4.0
CI11	17	5.4	4.4	4.5	0.5	13.6	19.0	10.6	30.5	1.1	0.2	1.6	0.3
CI12	14	5.3	4.4	6.5	0.5	11.2	22.2	32.7	29.0	5.0	3.0	0.6	0.6
CI13	40	3.5	3.7	17.6	0.9	32.0	9.1	23.6	21.8	3.3	0.9	0.4	0.6
CD1	8	5.0	4.4	3.7	0.3	0.1	2.5	28.4	16.4	3.4	0.6	0.4	0.5
CD2	15	6.0	5.1	1.7	0.1	7.2	3.3	31.3	21.4	3.4	0.9	1.4	1.0
CD3	15	5.0	4.2	3.9	0.3	12.0	3.3	30.0	21.3	3.0	2.0	0.8	0.6
CD4	13	5.0	4.1	7.7	0.0	10.4	3.8	4.7	29.1	0.8	0.2	0.6	0.1
CD5	15	6.5	4.7	8.0	0.2	12.0	3.3	9.3	48.4	3.0	1.2	0.2	0.1
CD6	15	5.5	5.1	5.7	0.4	12.0	3.3	12.0	44.2	4.0	1.0	0.2	0.1
CD7	11	5.8	4.8	4.7	0.4	5.3	4.5	13.5	27.3	2.0	1.0	0.4	0.3
CD8	12	4.2	3.6	5.7	0.4	9.6	4.2	33.8	12.9	3.1	0.6	0.3	0.4
CD9	4	6.8	6.4	8.9	0.9	6.4	5.0	264.8	42.0	106.0	4.1	0.6	1.1
CD10	8	5.4	4.2	4.4	0.4	6.4	2.5	179.1	12.1	19.8	1.5	0.4	0.7
CD11	6	5.6	4.6	3.0	0.5	4.8	3.3	120.1	21.0	20.9	2.7	0.3	1.3
CD12	7	4.6	3.3	5.4	0.4	5.6	2.9	82.6	16.0	9.4	2.6	0.4	0.8

^a CI: Calidad Inherente;

^c AI: Acidez Intercambiable (pH en KCl)

^f VR: % del volumen ocupado por raíces en 100 cm²

CD: Calidad Dinámica

^d CO: % de Carbono orgánico.

^g R: % de Raíces finas

^b AH: Acidez Hidrolítica (pH en agua)

^e N: % de Nitrógeno

^h V: % de Saturación en bases

2. MÉTODOS ESTADÍSTICOS UTILIZADOS.

Para cada uno de estos problemas, utilizando MINITAB 15, se llevaron a cabo los siguientes análisis estadísticos:

- (A) Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA) para determinar si las variables observadas expresaban las diferencias entre los dos grupos de suelos considerados y cuáles de ellas explicaban esas diferencias.
- (B) Análisis Discriminante Lineal para obtener las funciones discriminantes y valorar la calidad de las mismas.

Previo a estos análisis se llevaron a cabo análisis exploratorios univariados con el fin de hacer transformaciones en las variables que lo requirieran para conseguir normalidad. Otros análisis bivariados permitieron conocer el grado de asociación entre parejas de variables (Linares, 1990).

Para probar que los vectores de medias de ambas poblaciones son iguales contra la alternativa de que no lo son, utilizamos la generalización multivariada del Análisis de Varianza (Linares, 2006). Desde el punto de vista del cálculo, para tamaños de muestras moderados (como es nuestro caso) se utiliza el estadístico (Ecuación.1)

$$\lambda_0 = m \sum_i \log(1 + \lambda_i) \quad \text{Ecuación. 1}$$

donde λ_i son los vectores propios de la matriz $W^{-1}B$, y W es la matriz de las desviaciones respecto a las medias de cada población y B es la matriz que mide la variabilidad explicada por las diferencias entre las medias de cada población. Además de este criterio, conocido como criterio de Wilks, se usan: la prueba

de Lawley y Hotelling (traza de $W^{-1}B$) y la prueba de Pillai (traza de $B(B+W)^{-1}$). Las distribuciones exactas de estos estadísticos se aproximan a la distribución F de Fisher.

