

# DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS SIMPLE Y DE REGRESIÓN LOGÍSTICA BINARIA.

José Víctor Tamariz Flores<sup>1</sup>, Gladys Linares Fleites<sup>2</sup>, Jesús A. Ruiz Careaga<sup>2</sup>, Jenaro Reyes M.<sup>2</sup> y Otilio Acevedo S.<sup>3</sup>

1. Postgrado de Ciencias Ambientales- ICUAP, 14 Sur 63 01, San Manuel, Puebla, Pue. C.P.72570

2. Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencias Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

3. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

## RESUMEN

Las relaciones entre el grado de erosión del suelo, su relieve, su profundidad y la pendiente que exhiben, son de gran importancia para realizar enfoques ambientalistas e incorporar conceptos de manejo y conservación de los suelos. En este trabajo se persigue como objetivo la aplicación del Análisis de Correspondencias Simples para determinar las causas de degradación del suelo a partir de algunas de las variables cualitativas que lo caracterizan y modelar el grado de erosión, categorizado en los niveles de bajo y alto, en función del relieve, la pendiente y la profundidad del suelo a través de la Regresión Logística Binaria. La confirmación de la existencia de relaciones entre estas características permitirá hacer una propuesta sustentable para el desarrollo de la Sierra Norte de Puebla, México.

## ABSTRACT

The relations between soil erosion, its relief, depth and slope, are important aspects to consider in the study of soil conservation, from an environmental point of view. The aim of this work is to analyze the causes of soil degradation regarding some of its qualitative variables with Simple Correspondence Analysis and to model the erosion level in function of its relief, slope and depth using Binary Logistic Regression. The confirmation of these connections will make a sustainable offer for the development of Sierra Norte de Puebla, México.

**Palabras claves:** análisis de correspondencias, erosión de suelo, regresión logística.

## INTRODUCCIÓN

En el Departamento de Investigaciones en Ciencias Agrícolas del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla se ha llevado a cabo un estudio de la Zonificación Agroecológica del Noroeste de la Sierra Norte de Puebla, México, logrando establecer zonas basadas en las variaciones del clima y estudiar las posibles causas de degradación del suelo. (Ruiz, et al, 2005). Como en todo estudio empírico el esclarecimiento de las relaciones existentes entre las características de estos suelos, requiere formas mixtas de análisis puramente exploratorios de datos y de análisis puramente confirmatorio. Cada uno de estos análisis tiene su propia significación, diferentes objetivos y debe realizarse e interpretarse por separado (Victor, et al, 1981).

Con la información disponible se realizó inicialmente un estudio exploratorio a través del Análisis de Correspondencias (Linares, et al, 2006). El Análisis de Correspondencias es un método de Estadística Multivariada de reducción de dimensión de una tabla de datos cuyas variables están medidas en escala nominal. El hecho de que se manejen variables cualitativas confiere una característica distintiva a esta técnica y es que no se utilizan como datos las mediciones individuales, sino frecuencias de una tabla. Este análisis es de utilidad a los investigadores de las Ciencias del Suelo dado que permite esclarecer las relaciones entre las categorías de diversas características del suelo, muchas de las cuales son observaciones cualitativas. Si sólo se tiene dos variables cualitativas, cada una de las cuales puede presentar varias modalidades o categorías se utiliza el llamado Análisis de Correspondencia Simples (ACS).

La modelación del grado de erosión de estos suelos en función del relieve, la pendiente y la profundidad, permite confirmar la hipótesis de la existencia de relaciones entre estas características,

---

Email: <sup>1</sup>jtamariz@siu.buap.mx

exploradas por el ACS. Estas relaciones son de gran importancia para realizar enfoques ambientalistas e incorporar conceptos de manejo y conservación de los suelos a fin de lograr una propuesta sustentable para el desarrollo de esta región de la Sierra Norte de Puebla. El grado de erosión fue categorizado en dos niveles (bajo y alto) por lo que se puede obtener una función de predicción a través de la Regresión Logística Binaria (RLB).

