

SIMULACIÓN DE LA DEGRADACIÓN POR EROSIÓN QUE SE OBSERVA EN LOS CONOS DE ESCORIA

Alberto López Santoyo*

Resumen

Los conos volcánicos conocidos como conos cineríticos o más propiamente, conos de escoria, aparecen por lo general en enjambres formando campos de volcanes; son el tipo más pequeño de estas geoformas, que una vez inactivos empiezan a degradarse por erosión si no se tienen en cuenta los que pueden ser sepultados por erupciones posteriores de volcanes cercanos. El proceso de degradación es relativamente rápido al principio, pero pierde fuerza gradualmente y no cesa hasta que el cono es nivelado por completo y desaparece del paisaje. Se aplicó un modelo por computadora para simular la degradación de conos de escoria. El modelo toma como dato inicial las coordenadas de puntos específicos que definen el perfil central de un cono joven. El algoritmo de erosión a través del cual se obtiene la simulación consiste en un proceso de filtrado que se aplica en forma repetitiva para obtener una secuencia de perfiles que corresponden a etapas sucesivas de erosión.

Palabras clave: conos de escoria; degradación por erosión; etapas de erosión; simulación; modelo por computadora; algoritmo de erosión; perfil central; filtrado.

Summary

The volcanic cones known as cinder cones but better described as scoria cones, usually appear in swarms forming volcano fields. They are the smallest type of volcanoes which once unactive start being degraded by erosion, if we do not consider those that can be buried by material ejected from later nearby cones. The process of degradation is relatively fast at the beginning and gradually loses power, but does not stop until the cone is completely leveled and erased from the landscape. A computer model was applied to simulate the degradation of scoria cones. The model requires as input data the coordinates of specific points that define the central profile of a young cone. The erosion algorithm through which the simulation is done consists of a filtering process applied repeatedly to obtain a sequence of profiles corresponding to successive stages in erosion.

Key words: scoria cones; degradation by erosion; stages in erosion; simulation; computer model; erosion algorithm; central profile; filtering.

Introducción

La degradación por erosión de los conos de escoria es un proceso natural que en el caso de pequeños volcanes empieza a desarrollarse en cuanto cesa la actividad eruptiva. El proceso mencionado es relativamente rápido al principio y pierde fuerza gradualmente.

La evolución erosiva está determinada tanto por agentes endógenos como por agentes exógenos. Las condiciones estructurales y la topografía previa, por una parte, y por otra las características y variaciones climáticas son condiciones muy importantes que van a dirigir y regular las diferentes etapas de la denudación.

* Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Apdo. Postal 20-850, 01000 México, D. F.

La observación de muchos conos de escoria en la parte central del país, dio lugar a la idea de elaborar una simulación que reproduzca la manera como estos volcanes se degradan a través del tiempo hasta llegar eventualmente a desaparecer del paisaje.

Existen varios trabajos sobre modelos matemáticos para simular la denudación de relieves. Entre ellos Scheidegger hace referencia a la evolución de vertientes por acumulación y erosión (en *Slope Morphology*, 1973, pág. 117) donde las partes sujetas a erosión se deprimen y las sujetas a acumulación crecen verticalmente. Este modelo general representa la evolución de laderas con una curva cóncavo-convexa que se suaviza y abate a medida que pasa el tiempo.

Un modelo matemático muy interesante que simula la degradación de vertientes, presupone que el basamento rocoso era homogéneo y que no existía erosión lineal por corrientes en la base del relieve ni cambios climáticos significativos durante la evolución de la denudación (Ahnert, 1970, pág. 92). Con dicho modelo y utilizando una computadora, el autor obtuvo una secuencia de perfiles a partir de una superficie inicial simple consistente en una ladera recta con fuerte pendiente y una superficie horizontal en la parte superior, de tal modo que hay una brusca ruptura de pendiente donde estas partes se unen. Los perfiles que simulan el proceso de degradación cambian paulatinamente del contorno original, a una curva cóncavo-convexa que se abate y suaviza a medida que el tiempo transcurre representado por los ciclos o iteraciones del proceso programado. El modelo de Ahnert obtiene además el espesor de material superficial intemperizado, ya que se apoya también en correlaciones de datos de campo donde resultan como principales parámetros la distancia a la parte superior de la ladera y el ángulo de pendiente para puntos sucesivos a lo largo de los perfiles.

