

# Determinación de patrones de la conductividad eléctrica efectiva en las provincias habaneras\*

\*\*Ricardo BARANDELA ALONSO  
y \*\*Omar DELGADO RODRIGUEZ

**RESUMEN.** *Utilizando los datos de conductividad eléctrica efectiva obtenidos en las provincias habaneras, así como la información geológica existente para esta región se logra, aplicando Técnicas de Reconocimiento de Patrones, importantes resultados en la estimación de este parámetro eléctrico.*

## INTRODUCCION

Por la importancia que tiene el conocimiento del comportamiento de la conductividad eléctrica efectiva ( $\sigma_{ef}$ ) para cualquier proyecto que exija el análisis de los parámetros eléctricos de una región determinada se realizó en 1989 la re-evaluación del mapa de la  $\sigma_{ef}$  de las provincias habaneras a escala 1:500 000, así como una clasificación de los suelos presentes de acuerdo con este parámetro eléctrico.

En esa ocasión se pudo apreciar la variabilidad que existe de la  $\sigma_{ef}$  dentro de las diferentes poblaciones establecidas y en muchos casos para un mismo tipo genético de suelo, lo que indica la existencia de otros factores que, junto con el tipo genético de suelo, definen el valor de este parámetro eléctrico en un lugar determinado.

Partiendo de la necesidad de poseer la información del comportamiento de la conductividad eléctrica del terreno en otras provincias y del gran costo que conlleva una campaña de mediciones con el método SEV, se decidió trabajar en el establecimiento de patrones de  $\sigma_{ef}$  con la mayor precisión posible, que estuvieran definidos por factores que influyen grandemente en el valor de la conductividad eléctrica intrínseca del terreno, utilizando para esto los valores de  $\sigma_{ef}$  obtenidos en las provincias habaneras, así como los mapas contenidos en el informe del levantamiento geológico de La Habana.

---

\*Manuscrito aprobado en septiembre de 1991.

\*\*Instituto de Geofísica y Astronomía de la Academia de Ciencias de Cuba.

Para lograr este objetivo se utilizó el sistema interactivo NN-INT (Barandela y Fuentes, 1987) para tareas de reconocimiento de patrones. En las secciones siguientes se detallan los parámetros utilizados y los pasos

dados para el procesamiento de la muestra de entrenamiento (ME). Después de la discusión de los resultados, el trabajo termina con una sección dedicada a recomendaciones para trabajos futuros.

## CONFORMACION DE LA MUESTRA INICIAL Y TRANSFORMACIONES REALIZADAS

Los parámetros que se tuvieron en cuenta fueron:

- a) Litología.
- b) Acuosidad de las rocas
- c) Mineralización de las aguas subterráneas.
- d) Datos ingeniero-geológicos.
- e) Tipo genético de suelo.
- f) Conductividad eléctrica equivalente

( $\sigma_{eq}$ ): Para esta variable se dispuso de los valores en mS/m para las zonas determinadas en el mapa de la  $\sigma_{eq}$  de los suelos de las provincias La Habana y Ciudad de la Habana a escala 1:250 000. Estos valores son 1, 3, 5, 7, 10, 15, 30.

Las primeras cinco variables tomaban valores según el número de orden que les correspondía. De esta manera se trató de recopilar toda la información disponible que tuviera una relación más o menos estrecha con la  $\sigma_{ef}$ .

Para la creación de la muestra se contó con la red de puntos y perfiles utilizada en las provincias habaneras en la aplicación del método SEV. Cada medición con este método quedaría representada con un valor de  $\sigma_{ef}$  por punto. Además, se disponía de una serie de mapas que contienen la información antes mencionada, todos a escala 1:250 000, con excepción de la información sobre los tipos genéticos de suelos, cuyo mapa disponible se encontraba a escala 1:500 000.

Mediante la superposición de cada uno de los mapas con el de la red de medición se podía asociar cada punto (cada valor de

$\sigma_{ef}$ ) con toda la información conformada en 6 variables, y de esta forma se construyeron los diferentes prototipos de la ME inicial.

La ME quedó conformada en 6 clases de la manera siguiente:

Clases Rango de  $\sigma_{ef}$  (mS/m) No. de prototipos

1	1 — 40	178
2	40 — 70	76
3	70 — 100	67
4	100 — 200	70
5	200 — 300	31
6	> 300	18

Para el procesamiento de la muestra se utilizó el sistema interactivo NN-INT, basado en las técnicas del vecino más cercano.