En el desarrollo del trabajo se hace una caracterización de la zona de estudio y de la tabla de datos y, posteriormente, se exponen los estudios exploratorios y confirmatorios realizados con las técnicas de ACS y RLB. Finalmente, se arriban a conclusiones y se brindan algunas recomendaciones.

## **Desarrollo**

La investigación fue desarrollada en la porción noroeste de la Sierra Norte de Puebla. El clima predominante es el templado húmedo con lluvias todo el año y la vegetación dominante es el bosque de pino-encino bajo condición secundaria. La superficie de cultivo representa el 55% del área total y el resto lo ocupan el uso pecuario, forestal y los asentamientos humanos. La densidad poblacional hasta el censo del año 2000 fue de 193 habitantes por km<sup>2</sup> y el grado de marginación es considerado alto. (INEGI, 2000)

Para determinar el grado de erosión de los suelos se realizó la prospección edafológica, estableciéndose puntos de muestreo para el posterior levantamiento de los mismos. La descripción de los perfiles y el entorno se llevó a cabo según la metodología propuesta por Ruiz et al en 1999. Después de seleccionar los perfiles más conservados, es decir, aquellos que habían sufrido en menor grado los efectos de la erosión y que eran representativos de la zona de estudio se tomaron como Perfiles Patrón y se compararon con cada perfil de los sitios descritos para identificar las pérdidas sufridas por uno o varios horizontes del suelo. Subsecuentemente se pudo diagnosticar la erosión dentro de las siguientes categorías o grados:

Nula: cuando no se aprecia diferencia con el perfil patrón.

Leve: si al compararlo con el perfil patrón, el suelo ha perdido al menos el 25% de su espesor original en su horizonte A

Moderada: cuando la pérdida de suelo en el horizonte A es de 75% o más.

Fuerte. Cuando el suelo ha perdido el horizonte A y al menos el 25% del horizonte B.

Muy fuerte: cuando el horizonte B se ha perdido hasta en un 75% o más.

Las pérdidas de suelo se determinaron con la Metodología Provisional para la Evaluación de la

Degradación de los Suelos establecida por la FAO (1980)

Los análisis estadísticos se realizaron a partir de una tabla de datos de dimensión 100 por 4, elaborándose las tablas de contingencias de interés.. Las variables con sus correspondientes categorías se relacionan a continuación:

Grado de erosión (nada, leve, moderada, fuerte y muy fuerte).

Relieve (llano, casi llano, ligeramente ondulado, medianamente ondulado, ondulado, fuertemente ondulado, alomado, montañoso).

Pendiente ( menor de 5%, entre 5 y 10, de 10 a 20, de 20 a 30, de 30 a 40 y más de 40%)

Profundidad del suelo (menos de 10 cm, de 10 a 20, de 20 a 40, de 40 a 60 y más de 60 cm).

Cuando fue necesario se realizaron re-categorizaciones de las variables las que se exponen en las tablas respectivas. Los análisis estadísticos se realizaron con el sistema Minitab 15.

## 1. ANÁLISIS EXPLORATORIO A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS SIMPLES. (ACS).

El Análisis de Correspondencias Simples está particularmente adaptado para tratar tablas de contingencias, representando los efectivos existentes en las múltiples categorías combinadas de dos variables cualitativas. Al cruzar en una tabla de contingencia el carácter I con modalidades desde  $i = 1$  hasta  $i = n$  (en filas), con el carácter J con modalidades desde  $j = 1$  hasta  $j = p$  (en columnas) podemos representar el número de unidades estadísticas que pertenecen simultáneamente a la modalidad  $i$  del carácter I y a la modalidad  $j$  del carácter J mediante las frecuencias  $k_{ij}$  (Linares, 2006) En las tablas, que se muestran a continuación, se dan las tablas de contingencias donde I estará representado por las variables relieve, pendiente y profundidad del suelo con sus respectivas modalidades o categorías, mientras que J estará representada por la variable grado de erosión con categorías  $j = 1, \dots, 4$ , dado que los grados de erosión nula y leve fueron colapsados.