En el presente trabajo se utiliza un modelo desarrollado por el autor que presupone un relieve inicial cualquiera, una litología homogénea, y sin erosión lineal por escurrimiento, ni cambios climáticos significativos a lo largo del proceso denudatorio.

Conos de escoria

La mayor parte de los pequeños volcanes están constituidos por material fino no consolidado, y se les conoce como conos cineríticos. El término conos de escoria es más adecuado, ya que la mayor parte de esos volcanes contienen abundante material más grueso que las cenizas, mezclado con éstas y con arena volcánica. Mears (1978, pág. 152) los describe así: "explosiones eruptivas continuas de piroclastos producen conos cineríticos, que son una acumulación de forma cónica con pendiente pronunciada, de material sólido proyectado alrededor del orificio central o cráter"... "aunque los conos pueden formarse sobre lava, y puede derramarse lava alrededor de la base, los conos en sí contienen solo piroclastos. Son el tipo más pequeño de volcanes que raramente sobrepasan unos cuantos centenares de metros de altura, y pueden aparecer en enjambres formando campos de volcanes."

Los volcanes pequeños son relativamente homogéneos en su composición y son monogenéticos, pues cuando cesa su actividad ya no vuelven a reactivarse como acontece con los grandes volcanes. Estos últimos son heterogéneos en su litología pues el material piroclástico se encuentra intercalado con derrames de lava, por lo que se les denomina

volcanes estratificados o estratovolcanes. En ocasiones los estratos-volcanes tienen un cono de escoria como resultado de las últimas erupciones.

Los conos de escoria se forman rápidamente durante el periodo de actividad del volcán. El "Monte Nuovo" en Italia alcanzó una altura de 130 m en pocos días en 1538. El volcán Bárcena de la isla San Benedicto en México formó un cono de 300 m, también en unos cuantos días en 1952 (Ollier, 1972, pág. 28). El Parícutín en el estado de Michoacán, en México, es otro ejemplo de cono de escoria que se formó rápidamente en 1943.

Degradación de los conos de escoria

Cuando cesa la actividad de un volcán empieza a ser lentamente desgastado por la erosión. El proceso es muy lento si se considera tiempo histórico, pero es sumamente breve en la escala de tiempo geológica. No se considera aquí la degradación que pueden sufrir los conos por sepultamiento producido por derrames de lava de volcanes vecinos que pueden aparecer posteriormente.

Algunos volcanes fueron datados indirectamente con base en parámetros geomorfológicos en un campo de volcanes cercano a la Ciudad de México por Bloomfield (1975) y las edades encontradas fluctúan entre 8 400 y 40 000 años. Posteriormente se realizó otro estudio de este grupo de volcanes por Martín del Pozzo (1982) y de este trabajo se tomó una serie de datos morfométricos para 146 conos, de los cuales se seleccionaron 28 para elaborar la serie de perfiles esquemáticos que aparecen en la **figura 1**.

Los datos que se utilizaron fueron: el diámetro de la base, el diámetro del cráter y la altura del cono. Los perfiles se estandarizaron para que se tenga el mismo tamaño en la base, por lo cual quedan a diferentes escalas, y se aplicó una pequeña exageración de escala vertical constante. La disposición en columnas de acuerdo con la numeración progresiva que tienen los ordena en función de la altura y del diámetro del cráter, para estar jerarquizados por etapas aparentes de erosión o de edad. Estos perfiles esquemáticos no muestran asimetrías ni el suavizamiento de la línea por el tiempo.

