

METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN SEMIAUTOMATIZADA DE DOMINIOS GEOLÓGICOS EN YACIMIENTOS LATERÍTICOS

Methodology for the semiautomatized determination of geologic domains in lateritic ore bodies

Israel CRUZ-OROSA¹; Arístides Alejandro LEGRÁ-LOVAINA¹; León Ortelio VERA- SARDIÑAS¹

(1) Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. E-mail: icruzo@ismm.edu.cu

RESUMEN- Se establece una metodología en tres etapas para la determinación semiautomatizada de dominios geológicos en yacimientos lateríticos. La primera etapa es la evaluación geológica integral del yacimiento, para lo cual se detalla el comportamiento espacial de los parámetros geológicos, litológicos, geoquímicos, hidrogeológicos, o de cualquier otra índole, que puedan influir en el desarrollo de las cortezas lateríticas o sean de interés. En una segunda etapa (selección y configuración de los parámetros) se deben definir los mismos, considerando el objetivo que se persigue. Finalmente, mediante la aplicación de la herramienta computacional implementada en el software TIERRA[®] versión 2.0, o superior, se determinan los dominios geológicos del yacimiento. A manera de ejemplo, se muestran los resultados de un caso de estudio de así como aspectos referentes a la aplicabilidad y al nivel de asimilación de la herramienta computacional y la metodología que se presentan.

Palabras clave: Dominio geológico, metodología, yacimiento laterítico.

ABSTRACT- A methodology in three stages for the semi-automated determination of geological domains in lateritic ore bodies is presented. The objective of the first stage is the geological evaluation of the ore body. For it should be detailed it the spatial behavior of the geological, litological, geochemical and hydrogeological parameters, or of any other nature that can influence in the development of the lateritic ore body or that are interesting for our study. In a second stage should be defined the parameters to use, as well as their configurations. This selection should be done out taking into account, always, the objective that is pursued. Finally, through of the application of the computational tool implemented in the software TIERRA[®] version 2.0, or higher, the geological domains of the ore body can be determined. The results of a study case and their application, as well as relating aspects to the applicability and the assimilation level of the computational tool and methodology that are presented too.

Key words: Geological domains, lateritic ore body, methodology.

INTRODUCCIÓN

Por dominio geológico de un yacimiento laterítico se entiende aquella zona o sector que

presenta características geomorfológicas, litológicas, estructurales, geoquímicas e hidrogeológicas relativamente homogéneas (Vera, 2001a), o sea, sectores geológicamente similares.

La identificación de dominios geológicos en los yacimientos lateríticos es de gran aplicación durante la exploración y explotación de los mencionados depósitos. Esta información es imprescindible para la correcta aplicación de métodos destinados a la determinación de las redes más racionales, que se deben aplicar durante las nuevas etapas de exploración (Vera, 2001b) y además es muy útil para planificación y control de las actividades de minería en el yacimiento, contribuyendo notablemente a la eficiencia y eficacia del proceso de minado.

Durante los últimos años se han desarrollado algunos trabajos investigativos dirigidos a determinar los sectores con características geológicas relativamente homogéneas (dominios geológicos), dada la aplicación de esta información durante el proceso de minería (Cruz y Díaz, 2002). Estos trabajos se iniciaron a partir del año 2000, con la ejecución del Proyecto de Cartografiado Geológico en el Yacimiento Pinares de Mayarí por parte de un grupo multidisciplinario del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y del Centro de Investigaciones Tecnológicas para la Construcción, de Holguín, trabajo en el cual se determinaron por primera vez los dominios geológicos de un yacimiento laterítico en el país.

Otra investigación de gran relevancia en este sentido fue la desarrollada por Vera Sardiñas durante el 2001 en el yacimiento Punta Gorda, como paso previo para la aplicación de una metodología geoestadística destinada a la racionalización de las redes de exploración.

En ambas investigaciones se manejó, de forma automatizada, un enorme volumen de datos referidos a las cualidades geológicas, geomorfológicas y geoquímicas de los depósitos, sin embargo no se pudo contar con una herramienta específica para la identificación de dominios (Cruz y Díaz, 2002).