La ME fue sometida en 3 ocasiones consecutivas a la Edición Generalizada así, además de eliminar prototipos que, según la distribución de sus vecinos más cercanos, no se ajustaban a ninguna clase, se realizaron transferencias de prototipos de una clase a otra de acuerdo con el mismo criterio.

Seguidamente, fue sometida a la Edición en dos ocasiones, con el objetivo de eliminar algunos prototipos no deseables, a manera de refinar el resultado (Barandela y Fuentes, 1987)

Luego de este proceso de depuración de la ME, se evaluó el comportamiento de las variables en las diferentes clases, y se observó que en el caso de la  $\sigma_{eq}$ , después de sufrir la ME un proceso de depuración, existía una gran dispersión de sus valores dentro de las diferentes clases. Esto puede

ser explicado si tenemos en cuenta que el valor de  $\sigma_{ef}$  está determinado principalmente por la  $\sigma_{ef}$  y las irregularidades del terreno, siendo este último, en muchos casos, el determinante en la magnitud de la primera, lo cual provoca que este parámetro no refleje, en la mayoría de los casos las variaciones de la  $\sigma_{ef}$  y sí las variaciones del carácter del relieve (Delgado *et al.*, 1989).

Se procedió a eliminar dicha variable de la ME y se repitió el mismo proceso, observándose una mejoría en la distribución de las variables en las diferentes clases.

También se pudo observar que en algunas variables existía ausencia de algún valor, es decir, existían saltos en esos valores.

Esto, a la hora de determinar las distancias entre las magnitudes dentro de las variables provoca errores al ubicar los prototipos dentro de las clases. Para evitar esta situación se procedió a reordenar los valores de cada variable.

Para el caso de la variable tipo genético de suelo se decidió clasificar los valores de  $\sigma_{ef}$  de acuerdo con los diferentes agrupamientos genéticos de suelos presentes en la región, lo que está fundamentado por el trabajo de clasificación de los suelos habaneros según su  $\sigma_{ef}$ , realizado en 1989 (Pascual *et al.*, 1989).

De la distribución de los valores de la  $\sigma_{ef}$ , en correspondencia con los demás factores recopilados que influyen en ella, se observó que para una zona de características físico-geológicas constantes existía una variación considerable de la  $\sigma_{ef}$  en dependencia de si el punto de medición se encontraba más o menos cerca de la costa. Se determinó entonces incluir el parámetro cuantitativo "distancia a la costa" con el fin de valorar este fenómeno a la hora de

crear los patrones en la ME. Los valores de esta variable están dados por la distancia (en kilómetros) de cada punto de la red a la costa más cercana.

Todas estas transformaciones se realizaron en diferentes etapas, observándose siempre una mejoría en la distribución de los valores de las variables dentro de cada clase, como se verá en las secciones siguientes.

#### *Estrategias desarrolladas en el trabajo*

En esta sección se detallan los resultados obtenidos durante la ejecución del trabajo en sus distintas etapas, y se comentan algunos de éstos desde el punto de vista del Reconocimiento de Patrones.

Primero se procesó la ME inicial conformada por 6 clases y 6 variables, y que tenía un valor del estimado del error por el método  $L$  de 57,4%. Este estimado del error fue el criterio empleado a lo largo de todo el trabajo como guía en la búsqueda de la mejor combinación de las técnicas ya mencionadas.

*1ra. Etapa.* Trabajando a partir de la ME inicial, se aplicó por tres veces la Edición Generalizada ( $K = 3$ ,  $K = 2$ ) y posteriormente la Edición ( $K = 3$ ) por dos ocasiones. La ME resultante, como se puede apreciar a continuación, representó una disminución de más de 35% en el número de prototipos, lo que significa una ventaja importante para el trabajo posterior en cuanto a los requerimientos tanto en capacidad de memoria como en tiempo de computación. Además, y esto es aún más importante, tuvo un estimado de clasificación errónea de sólo 0,7%.