La degradación de los conos puede ocurrir de dos maneras: por inhumación de los flancos debido a subsecuentes derrames de lava, o por erosión y movimientos de remoción en masa. La degradación de la mayoría de los conos parece suceder principalmente por los dos últimos procesos mencionados (Wood, 1980, pág. 137).

Como la erosión es más intensa sobre geoformas con gran amplitud de relieve que sobre geoformas que presentan un escaso relieve, los conos de escoria jóvenes tienden a ser más afectados por la erosión que los conos ya semidegradados o en un estado avanzado de desgaste. En consecuencia, en un lapso de tiempo determinado la erosión produce un mayor desgaste sobre un cono joven que sobre uno semierosionado.

Los cambios por erosión en las geoformas son también mayores en aquéllas que presentan una superficie irregular con fuertes rupturas de pendientes, y son más débiles en relieves uniformes que no presentan cambios bruscos en la forma. Los conos jóvenes tienen un perfil rectilíneo con fuertes rupturas de pendiente, y, por tanto, son más vulnerables a la erosión que los conos semidegradados cuyo perfil es redondeado y no

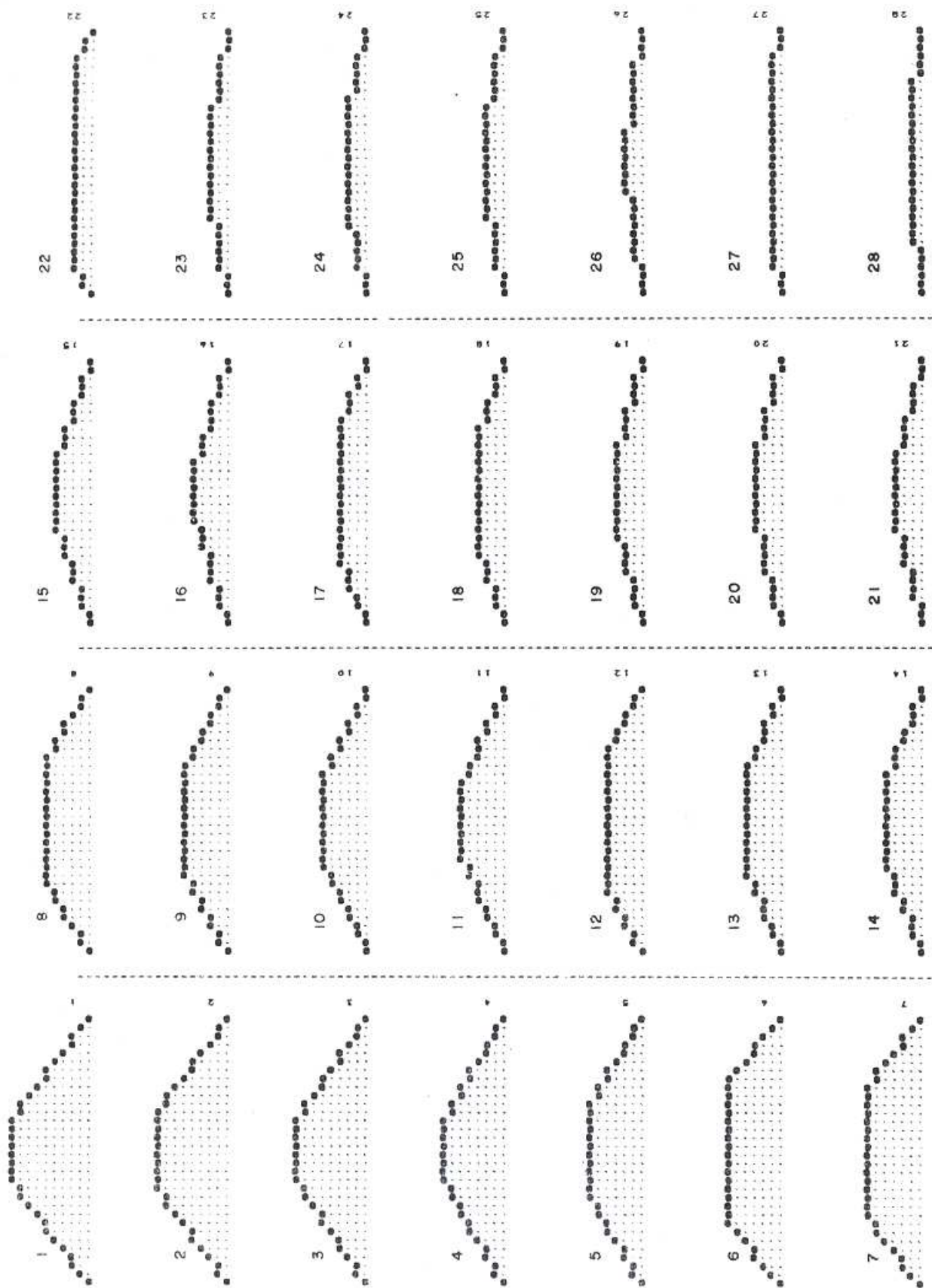


Figura 1. Secuencia de perfiles esquemáticos con datos de conos monogenéticos de la Formación Chichinautzin. Los parámetros utilizados son: diámetro de la base, diámetro del cráter y altura del cono.

presentan ya rupturas de pendiente.

El proceso de denudación es sumamente complejo en la realidad, y como se mencionó antes, las características estructurales, la topografía previa y las condiciones climáticas son factores fundamentales que van a influir en las etapas de erosión. Sin embargo, el hecho que los conos de escoria sean pequeñas geoformas, y que el material presente cierta homogeneidad, hace que las variables puedan simplificarse al tratar de representar el fenómeno de una manera general.