En el año 2002 se desarrolló la investigación “Determinación de los Dominios Geológicos del Yacimiento Moa Oriental” presentada, en julio del mismo año, como tesis de grado en opción al título de Ingeniero Geólogo por Israel Cruz Orosa y José A. Díaz González. Este trabajo desde cierto punto de vista revolucionó y perfeccionó la determinación de dominios geológicos en yacimientos lateríticos, pues para su elaboración se diseñó e implementó, en el software TIERRA[®] versión 2.0, una herramienta que permite el manejo semiautomatizado de los datos necesarios para la identificación de dominios. Otro aspecto que bien vale la pena mencionar de este trabajo, es que por primera vez se logró dar un enfoque más general a la determinación de dominios, o sea, no solo se identificaron los clásicos

dominios geológicos, sino que se utilizaron parámetros más específicos para la identificación de los dominios tecnológicos e hidrogeológicos del yacimiento (Cruz y Díaz, 2002).

METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE DOMINIOS

La metodología consta de tres etapas fundamentales:

1. Evaluación geológica integral del yacimiento.
2. Selección y configuración de los parámetros a utilizar.
3. Determinación semiautomatizada de dominios geológicos en el software TIERRA[®].

La aplicación de esta metodología debe tener un carácter cíclico, partiendo de la idea de que los yacimientos lateríticos son explorados en etapas sucesivas, variando considerablemente la actualidad, cantidad y tipo de información. Además una vez que el yacimiento entra en explotación, el propio proceso de minado va a generar cambios antrópicos en la distribución espacial de los parámetros geológicos considerados inicialmente en el estudio (Figura 1).

Cada una de estas etapas es de vital importancia para la correcta determinación de los dominios, por lo que su ejecución se debe realizar sin alteración del orden que se expone y por personal competente y con conocimiento pleno del objetivo que se persigue.

Evaluación geológica integral

Según la definición de dominio geológico (Vera, 2001a) es evidente que el punto de partida para su determinación se corresponde con una evaluación geológica integral del yacimiento, a partir de la cual se conocerán todos los aspectos o parámetros que se deben considerar durante el estudio.

La evaluación del yacimiento debe realizarse considerando la mayor cantidad de información posible, siempre que se disponga de la misma, pudiendo estudiarse numerosos parámetros en varias líneas de investigación:

- Parámetros geomorfológicos (hipsometría, pendientes, rugosidad del relieve, disección vertical).
- Parámetros litológicos (geología de superficie, geología del basamento, potencia de la corteza).
- Parámetros estructurales (estructuras de diversos órdenes, densidad de agrietamiento).

- Parámetros geoquímicos (contenidos de los elementos útiles y nocivos en las cortezas).
- Parámetros hidrogeológicos (potencia del acuífero, accenso capilar, profundidad del nivel estático).
- Parámetros mineros (potencia de mineral útil, potencia de escombros, potencia de intercalaciones).
- Otros parámetros (uso de suelo, tipo de suelos, vegetación).

Esta evaluación generalmente se puede realizar a través del análisis de los resultados de las etapas de exploración de los yacimientos, las cuales aportan gran cantidad de información utilizable durante la identificación de dominios. A medida que se avance en los estudios de exploración del yacimiento se deben ir actualizando, con la información obtenida, los dominios identificados en el mismo.

Selección y configuración de parámetros

El concepto de dominio geológico, en su sentido más general, se ha definido como sectores geológicamente similares. No obstante, puede ser de interés, bajo determinadas condiciones, conocer la homogeneidad en el yacimiento según características particulares o la relación específica entre determinados parámetros geológicos. En este sentido debe considerarse, en dependencia del objetivo que se persigue, qué parámetros utilizar.

Si bien para la determinación de los dominios geológicos deben utilizarse parámetros relativos a las características geomorfológicas, litológicas, estructurales, geoquímicas e hidrogeológicas, también pueden definirse parámetros específicos para la identificación de dominios hidrogeológicos o tecnológicos o simplemente para estudiar la relación entre determinadas variables geológicas, por ejemplo entre la pendiente del terreno y la potencia de la corteza de meteorización (Figura 2).

De esta forma el dominio geológico ofrecerá una información general, sin embargo otras variantes aportarán datos específicos que pueden perseguir los más diversos intereses. Para la selección de los parámetros se debe tener bien claro el objetivo del estudio, considerando siempre que su número debe ser el mínimo requerido.

La configuración de los parámetros está referida fundamentalmente a la selección de intervalos de clases, que deben ser definidos considerando los aspectos geológicos intrínsecos al problema que se pretende esclarecer.