Con el fin de estudiar las relaciones entre el conjunto de modalidades del carácter I (relieve, pendiente y profundidad del suelo) y las modalidades de carácter J (grado de erosión), se llevó a cabo un Análisis de Correspondencias Simples con estas parejas de variables cualitativas. Se utilizaron la distancia ji-cuadrado, el método de estandarización de centrar las filas y las columnas y el método de normalización simétrico donde para cada dimensión, las puntuaciones de las filas son la media ponderada de las puntuaciones de columna divididas por el valor propio coincidente y las puntuaciones de columna son la media ponderada de las puntuaciones de fila divididas por el valor propio coincidente. Finalmente, se hace la reducción a dos dimensiones, para obtener las representaciones gráficas respectivas.

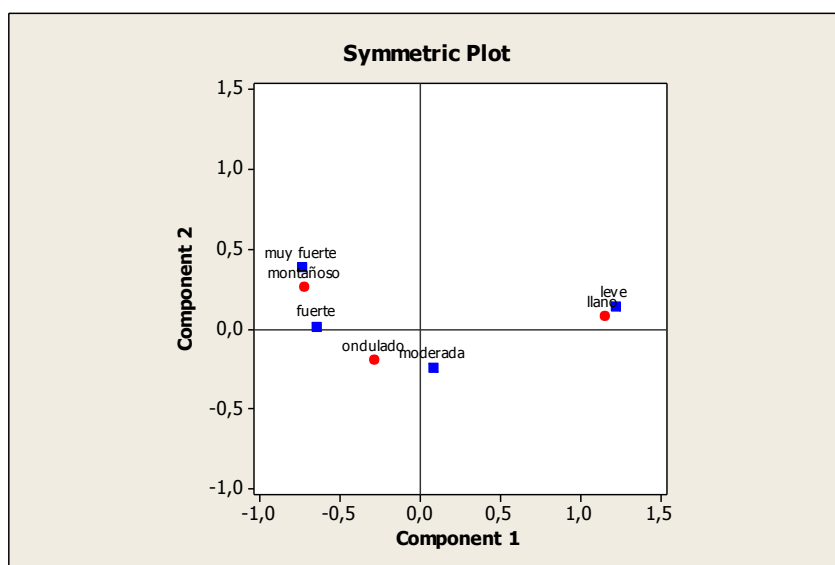
Para el estudio de la relación del grado de erosión con el relieve se obtienen la tabla 1 y el gráfico 1. Una reducción a dos dimensiones, tiene una inercia de 0.5855, de la que 0.5483 corresponden a la primera dimensión y 0.0372 a la segunda dimensión. La primera dimensión y más importante señala oposición entre relieves llanos y montañosos.

El gráfico 1 muestra la cercanía de los puntos que representan las categorías de ambas variables, evidenciándose que en relieve montañoso la erosión es muy fuerte, mientras que en los suelos llanos, ligeramente o medianamente ondulados la erosión es leve o moderada.

Tabla 1. Tabla de Contingencia de Relieve y Grado de Erosión

Grado de erosión	Leve	Moderada	Fuerte	Muy fuerte	TOTAL
Relieve					
Llano	19	9	0	0	28
ondulado	4	17	20	4	45
montañoso	0	5	16	6	27
TOTAL	23	31	36	10	100