El modelo de simulación

Se aplicó un modelo por computadora para tener los cambios en la forma de un cono correspondientes a etapas sucesivas de erosión. La simulación se realiza a través de una secuencia de gráficas donde cada una representa una etapa de erosión, y muestra el perfil del cono como si se practicara un corte vertical en su parte central.

Los datos de entrada para el modelo definen puntos específicos del perfil de un cono que aún no ha empezado a ser erosionado. Cada punto queda determinado por dos valores: uno que da la distancia horizontal a partir del extremo izquierdo de la base, y otro que corresponde a la altura respecto al plano horizontal que pasa por la base.

Para representar el perfil inicial (de un cono que está ya inactivo y que apenas va a comenzar a ser desgastado por la erosión) se calculan por interpolación entre los puntos-dato los valores de altura de un número determinado de puntos sucesivos equidistantes.

La primera etapa de erosión se obtiene por medio de una transformación de los datos de altura de todos los puntos equidistantes que representan el perfil inicial. Luego se aplica el proceso de transformación a las alturas que corresponden a la primer etapa de erosión y se obtienen los valores para representar la segunda. Cada etapa se alcanza después de aplicar la misma transformación sobre los datos que conforman la etapa anterior.

La base fundamental del modelo es un proceso repetitivo que transforma los valores de altura de una etapa cualquiera para obtener las alturas de la etapa siguiente. A medida que se avanza en la simulación decrece la amplitud de relieve, es decir, el desnivel entre la parte más alta y la parte más baja del cono; cuando finalmente el desnivel es nulo se alcanza la última etapa. El filtrado de los valores de altura suavizan el perfil sucesivamente.