Por ejemplo, volviendo a la relación pendiente/potencia de la corteza, se conoce que uno de los factores que influyen en el desarrollo de yacimientos lateríticos es justamente la pendiente del terreno, siendo los valores menores de 12° los más favorables para el desarrollo y conservación de las cortezas. Por lo tanto, para nuestro caso sería conveniente tomar dos intervalos de la pendiente y clasificarlos con tres intervalos de la potencia de la corteza como se muestra en la tabla 1.

Como dato adicional la herramienta implementada en el software TIERRA[®] facilita algunas estadísticas de los parámetros utilizados (media, desviación estándar, histogramas) que pueden ser muy útiles para definir su configuración (Figura 3).

Determinación semiautomatizada de dominios

Una vez evaluado geológicamente el yacimiento y establecidos los parámetros a utilizar se procede a la determinación semiautomatizada de dominios mediante la aplicación de la herramienta computacional implementada en el software TIERRA[®] versión 2.0, o superior.

Los datos de entrada se presentan en un archivo de extensión *.GIS con formato de texto, cuyas dos primeras columnas deben estar destinadas a las coordenadas X y Y (Legrá *et al*, 2003) como se muestra en la tabla 2.

Este archivo puede obtenerse a partir del procesamiento de las bases de datos de la exploración del yacimiento y debe contener la información de los parámetros que serán utilizados en el estudio.

Luego que se ha cargado el archivo *.GIS, para la identificación de los sectores con características geológicas homogéneas se facilitan dos opciones (Cruz y Díaz, 2002):

1. Todos los posibles dominios.
2. Número de dominios limitado.

El primer método realiza la clasificación considerando todos los posibles dominios, para ello se ejecuta un sistema de clasificación no supervisada donde a cada dominio se le asigna un grupo de condiciones diferentes y definidas por el número y configuración de los parámetros utilizados.

Por ejemplo, se realiza una clasificación con las variables pendiente del terreno (V_1) y potencia de la corteza (V_2), siendo el número de intervalos de la configuración de cada una igual a dos y tres respectivamente, de manera que V_1 queda definida para t_1 y t_2 mientras que V_2 lo está para t_1 , t_2 y t_3 .

$$V_1(t_1, t_2)$$

$$V_2(t_1, t_2, t_3)$$

La configuración de cada una de ellas responde a las condiciones (V_1t_1) y (V_1t_2) para la primera variable y (V_2t_1) , (V_2t_2) y (V_2t_3) para la segunda. Una vez ejecutado el sistema de clasificación no supervisada para las dos variables, tenemos los siguientes grupos de condiciones:

$(V_1t_1)(V_2t_1)$	cuando V_1 pertenece al intervalo t_1 y V_2 al intervalo t_1
$(V_1t_1)(V_2t_2)$	cuando V_1 pertenece al intervalo t_1 y V_2 al intervalo t_2
$(V_1t_1)(V_2t_3)$	cuando V_1 pertenece al intervalo t_1 y V_2 al intervalo t_3
$(V_1t_2)(V_2t_1)$	cuando V_1 pertenece al intervalo t_2 y V_2 al intervalo t_1
$(V_1t_2)(V_2t_2)$	cuando V_1 pertenece al intervalo t_2 y V_2 al intervalo t_2
$(V_1t_2)(V_2t_3)$	cuando V_1 pertenece al intervalo t_2 y V_2 al intervalo t_3

De manera que se tienen seis posibles dominios, como se muestra en la figura 4, los cuales serán delimitados siempre que exista al menos un punto que cumpla la condición establecida.

Nótese en la figura que el dominio 4 está poco representado en el área de estudio, lo cual es lógico si se considera que se refiere a zonas de pendientes superiores a los 12° con espesores de corteza de 24 metros o mayores. En todo caso estas condiciones son muy poco usuales por lo que el dominio 4 puede ser eliminado como se verá mas adelante.

Los resultados de la aplicación de este método se guardan en un archivo de extensión *.DOM, en la misma ubicación y con el mismo nombre que el *.GIS (Tabla 3).

El segundo método posibilita realizar la clasificación bajo determinadas condiciones de límite, de manera que una vez identificados todos los dominios existentes, según se explicó para el primer método, el número de ellos se reduce hasta la cantidad que usted indique. La reducción se ejecuta eliminando los dominios con menor cantidad de puntos asignados, los cuales pasan a formar parte del dominio más próximo (Figura 5).