Dado que existen diferentes enfoques en el problema de la discriminación, decidimos utilizar el análisis discriminante clásico, basado en la normalidad multivariada de las variables consideradas y que es óptimo bajo dicho supuesto (Peña, 2002). En este enfoque se construye una función discriminante para cada una de las poblaciones consideradas (suelos con CI y suelos con CD) y se establece la regla de clasificación que coloca el individuo a clasificar en la población con valor máximo de la función discriminante. Dado que la utilidad de la regla de clasificación depende de los errores esperados, estos se calcularon aplicando la función discriminante a las 25 observaciones y clasificándolas. Este método tiende a subestimar las probabilidades de error de mala clasificación ya que los mismos datos se utilizan para estimar los parámetros y para evaluar la regla resultante. Un procedimiento mejor es clasificar cada elemento (muestra de suelo) con una regla que no se ha construido usándolo. Para ello, se construyeron $n=25$ funciones discriminantes con las muestras que resultan al eliminar uno a uno cada elemento de la población y clasificar después cada dato en la regla construida sin él. Este método se conoce como validación cruzada y conduce a una mejor estimación del error de clasificación. En el estudio se utilizan ambos procedimientos de estimación de ese error.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Las tablas 1, 2 y 3 muestran los resultados obtenidos, los que se discuten a continuación.

PROBLEMA 1.

Las variables consideradas para este problema presentaban sesgos positivos pronunciados por lo que se aplicó la transformación logarítmica. En particular, al $\ln\%N$ se sumó la constante 0.1 para conseguir normalidad.

En la tabla 1(A1) se muestran los tests multivariados Wilks, Lawley-Hotelling y Pillai para el único término del modelo. Los valores de s , m y n usados para el cálculo del estadístico aproximado F fueron, 1, 1.5 y 8.5 respectivamente. Examinando los valores p de estos tests observamos que son 0.000, lo que indica que existe diferencia significativa entre los niveles de calidad del suelo.

La tabla 1(A2) señala que el porcentaje de nitrógeno y el porcentaje de residuos son significativos al nivel de significación de 0.05, mientras que el porcentaje de carbono orgánico lo es al nivel de significación de 0.10. El % Residuos está altamente correlacionado con la profundidad de manera negativa. (Tabla 1(A3)).

En el análisis de valores y vectores propios (ver Tabla 1(A4)) sólo fue necesario mostrar la primera columna puesto que el primer valor propio es capaz de explicar el 100% de la variabilidad total. Si observamos los elementos del vector propio puede apreciarse que la profundidad del horizonte A y el porcentaje de residuos tienen los valores más altos del vector propio, lo que expresa la influencia de estos elementos para diferenciar los suelos con CI y con CD.

La función discriminante mostrada en la tabla 1(B) clasifica correctamente al 100% con los dos procedimientos de estimación del error de mala clasificación. Obsérvese que en ambas funciones discriminantes el coeficiente de la variable % de Residuos es el más alto.

PROBLEMA 2.

La tabla 2(A1) muestra los tests multivariados Wilks, Lawley-Hotelling y Pillai, para el único término del modelo. Los valores de s , m y n usados para el cálculo del estadístico aproximado F fueron, 1, 0.0 y 10 respectivamente. Examinando los valores p de los estos tests, observamos que son 0.214, lo que indica no existe diferencia significativa entre los vectores de medias de los niveles de calidad del suelo.

La tabla 2(A2) señala que ninguna de las dos variables respuestas son significativas al nivel de significación de 0.05. La Tabla 2(A3) muestra que entre pH-H₂O y pH-KCl existe alta correlación positiva.

El análisis de valores y vectores propios (ver Tabla 2(A4)) nos permite valorar como las medias de las respuestas difieren entre los niveles del factor. Sólo fue necesario mostrar la primera columna puesto que el primer valor propio es capaz de explicar la variabilidad total. Si observamos los elementos del vector propio puede apreciarse que el valor más alto es el de pH-KCl, de ahí que es la respuesta que señala la más alta diferencia entre las medias de los niveles, aunque el pH-H₂O también muestra un valor alto en valor absoluto, por lo que también es capaz de señalar diferencias entre las medias de la calidad inherente y la dinámica.

Las funciones discriminantes son mostradas en la tabla 2(B). La proporción de clasificación correcta es sólo del 68% con el primer procedimiento de estimación del error de mala clasificación y del 64% con el procedimiento de validación cruzada.