El algoritmo de erosión

La transformación para obtener las etapas de erosión tiene un significado desde el punto de vista de la geometría que consiste en construir una cadena de triángulos uniendo cada tercia de puntos. El primer triángulo está formado por los puntos 1, 2 y 3. El segundo por los puntos 2, 3 y 4. El tercero por los puntos 3, 4 y 5, y así sucesivamente. Los puntos 2, 3 y 4, son vértices centrales en los tres primeros triángulos, y, por tanto, del segundo punto al penúltimo todos son vértices centrales en la cadena. En seguida se encuentra el centro de gravedad de cada triángulo y dicho

centroide queda siempre situado sobre la vertical del vértice central, ya que los vértices son puntos equidistantes horizontalmente. Por último se sustituye cada vértice central por el centro de gravedad que queda directamente arriba o abajo de dicho vértice. El primer y el último puntos del perfil no tienen en su vertical un centro de gravedad por lo cual estos puntos quedan eliminados, y, por tanto, la nueva línea resulta más corta. Esta es una limitación muy importante que requirió de una solución en alguna forma.

Para anular el problema de reducción de puntos se recurrió a un artificio que permite por una parte conservar siempre el total, y por otra, resolver la evolución del talud del cono para que concuerde con el cambio que se observa en la realidad. Dicho artificio consiste en disponer la serie de datos de altura de los puntos equidistantes en forma anular y no en forma lineal en cada etapa. La nueva disposición tiene como fin poder tomar un punto más en cada extremo del perfil antes de aplicar la transformación de los valores de altura, es decir, se extiende la serie a dos puntos más, uno en cada extremo, que sirven para alargar o ampliar la cadena de triángulo, y esos mismos puntos son los que se pierden por lo cual el perfil queda siempre de la misma longitud.

Sustituir los puntos del perfil de una etapa cualquiera por los centros de gravedad de la cadena de triángulos, produce un efecto semejante al cambio que se observa en el perfil de dos conos que presentan etapas de erosión diferentes pero no muy distantes.

Si se considera un elemento convexo del perfil definido por tres puntos consecutivos, el triángulo correspondiente tiene su centro de gravedad abajo del vértice central, por lo que al sustituir este punto por el centro de gravedad el elemento resulta abatido o rebajado, lo cual corresponde a desgaste erosivo.

En un elemento cóncavo, también definido sólo por tres puntos consecutivos en el perfil, el centro de gravedad del triángulo correspondiente queda ahora por encima del vértice central, por lo cual en la sustitución de este punto el elemento resulta levantado respecto a su posición original, y esto corresponde a depósito o acumulación.

Por último, en un elemento rectilíneo donde tres puntos consecutivos del perfil quedan alineados, el triángulo correspondiente degenera en segmento de recta, por lo que el centro de gravedad coincide con el punto central y al efectuar la sustitución no hay cambio alguno en el elemento. Esto concuerda con el hecho que, en el terreno, un elemento rectilíneo es fundamentalmente una sección de transporte de material erosionado de elementos externos o de elementos adyacentes.

El número de puntos equidistantes que se elijan para representar el perfil original es arbitrario. Mientras mayor número de puntos se tome el perfil es más grande pero el tiempo de máquina para transformar los datos de altura aumenta considerablemente y también el número de etapas que se obtienen. Una simulación con gran número de etapas de erosión es muy adecuada para tener la representación del proceso en forma detallada.

Simulación de erosión de un cono

La figura 2 muestra la simulación de degradación de un cono de escoria mediante la aplicación del modelo descrito anteriormente. Los perfiles se encuentran ordenados por columnas y numerados por etapas de erosión correspondientes a ciclos del proceso