Gráfico 1. Representación en dos dimensiones del Relieve y el Grado de Erosión



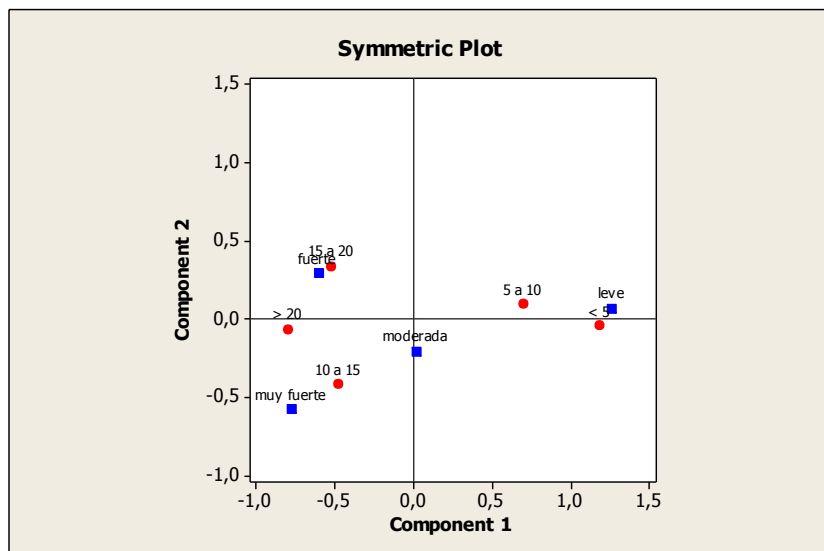
Para el estudio del grado de erosión y la pendiente se obtienen la tabla 2 y el gráfico 2.. La primera dimensión tiene una inercia acumulada de 0.5596 y la segunda de 0.0781, luego la representación gráfica muestra un 94% de la variabilidad total. La primera dimensión señala la oposición entre pendientes bajas y altas. Puede apreciarse que los puntos que indican erosión leve o nula están muy cercanos a las pendientes bajas (menor de 10), mientras que, por ejemplo, los puntos erosión “muy fuerte” y pendiente “de 10 a 15” están muy cercanos. De la misma manera ocurre con los puntos que representan la erosión fuerte y la pendiente de 10 a 20.

Cabe señalar que el territorio estudiado presenta zonas de relieve accidentado, con muchas zonas montañosas, alomadas y onduladas donde el uso del suelo debe ser de explotación forestal.

Tabla No. 2 Tabla de Correspondencia entre Pendiente y Grado de erosión

Grado de Erosión	Leve	Moderada	Fuerte	Muy fuerte	TOTAL
Relieve					
< 5	14	6	0	0	20
De 5 a 10	8	5	3	0	16
De 10 a 15	0	11	8	5	24
De 15 a 20	1	8	19	2	30
>20	0	1	6	3	10
TOTAL	23	31	36	10	100

Gráfico 2. Representación en dos dimensiones de la Pendiente y el Grado de Erosión