PROBLEMA 3.

La tabla 3(A1) muestra los tests multivariados Wilks, Lawley-Hotelling y Pillai, para el único término del modelo. Los valores de s, m y n usados para el cálculo del estadístico aproximado F fueron, 1, 3.5 y 6.5 respectivamente. Examinando los valores p de estos tests, observamos que toman el valor 0.022, lo que indica que existe diferencia significativa entre los vectores de medias de los niveles de calidad considerados.

La tabla 3(A2) señala que el por ciento de nitrógeno (%N) es significativo al 5% mientras que el porcentaje de carbono orgánico (%CO) lo es al 10% de significación. El Sodio (Na), aunque no es significativo, presenta un valor de p bajo.

La Tabla 3(A3) muestra correlaciones positivas altas entre las siguientes parejas de variable: Ca y %V (0.87); Mg y %V (0.75); K y %V (0.73); Mg y Ca (0.80); K y Ca (0.61); y Mg y K (0.66)

El análisis de valores y vectores propios (ver Tabla 3(A4)) nos permite valorar como las medias de las respuestas difieren entre los niveles del factor. Sólo fue necesario mostrar la primera columna puesto que el primer valor propio es capaz de explicar la variabilidad total. Si observamos los elementos del vector propio puede apreciarse que las respuestas que más destacan las diferencias entre las medias de los niveles son: Ca, %CO y %N.

Las funciones discriminantes para este problema (ver Tabla3(B)) presentan un 92% de buena clasificación con el primer procedimiento, lo que es un estimador muy optimista y poco realista, ya que al aplicar el procedimiento de validación cruzada sólo clasifica correctamente en un 68%. La Saturación en Bases (%V) muestra los coeficientes de más altos valores de las respectivas funciones discriminantes.

CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos muestran que la CS está determinada por diferentes propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Coincidiendo con otros autores (Kennedy y William, 2006) encontramos que estos factores están interrelacionados, por lo que el fenómeno en estudio debe ser analizado de manera multidimensional.

Con respecto a las propiedades indicadoras requeridas para la evaluación de la CS propuestas en la "Guía para valorar la Calidad del Suelo en planes de Conservación" de la NRSC, donde no se tiene en cuenta el %N, estimamos que en suelos derivados de material piroclástico, principalmente Andisoles, es una propiedad de interés, ya que tiene influencia para diferenciar suelos con CD o CI. La función discriminante para evaluar la CS con esas propiedades clasificó correctamente el 100% de las muestras de suelos.

Para el problema de la reacción pH del suelo, el evaluar sólo la AH como indicador de las CI y CD no es suficiente, dado la alta correlación con AI. Sin embargo, nuestros resultados apuntan a que estas propiedades no son capaces de discriminar adecuadamente la CS.

Para el problema de definir la fertilidad natural de los suelos mediante su CS, las propiedades combinadas que destacan las diferencias entre la CI y la CD son, como generalmente se plantea en la literatura, el %CO y el %N. El calcio intercambiable (Ca) y la Saturación en Bases (%V) mostraron fuerte influencia en la función discriminante dado los altos valores de sus coeficientes

Finalmente, puede señalarse que este estudio sobre CI (suelos con vegetación forestal) y CD (suelos con agricultura de temporal), indica que el uso del suelo es el factor determinante en el cambio de calidad del mismo.

REFERENCIAS.