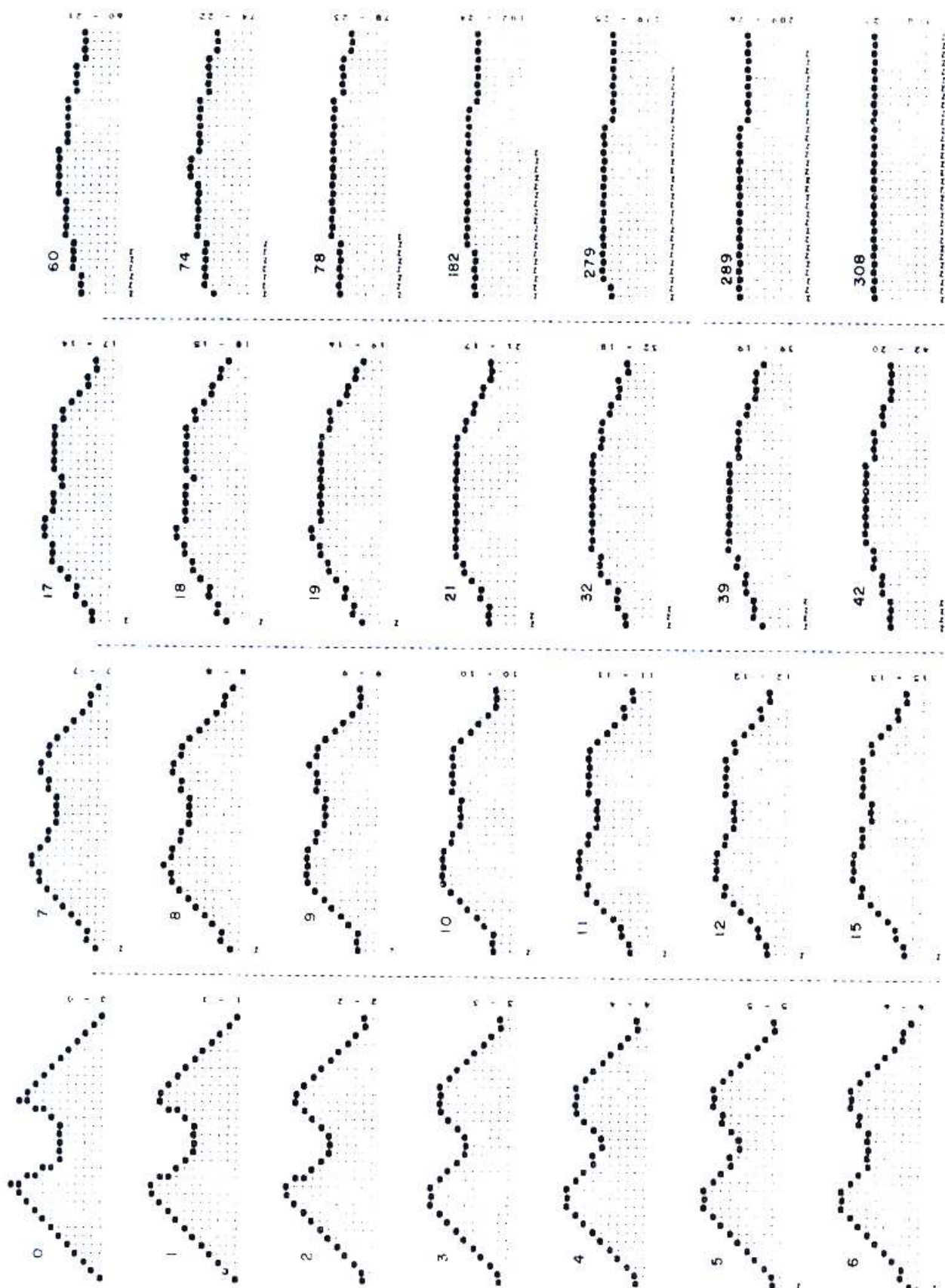


Figura 2. Simulación de la degradación por erosión de un cono de escoria. El primer perfil (número 0) muestra el cono antes de empezar a ser desgastado. Los perfiles restantes fueron seleccionados de la secuencia de más de 300 etapas obtenidas por el modelo hasta llegar a la nivelación total del cono volcánico.

programado. En la primer columna, el perfil identificado con el número cero representa un cono joven que no muestra aún huellas de degradación. El siguiente (número 1) representa la primer etapa de erosión; a continuación la segunda, y así sucesivamente hasta el número 12. Los perfiles restantes fueron elegidos de un total de más de 300 etapas que se obtuvieron por el modelo en este ejemplo. La numeración en los perfiles concuerda con la etapa de erosión simulada.