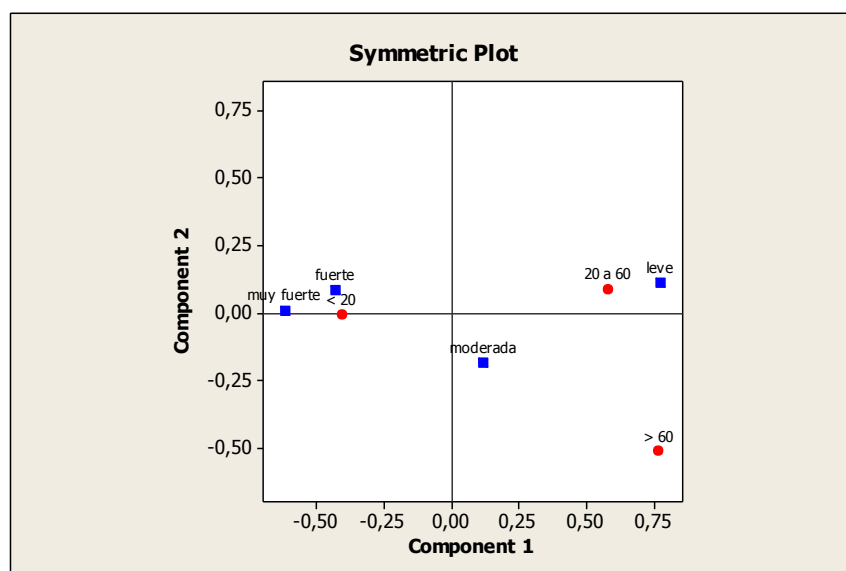


Siguiendo la metodología anterior, la tabla 3 y el gráfico 3 permiten analizar la relación entre el grado de erosión y la profundidad del suelo. La representación en dos dimensiones acumula el 100 % de inercia (0.2461 en la primera dimensión y 0.0159 en la segunda). Los puntos que representan los grados de erosión fuerte y muy fuerte están ubicados muy cercanamente al punto que representa profundidad del suelo menor a 20 cm.

Tabla 3. Tabla de Contingencia de Profundidad y Grado de Erosión

Grado de erosión	Leve	Moderada	Fuerte	Muy fuerte	TOTAL
Profundidad					
< 20 cm	5	17	29	9	60
De 20 a 60 cm	16	11	7	1	35
> 60 cm	2	3	0	0	5
TOTAL	23	31	36	10	100

Tabla No. 3. Tabla de Correspondencia entre Profundidad del Suelo y Grado de Erosión.



## 2. ANÁLISIS CONFIRMATORIO. REGRESIÓN LOGÍSTICA BINARIA (RLB)

Consideraremos el caso en que la variable respuesta es el grado de erosión asumiendo sólo dos valores posibles: 1 (grado leve a moderado) y 0 (grado fuerte a muy fuerte).

En general, cuando la variable respuesta es binaria, hay bastantes pruebas empíricas que indican que la forma de la función de respuesta debe no lineal. Una función monótonamente creciente (o decreciente), en forma de S (o de S invertida), es la que se acostumbra emplear. Esta función se llama función de respuesta logística y se puede linealizar con facilidad a través de la transformación “logit”. (Montgomery et al, 2004).

La tabla No. 4 brinda la información sobre la re-categorización de los datos del grado de erosión. Las variables predictoras del modelo fueron los factores relieve, profundidad y pendiente con los niveles antes señalados.

Tabla No. 4: Información sobre la Respuesta.

Variable	Valor	Frecuencia
Grado de erosion	1	54 (Evento)
	0	46
	Total	100

La tabla No. 5 resume algunos de los resultados obtenidos. Como es conocido la interpretación de los coeficientes estimados en la RLB depende de la función de enlace (en nuestro caso, logit), del evento de referencia y de los niveles de los factores de referencia. Como puede apreciarse en la tabla por los valores de los coeficientes estimados y de las razones “odds”, todos los factores considerados tienen efecto sobre la respuesta.

El estadístico  $G = 137,989$  con 8 grado de libertad muestra un valor de p empírico de 0.00, indicando que existe suficiente evidencia de que al menos uno de los coeficientes es diferente de cero. Obsérvese que, sin embargo, los valores de p empírico de las pruebas Z para cada coeficiente no permiten rechazar la hipótesis nula de que cada uno de los coeficientes es igual a cero, lo que pone de manifiesto problemas de multicolinealidad. Además de esta evidente contradicción entre las pruebas de hipótesis anteriores, obsérvese que los errores estándar de los coeficientes son valores muy elevados y, por tanto, el modelo (aunque confirma las relaciones entre el grado de erosión y las características de los

suelos utilizadas como predictores) debe ser utilizado con precaución si se deseara hacer predicciones del grado de erosión de estos suelos..

Tabla No. 5. Regresión Logística Binaria para el grado de erosión versus el relieve, la profundidad y la pendiente.