- Blum W.E.H., 1999. "Sustainable Land Management in the Tropics in Relation to Environmental and Socio-Economic Soil Function". In M. Vikram Reddy (Ed.). *Management of Tropical Agroecosystems and the Beneficial Soil Biota*, Science Publishers, Inc. Enfield, NH, USA, pp 83–99.
- Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H. y F.J. Pierce, 1997. Concepts of Soil Quality and their Significance. In Gregorich, E.G. and Carter, M.R. (eds.) *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. Developments in Soil Science. 25. Elsevier Sc.
- Doran, J.W. y T. B. Parkin, 1994. Defining and Assessing Soil Quality. In: Doran, J.W; Coleman, D.C., Bezdicsek, D.F., and B.A.Stewart (eds) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Sci. Soc. Am. Sp. Pub. No. 35. Am. Soc. of Agron., Madison, Wisc. USA. pp. 3-21.
- Kennedy, Ann C., and William F. Schillinger, 2006. Soil quality and water intake in traditional-till vs. No-till Critically paired farms in Washington's Palouse Region. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 70: 940-949.
- Linares Fleites, G., 1990. *Análisis de Datos*. Ministerio de Educación Superior. La Habana, Cuba. 320p.
- Linares Fleites, G., 2006. *Análisis de Datos Multivariados*. Editorial Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad de Computación. México. 277p (ISBN 968 9182 15 3)
- MINITAB Release 15 (2005). *Statistical Software*. Minitab. Inc.
- Natural Resources Conservation Service, (NRSC), 2001. "Guidelines for Soil Quality Assessment in Conservation Planning.". United States Department of Agriculture and Soil Quality Institute. USA.
- Peña, D., 2002. *Análisis de Datos Multivariantes*. Mc. Graw Hill/Interamericana de España, S. A U. Madrid, España. 539p (ISBN 84-481-3610-1)
- Roldán A., F. Caravaca, M. T. Hernández, C. García, C. Sánchez-Brito, M. Velásquez, M. Tiscareño, 2003. No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico), *Soil & Tillage Research*, 72: 65–73
- Sims, J.T, Cunningham, S.D. y M. E. Sumner, 1997. Assessing Soil Quality for Environmental Purposes: Roles and Challenges for Soil Scientists, *J. Environ. Qual.*, 26: 20-25.
- Soil Survey Staff, 2006. *Keys of Soil Taxonomy*. United States Department of Agriculture and Natural Resources Conservation Service. Tenth Edition. USA.
- Valera, M.A., Tenorio. M.G., Linares, G., Ruiz, J. y Tamariz, J.V., 2001. Aplicación de indicadores químicos de degradación para suelos ácidos de la Sierra Negra de Puebla. *Memorias COLOQUIOS Cuba-México sobre manejo sostenible de los suelos*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. pp 57-64. (ISBN 968 8635 10 3).

Tabla 1

Problema 1. Contenidos de materia orgánica y residuos en los suelos para evaluar la CS.

(A1) MANOVA para un Factor con dos niveles (Calidad inherente y Calidad dinámica)

Criterio	Test estadístico	Estadístico F	gl num	gl denom	Valor p
Wliks	0.05796	61.762	5	19	0.000
Lawley-Hotelling	16.25315	61.762	5	19	0.000
Pillai	0.94204	61.762	5	19	0.000

(A2) ANOVA para cada una de las variables respuestas del problema.

Variables	Estadístico F	gl (Factor, error)	Valor p
ln% Carbono Orgánico	2.97	(1, 23)	0.098
ln% Nitrógeno + 0.1	5.39	(1, 23)	0.030
ln% Volumen Raíces	1.67	(1, 23)	0.209
lnProfundidad	0.01	(1, 23)	0.939
ln% Residuos	151.70	(1, 23)	0.000

(A3) Matriz de Correlaciones Parciales de la matriz de Sumas de Cuadrados y Productos Cruzados del Error. (Triángulo inferior de la matriz)

	ln% C. Org	ln% N + 0.1	ln% VR	lnProfundidad	ln% Res.
ln% C. Org.	1.0000				
ln% N + 0.1	0.0558	1.0000			
ln% VR	0.2122	0.1551	1.00000		
lnProfundidad	0.2032	-0.3334	0.4888	1.00000	
ln% Residuos	-0.1252	0.2079	-0.1699	-0.72376	1.00000

(A4) Análisis de valores y vectores propios para el factor

	Columna 1
Valor propio	16.253
Proporción	1.000
Proporción Acumulada	1.000
Vector propio	
ln% Carbono Orgánico	0.03152
ln% Nitrógeno +0.1	0.11845
ln% Volumen raíces	-0.07969
lnProfundidad	0.43185
ln% Residuos	0.86931

(B) Función Discriminante Lineal

	Calidad Dinámica	Calidad Inherente
Constante	-49.89	-148.97
ln%CO	7.44	8.61
ln%N+0.1	1.87	6.27
ln% VR	-3.90	-6.86
lnProf	22.02	38.05
ln%R	37.35	69.61

Tabla 2
Problema 2. La reacción pH del suelo

(A1) MANOVA para un Factor con dos niveles (Calidad Inherente y Calidad Dinámica)

Criterio	Test estadístico	Estadístico F	gl num	gl denom	Valor p
Wliks	0.86928	1.654	2	22	0.214
Lawley-Hotelling	0.15038	1.654	2	22	0.214
Pillai	0.13072	1.654	2	22	0.214

(A2) ANOVA para cada una de las variables respuestas del problema.