En la parte inferior de los perfiles a partir de cierto número aparece una barra horizontal delgada que crece conforme se avanza en el proceso. El tamaño de esta barra está en proporción al número de etapa de erosión respecto al total. La barra llega a cubrir toda la longitud del perfil cuando se alcanza la nivelación completa.

Durante las primeras etapas de erosión parte del material desgastado proviene de la parte superior y resbala por el talud externo del cono o cae dentro del cráter. El material que resbala por el talud externo, se acumula y distribuye al pie del cono y suaviza la ruptura de pendiente que originalmente se encuentra en la base. El que cae dentro del cráter proviene del mismo talud interno y rellena el cráter hasta que eventualmente desaparece. Al principio hay un doble proceso: de erosión o desgaste y de depósito o acumulación. El cráter desaparece por estar sujeto a un proceso de acumulación y porque al mismo tiempo el cono sufre un desgaste de arriba hacia abajo.

Cuando el cráter ya no existe el cono está sujeto a erosión fundamentalmente, y el material removido se distribuye y deposita al pie del edificio volcánico, donde ya la ruptura de pendiente se ha borrado por completo.

Conclusiones

El proceso de degradación por erosión de los conos de escoria puede simularse por medio de filtrados sucesivos de los valores de altura que definen el perfil central de un cono. Dado que los conos de escoria son pequeñas geoformas de composición relativamente homogénea, algunas variables geográficas como el clima y la litología pueden ser consideradas constantes para poder tratar matemáticamente el fenómeno. Esto es particularmente ventajoso, pues intentar modelar procesos geomorfológicos complejos donde interviene una gran cantidad de factores es aún una tarea que no se ha podido conseguir satisfactoriamente.

La intensidad de erosión que decrece rápidamente al principio y después lentamente por actuar sobre una amplitud de relieve que siempre disminuye, se pudo reflejar gracias al algoritmo desarrollado basado en una cadena de triángulos, que, en forma semejante, también se van aplanando hasta prácticamente degenerar en una recta.

El modelo aplicado resulta ser un modelo de equilibrio de masa donde la cantidad de material que originalmente tiene el cono y representada por el área del perfil, es siempre la misma. Por estar basado el filtrado de las alturas en sustituir los puntos por centros de gravedad de la cadena de triángulos, equivale a compensar lo que se pierde por erosión con lo que se gana por depósito. En el proceso real prácticamente todo el material erosionado se distribuye y deposita alrededor de la base del cono, de tal manera que al mismo tiempo se abate la amplitud de relieve, la base aumenta y la línea

del perfil se suaviza gradualmente. En la simulación que se realizó se prefirió enfocar siempre lo que se ve en la distancia original que cubre la base del cono para apreciar con mayor detalle la parte principal.

Referencias

- Ahnert, F., A comparison of theoretical slope models with slopes in the field, *Zeitsch. Geomorph.*, 9, 1970, págs. 88-101.
- Bloomfield, K., A late-Quaternary monogenetic volcano field in central Mexico, *Geol. Rundschau*, 64, Stuttgart, 1975, págs. 476-497.
- Davis, J. K., *Statistics and data analysis in Geology*, John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1973.
- A. L. Martín del Pozzo, Monogenetic vulcanism in Sierra Chichinautzin, Mexico, *Bull. Volcanologique*, 45, 1, 1982, págs. 9-24.
- Mears, B. Jr., *Essentials of geology*, D. Van Nostrand Co., Nueva York, 1978.
- Ollier, C., *Volcanoes*, The Mit Press, Cambridge, 1972.
- Scheidegger, A. E., Mathematical models of slope development, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 72, 1961, págs. 37-49.
- Slope Morphology*, Edited by Stanley A. Schumm y M. Paul Mosley, Benchmark Papers in Geology, Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., 1973.
- Wood, C. A., Morphometric analysis of cinder cone degradation, *J. Volcanol. Geother. Res.*, 8, Amsterdam, 1980, págs. 137-160.