Los resultados de la aplicación de este método se guardan en un archivo de extensión *.DOL (tabla 4) en la misma ubicación y con el mismo nombre que los archivos *.GIS y *.DOM, pudiendo además renombrar los dominios resultantes si es requerido, o sea ocupar numéricamente el espacio libre que dejan los que fueron eliminados (Legrá *et al*, 2003).

La clasificación que se determine mediante uno u otro método, será agregada como una columna a los archivos *.DOM o *.DOL, según sea el caso, pudiendo ser sustituida

siempre que se desee. Los dominios obtenidos pueden ser graficados a partir de los archivos *.DOM o *.DOL.

El gráfico, dependiendo del número de parámetros utilizados y de la configuración de cada uno de ellos, puede ser más o menos homogéneo. Para mejorar el proceso de graficado se ha creado una herramienta de homogenización, cuya aplicación debe tratarse con sumo cuidado. El método se fundamenta en el análisis del punto y su vecindad, o sea, partiendo de una situación inicial (figura 6) se tiene un punto central que corresponde al dominio 3 y en su vecindario existen otros ocho puntos, seis del dominio 1 y dos del 2. Una vez que se aplica el proceso se obtiene que el punto del centro pasa a formar parte del dominio 1, quedando así homogenizado.

En el ejemplo ilustrado se aplicó la homogenización para un número de iguales en la vecindad igual o mayor que seis y con una ronda de homogenización. Estas opciones brindan al usuario la posibilidad de seleccionar la cantidad mínima de puntos que deben existir en la vecindad del que se analiza para que pueda ser homogenizado y el número de veces que será repetido el proceso, partiendo de la homogenización anterior.

Una vez concluida la clasificación, en cualquiera de sus variantes, los resultados del proceso pueden ser manipulados desde otros softwares, tanto los gráficos como las bases de datos. Esto posibilita una mayor maniobrabilidad para la aplicación de criterios de expertos, en caso que sea necesario, y un mayor acabado del producto final.

APLICABILIDAD Y NIVEL DE ASIMILACIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología que se propone constituye un importante aporte para el desarrollo de la industria del níquel en Cuba. Se presenta de una forma asequible, eficiente y rápida para manejar las bases de datos en función de obtener los dominios geológicos en yacimientos lateríticos.

Se aplicó por vez primera para la determinación de los dominios geológicos, tecnológicos e hidrogeológicos del yacimiento Moa Oriental, perteneciente a la Empresa Comandante Pedro Soto Alba - Moa Nickel S.A., además ha sido asimilada, como parte del sistema TIERRA[®], por la Empresa Comandante Ernesto Guevara y se encuentra en fase de prueba en otras entidades vinculadas a la geología y la minería como son la Empresa Comandante René Ramos Latour; el Centro de Proyectos del Níquel; el Centro de Investigación del Níquel y la Empresa Geólogo-Minera de Oriente.

CONCLUSIONES

La metodología propuesta constituye un aporte, con gran aplicabilidad, a la actividad geológica desarrollada en las empresas niqueleras del país. Facilita el manejo de la información en función de conocer el comportamiento e interrelación areal de una o varias variables de los yacimientos lateríticos.

La herramienta implementada en el software TIERRA[®] versión 2.0, o superior, brinda al usuario control total sobre la información, garantizando una evaluación dinámica del proceso de identificación de dominios.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer las sugerencias de los miembros del Departamento de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. También debemos agradecer el apoyo de los colegas de las subdirecciones de minas de las empresas Comandante Ernesto Guevara y Comandante Pedro Soto Alba - Moa Nickel S.A.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cruz Orosa, Israel y Díaz González, José Andrés, 2002: "Determinación de los dominios geológicos del yacimiento Moa Oriental". Departamento de Geología, ISMM, Moa, Cuba. Trabajo de Diploma. 90 páginas.
- Legrá Lobaina, Aristides Alejandro et al, 2003: "Software Tierra Versión 2.1F". Departamento de Matemáticas, ISMM de Moa. Aplicación Informática.
- Vera S. L. O.; Rodríguez V. A.; Cordovés, J.M.; Legrá L. A. A., 2001. "Delimitación y caracterización de los dominios geológicos del yacimiento Punta Gorda". *Minería y Geología*, 18 (3) :43-47
- Vera Sardiñas, León Ortelio, 2001: "Procedimiento para la Determinación de las Redes Racionales de Exploración de los Yacimientos Lateríticos de Níquel y Cobalto en la Región de Moa". Departamento de Geología, ISMM, Moa, Cuba. Tesis Doctoral. 147 páginas.