Los prototipos eliminados y trasladados se comportaron de la siguiente manera:

Clase	Prot. trasladados	Prot. eliminados	Prot. finales
1	24 (13%)	43 (24%)	163
2	43 (57%)	24 (32%)	30
3	28 (42%)	20 (30%)	33
4	21 (30%)	10 (14%)	56
5	25 (81%)	6 (19%)	0
6	10 (56%)	7 (39%)	3

El alto número de prototipos eliminados y trasladados afectó grandemente a las clases de mayor rango de  $\sigma_{ef}$ , dejando eliminada la clase no. 5, mientras que la clase no. 6 sólo quedó con tres prototipos.

Al final de estas ejecuciones se pudo eliminar la variable no. 1 sin que ello afectara el estimado del error. Se probó también eliminar la variable no. 6 pero esto no mostró ventajas.

En otra estrategia paralela, la eliminación de la variable no. 1 se efectuó inmediatamente después de ejecutar la tercera aplicación de la Edición Generalizada. En esta ocasión se necesitó una aplicación más (es decir, tres en total) de la Edición para poder alcanzar el resultado antes discutido. Además, en el momento en que se produjo esa eliminación el estimado del error aumentó considerablemente (se duplicó), lo que motivó el abandono de esa estrategia.

En otras palabras, los resultados parecen apuntar a la conveniencia de postergar la selección de variables hasta el final.

Debe destacarse también que, al igual que ha sucedido en otras aplicaciones prác-

ticas, la mayor parte de la reducción del tamaño de la ME se produjo en la primera aplicación de la Edición Generalizada: en este caso se eliminó 26% de los prototipos. Las siguientes aplicaciones de la Edición Generalizada y de la Edición provocan transformaciones no tan marcadas en la estructura de la ME y, sin embargo, consiguen reducciones importantes en el estimado del error.

*2da Etapa.* Por consideraciones geofísicas, en esta etapa se quiso eliminar desde el principio la variable no. 6 (conductividad eléctrica equivalente).

Esta eliminación, por si sola, dio lugar a una disminución considerable del estimado del error, que fue ahora para la ME inicial de 27,7%.

Sin embargo, su estructura después de las aplicaciones de la Edición Generalizada (tres veces) y de la Edición (una sola vez, la segunda no se pudo aceptar por aumento del estimado del error) no pareció tan buena como en la etapa anterior:

Clase	Prot. eliminados	Prot. trasladados	Prot. finales
1	14 (8%)	25 (19%)	166
2	9 (12%)	26 (34%)	66
3	12 (18%)	15 (22%)	65
4	9 (13%)	19 (27%)	68
5	11 (35%)	16 (52%)	7
6	7 (38%)	8 (44%)	5

Se observa que la reducción del tamaño de la ME fue mucho menor (sólo de 14%); tampoco el estimado del error (2,9%) fue tan bajo.

Se realizó otro intento, dando esta vez valores más altos a los parámetros de la Edición Generalizada ( $K = 5$  y  $K = 4$ ) pero fue necesario desistir ya que desde la

primera aplicación se produjo una eliminación de casi 60% de los prototipos.

*3ra Etapa.* Teniendo en cuenta la influencia que sobre la  $\sigma_f$  tiene la salinidad de los suelos en las cercanías de las costas, se decidió incorporar a cada prototipo otra variable más: "distancia a la costa". De esta manera se tenían nuevamente 6 variables, pues como se recordará la  $\sigma_{eq}$  había sido eliminada en la etapa anterior.

Clase	Prot. eliminados	Prot. trasladados	Prot. finales
1	61 (35%)	19 (11%)	146
2	41 (54%)	28 (37%)	19
3	37 (56%)	27 (41%)	4
4	39 (57%)	16 (24%)	45
5	17 (65%)	7 (27%)	5
6	11 (79%)	8 (44%)	3

Además de esta disminución de la ME de casi 50%, el estimado del error (como siempre según el método L) decreció desde 64,4% a 3,6%.

*4ta Etapa.* Para evaluar las consecuencias de los cambios en las variables agrupamiento de suelo y datos ingeniero-geológicos por

También se efectuó el reordenamiento de las escalas para los valores de las variables tipo genético de suelo y datos ingeniero-geológicos. Esto motivó que fuera necesario desechar 13 prototipos de los iniciales.

A continuación se relaciona la estructura de la ME, después de ejecutar la Edición Generalizada (cuatro veces) y la Edición (una vez).

si solos, se eliminó desde un principio la variable incorporada en la etapa anterior (distancia a la costa).