Predictor	Coefficiente	Error Estándar Coeficiente	Z	p	Razón "Odds"
Constante	21.2426	5477.85	0.00	0.997	
Relieve					
ondulado	-39.7172	9630.78	-0.00	0.997	0.00
montañoso	-40.8727.	13877.1	-0.00	0.998	0.00
Profundidad					
De 20-60	41.0708	5255.24	0.01	0.994	6.8680E+17
>60	80.5910	11575.5	0.01	0.994	1.0005E+35
Pendiente					
De 5 a 10	-1.89769	8660.31	-0.00	1.000	0.15
De 10 a 15	-2.07523	11269.4	-0.00	1.000	0.13
De 15 a 30	-2.15418.	11764.9	-0.00	1.000	0.12
>30	-41.8346	1667.9	-0.00	0.998	0.00

Las pruebas de bondad de ajuste por los métodos de Pearson, de la "deviance" y de Hosmer - Lemeshow, apuntan a que el ajuste es adecuado, ya que todos muestran un valor de p empírico igual a 1, lo que hace aceptar la hipótesis nula de ajuste adecuado a los datos.

Los resultados destacan las ideas intuitivas de que el grado de erosión cambia abruptamente, haciéndose muy fuerte cuando la pendiente es mayor de 30 cm. De igual forma se corrobora que en relieves ondulados y montañosos la erosión es muy fuerte con respecto a los suelos con relieve llano. También se confirma que con profundidades de 20 a 60 cm. y aún más con profundidades mayores de 60 cm., el grado de erosión es leve o prácticamente nulo.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El Análisis de Correspondencias Simple, es una herramientas estadísticas de gran utilidad a los investigadores de la Ciencia del Suelo, dado que le permite plantear hipótesis de investigación que luego podrán ser corroboradas con otros análisis confirmatorios.

Las representaciones gráficas que se obtuvieron con estas técnicas, contribuyen a esclarecer las causas que determinan la degradación del suelo en la zona Noroeste de la Sierra Norte de Puebla.

El modelo de Regresión Logística obtenido corroboró que en los suelos de relieve montañoso y en pendientes de más de 30 cm., la degradación del suelo por erosión es muy fuerte por lo que es indispensable la aplicación integral de medidas encaminadas a la conservación de los suelos en la Sierra Norte de Puebla, para que ayuden a disminuir la degradación del recurso suelo, así como, a la recuperación paulatina de las áreas afectadas por la erosión

El conocimiento de las relaciones entre estas características del suelo, es de gran importancia para realizar enfoques ambientalistas e incorporar conceptos de manejo y conservación de los suelos a fin de lograr una propuesta sustentable para el desarrollo de la región.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FAO (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma, Italia, 86 pp.
- INEGI (2000). Síntesis Geográfica del estado de Puebla y Anexo Cartográfico. Libro electrónico del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- Linares Fleites, G., Ruiz Careaga, J. y Tamariz Flores, J. V. (2004). "Aplicación del Análisis Factorial de Correspondencia para el estudio de la degradación de los

- suelos". En: Ciencias Ambientales. Temáticas para el Desarrollo. Volumen I. Ruiz Careaga J. y Castelán Vega, R. (eds). Dirección General de Fomento Editorial. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México. pp 119-130. ISBN 968-863-782-3.
- 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.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A. y Vining, G.G. (2004). Introducción al Análisis de Regresión Lineal. Compañía Editorial Continental. 3ra. Edición. México, D.F. 588p ISBN 970-24-0327-8.
- Ruiz Careaga, J., Calderón, E. y Tamariz Flores, J. V. (1999). Manual para la descripción de perfiles de suelos y evaluación del entorno. Textos BUAP. Puebla, México, 65 pp.
- Ruiz Careaga, J., Riverol Rosquet, M., Tamariz Flores, J. V. y Castelán Vega, R. (2005). Zonificación Agroecológica de la Sierra Norte de Puebla. Dirección General de Fomento Editorial. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México. 200p ISBN 968-863-846-3.
- Victor, N., Brossio, E. P. y Neumman, K. (1981). Conceptos de valoración para estudios empíricos. Reporte (traducido del alemán) del Departamento de Biomatemática de la Universidad de Gieben. Alemania.