Respuestas	Estadístico F	gl (Factor, error)	Valor p
pH - H ₂ O	0.11	(1, 23)	0.749
pH - KCl	0.32	(1, 23)	0.577

(A3) Matriz de Correlaciones Parciales de la matriz de Sumas de Cuadrados y Productos Cruzados del Error. (Triángulo inferior de la matriz)

	pH - H ₂ O	pH - KCl
pH - H ₂ O	1	
pH - KCl	0.88470	1

(A4)Análisis de valores y vectores propios para el Factor

	Columna 1
Valor propio	0.1504
Proporción	1.0000
Proporción Acumulada	1.0000
Vector propio	
pH - H ₂ O	-0.5756
pH - KCl	0.6309

(B) Análisis Discriminante Lineal

	Calidad Dinámica	Calidad Inherente
Constante	-27.105	-26.413
pH-H ₂ O	9.991	7.936
pH-KCl	-0.053	2.199

Tabla 3
Problema 3. La fertilidad natural del suelo.

(A1) MANOVA para un Factor con dos niveles (Cal. Inherente y Calidad Dinámica)

Criterio	Test estadístico	Estadístico F	gl num	gl denom	Valor p
Wliks	0.46394	1.926	9	15	0.022
Lawley-Hotelling	1.15543	1.926	9	15	0.022
Pillai	1.15543	1.926	9	15	0.022

(A2) ANOVA para cada una de las variables respuestas del problema.

Respuestas	Estadístico F	gl (Factor, error)	Valor p
ln% CO	2.18	(1, 23)	0.098
pH-H2	0.11	(1, 23)	0.749
CIC	0.10	(1, 23)	0.753
ln% V	2.40	(1, 23)	0.554
lnCa+.8	1.79	(1, 23)	0.201
Mg	0.00	(1, 23)	0.961
Na	2.91	(1, 23)	0.101
lnK+0.01	0.55	(1, 23)	0.509
ln%N+0.01	2.00	(1, 23)	0.030

(A3) Matriz de Correlaciones Parciales de la matriz de Sumas de Cuadrados y Productos Cruzados del Error. (triángulo inferior de la matriz)

	ln% CO	pH-H ₂ O	CIC	ln% V	lnCa+.8	Mg	Na	lnK+.1	ln%N+.1
ln% CO	1.00								
pH-H ₂ O	-0.188	1.00							
CIC	0.349	0.437	1.00						
ln% V	-0.116	0.131	-0.312	1.00					
lnCa+.8	0.123	0.321	0.296	0.870	1.00				
Mg	-0.042	0.395	0.072	0.751	0.803	1.00			
Na	-0.196	0.053	0.069	0.152	0.106	0.078	1.00		
lnK+0.01	-0.266	0.171	-0.278	0.738	0.611	0.668	0.314	1.00	
ln%N+0.01	-0.058	-0.087	-0.161	0.485	0.452	0.245	-0.222	-0.256	1.00

(A4) Análisis de valores y vectores propios para el Factor

	Columna 1
Valor propio	1.927
Proporción	1.000
Proporción Acumulada	1.000
Vector propio	
ln% CO	-0.3562
pH-H2	-0.1229
CIC	0.0021
ln% V	-0.0481
lnCa+.8	0.4150
Mg	0.1141
Na	-0.1881
lnK+0.01	-0.0770
ln%N+0.01	- 0.3199

(B) Función Discriminante Lineal.

	Calidad Dinámica	Calidad
Inherente		
Constant	-386.90	-396.35
ln%CO	42.99	47.54
pH-H2O	12.49	14.06
CIC	8.99	8.96
ln% V	235.54	236.16
lnCa+0.8	196.18	-201.48
Mg	-39.15	-37.70
Na	-30.26	-27.85
lnK+.1	4.22	5.20
ln%N+0.1	-25.24	-21.15