Después de las aplicaciones de las técnicas ya reiteradas (en este caso fue necesario utilizar la Edición dos veces), la ME quedó de la forma siguiente:

Clase	Prot. trasladados	Prot. eliminados	Prot. finales
1	16 (9%)	22 (12%)	166
2	11 (15%)	24 (32%)	65
3	13 (20%)	13 (20%)	60
4	10 (15%)	17 (25%)	60
5	8 (31%)	11 (42%)	10
6	5 (36%)	6 (43%)	3

## ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En la primera etapa, cuando a la ME no se le habían reajustado los valores en las diferentes variables, no se había eliminado la variable  $\sigma_{eq}$  ni se había incluido la variable cuantitativa "distancia a la costa", se pudo observar que la variable litología sólo aportaba que las rocas terrígenas representaban a la clase no. 4. En el resto de los valores, su presencia en la muestra era insuficiente o se encontraban lo mismo en

las clases que representan los valores más bajos de  $\sigma_f$  como la de los valores más altos.

La variable acuosidad de las rocas no aportaba gran información útil para la configuración de patrones.

En el caso de la mineralización de las aguas subterráneas, el valor 0,5 g/L representaría a las clases no. 1 y no. 2.

De la variable datos ingeniero-geológicos se puede decir que las semi-rocosas plásticas y plásticas arenosas de la formación terrígena representaban a la clase no. 4, lo que coincidía con el resultado obtenido en la variable litología, mientras que las semi-rocosas y las rocosas semi-rocosas de la formación carbonatada terrígena representaban a la clase no. 1.

Para el tipo genético de suelo solo se puede mencionar que los tipos ferralíticos amarillos lixiviados, fersialítico rojo, pseudopodzólicos amarillento, las rendzinas rojas y negras, y las ciénagas costeras caracterizan a la clase no. 1, mientras que los suelos gleys tanto oscuros como pseudopodzólicos gris amarillento caracterizan a la clase no. 4.

Para la  $\sigma_{eq}$  se observa que el valor 1 mS/M sólo se encuentran en la clase no. 1 y no. 4 (principalmente en la clase no. 1), el valor 2 mS/M no se encuentra en clase alguna, los valores 3, 5 y 7 mS/M se encuentran distribuidos en las 4 primeras clases, el valor 10 mS/m sólo se encuentra en la clase no. 1 y no. 6 (clases extremas), el valor 15 no se encuentra en ninguna clase y el valor 30 mS/m se encuentra en las 4 primeras clases destacándose su mayor presencia en la no. 1. Es de notar la gran dispersión que existe en los valores de esta variable así como lo contradictorio de la ubicación de algunos en las clases existentes.

Por todo esto se hizo necesario realizar las transformaciones antes mencionadas en algunas variables.

Sin embargo, en la 3ra Etapa, después de realizados los ajustes y correcciones a la ME se observa que:

#### *Litología*

— Rocas carbonatadas: caracterizan a las clases no. 1, no. 2 y no. 3.

— Rocas terrígenas: caracterizan a las clases no. 4 y no. 5.

— Depósitos areno-arcillosos modernos: caracterizan a la clase no. 6.

#### *Acuosidad de las rocas*

Esta variable no define a ninguna de las clases presentes.

#### *Mineralización de las aguas subterráneas*

— 0,25 g/L a 0,5 g/L: representa a la clase no. 1.

— 0,5 g/L a 0,75 g/L: representa a la clase no. 2.

—  $\geq 1$  g/L: representa a la clase no. 6.

#### *Datos ingeniero-geológicos*

— Formación carbonatada, rocosa (calizas cristalinas N1-Q): caracteriza a la clase no. 1 y no. 2.

— Formación carbonatada terrígena, rocosa semi-rocosa (calizas y margas N1): caracteriza a las clases no. 1 y no. 3.

— Formación terrígena, plástico, arenoso (flysch del Pg1-Pg2): caracteriza a la clase no. 5.

— Depósitos cuaternarios, plástico arenoso (arcilla, arena y turba): caracterizan a la clase no. 6.

#### *Agrupamiento genético de suelo*

— Ferralítico: representa a las clases no. 1, no. 2 y no. 3.

— Fersialítico: representa a la clase no. 1.

— Seudopodzólicos: representa a la clase no. 1.

— Pardos: representa a las clases no. 4 y no. 5.