FIGURAS Y TABLAS

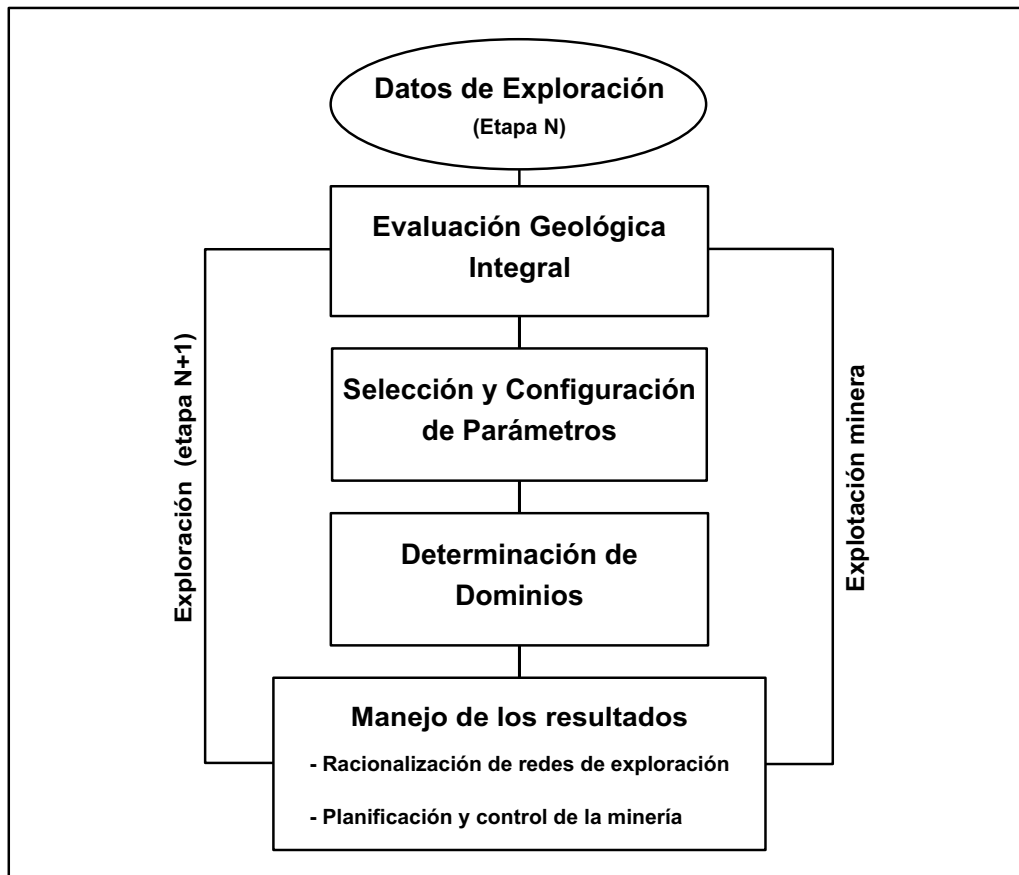


FIGURA 1: Diagrama de flujo de la metodología propuesta.

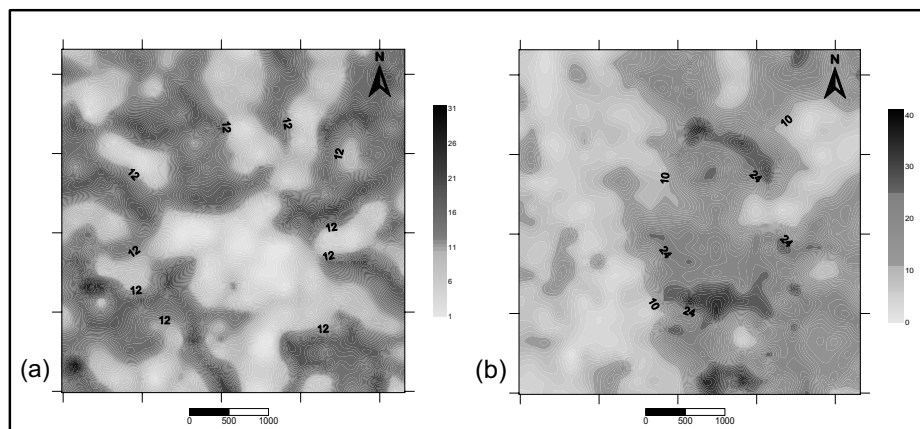


FIGURA 2: Parámetros seleccionados: (a) Pendiente del terreno, (b) Potencia de la corteza.