Para el caso de la variable cuantitativa "distancia a la costa" se determinó el valor más probable por clase y se obtuvo que para la clase no. 1 es de 13,9 km, para la clase no. 2, 7,6 km, y 6,9 km para la clase no. 4; para el resto de las clases, el número de prototipos es tan pequeño que no es válido un análisis cuantitativo de este tipo.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta el resultado del análisis de la distribución de los valores de las variables dentro de cada clase, y considerando también la magnitud del error de clasificación estimado obtenido en las diferentes estrategias de trabajo, se llega a la conclusión de tomar la 3ra Etapa como la más efectiva para la determinación de los patrones a partir de las variables analizadas.

Se puede observar en la ME que, tanto antes de las transformaciones sufridas como después de ser reajustadas las variables, existe un contraste en cuanto al número de prototipos por clases, notándose que la clase no. 1 posee un número muy grande de prototipos en comparación con las demás clases. Además, después de aplicado el proceso de depuración, aunque todas las clases sufren eliminaciones y traslados de prototipos, la clase no. 1 se mantiene con un gran número de éstos, que en su mayoría no fueron trasladados ni enviados de otras clases, mientras que la mayor parte de los prototipos trasladados ocurría con las clases vecinas.

Para las demás clases ocurre que al final del proceso de depuración y como resultado de las eliminaciones y traslados, el número final de prototipos es, en relación con la clase no. 1, muy pequeño.

Este provoca que al realizar un análisis de la distribución en cada clase, de los valores de las variables, se tiene que aunque en muchos casos se observe una concentra-

ción de esos valores en algunas clases, el número exiguo de prototipos (excepto en la clase no. 1) resta validez a los resultados.

Esto se debe a que las provincias habaneras se caracterizan por su baja  $\sigma_{ef}$  y no constituyen una región del país adecuada para crear patrones de altos valores de  $\sigma_{ef}$  con una precisión conveniente.

Una de las conclusiones de este trabajo es que, aunque se logra establecer ciertos patrones para los altos valores de  $\sigma_{ef}$ , éstos tienen un grado de precisión mucho menor que los creados para los valores bajos.

Con independencia de la utilidad de los patrones obtenidos se determinó, en futuros trabajos, reprocesar la ME con la variante de eliminar la variable acuosidad de las rocas, debido a la poca información que aporta la misma, con el fin de refinar los resultados obtenidos. También se propuso realizar un estudio similar en una región del país donde los valores esperados de la conductividad eléctrica sean mayores, con el fin de estimar y obtener patrones más precisos para esos valores altos.

Por último, tenemos que ha sido estudiada la variabilidad que puede presentarse, para un mismo tipo genético de suelo, de la  $\sigma_{ef}$  en función de las variaciones del espesor del mismo (Frías, 1989), por lo que incluir el espesor del suelo como variable constituye otra modificación a la ME, para la constitución futura de nuevos patrones.

## REFERENCIAS

- Barandela, R. (1988): *NNINT: Manual del usuario*. Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía, no. 2, 75 pp.
- Barandela, R. y N. Fuentes (1987): Un sistema interactivo para el Reconocimiento de Patrones con la regla NN. *Rev. Investigación Operacional* no. 3, pp. 39-47.
- Delgado, O., A. Pascual, N. Fuentes, y L. Iturriaga (1989): *Estimación de la conductividad eléctrica efectiva y la corrección topográfica*. Comuni-

- caciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía, no. 11, 11 pp.
- Frías, I. (1989): "El método SEV en la determinación de la conductividad eléctrica efectiva de los suelos". [inédito], tesis de grado, Instituto de Geofísica y Astronomía, La Habana.
- Pascual, A., N. Fuentes, y O. Delgado (1989): *Conductividad eléctrica efectiva de los suelos de las provincias habaneras*. Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía, no. 10, 10 pp.

*Ciencias de la Tierra y del Espacio, 21-22, 1993*

DETERMINATION OF EFFECTIVE ELECTRICAL CONDUCTIVITY  
PATTERNS IN THE HAVANA PROVINCES

Ricardo BARANDELA ALONSO  
and Omar DELGADO RODRIGUEZ

**ABSTRACT.** *Important results to estimate the effective electrical conductivity through electrical data and geological information from the Havana province are shown. Pattern Recognition Techniques were employed.*