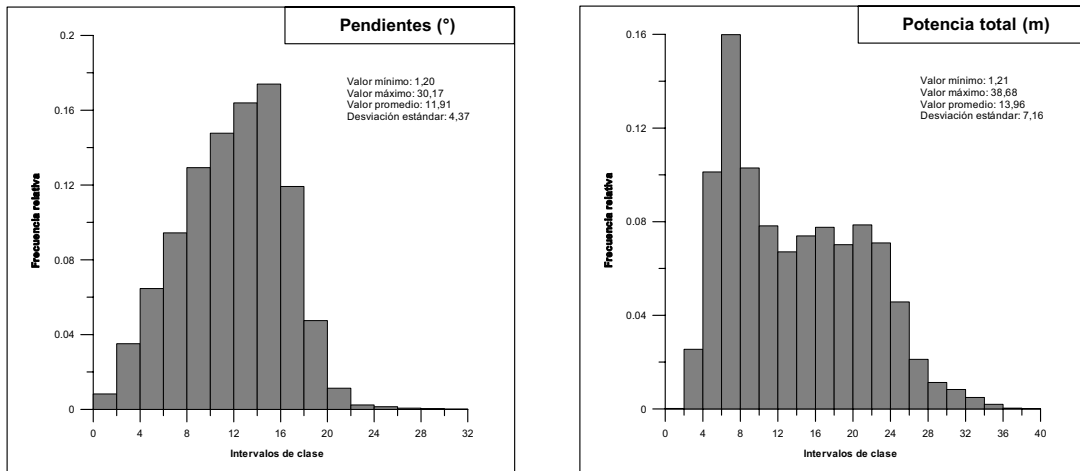


FIGURA 3: Histogramas de los parámetros: pendiente del terreno y potencia de la corteza.

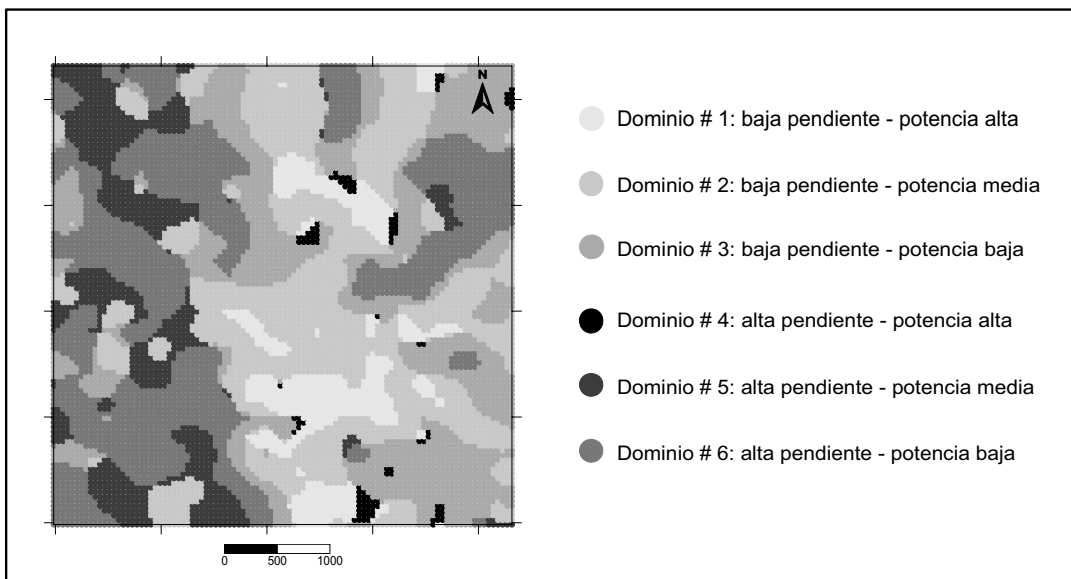


FIGURA 4: Clasificación obtenida considerando todos los dominios posibles.

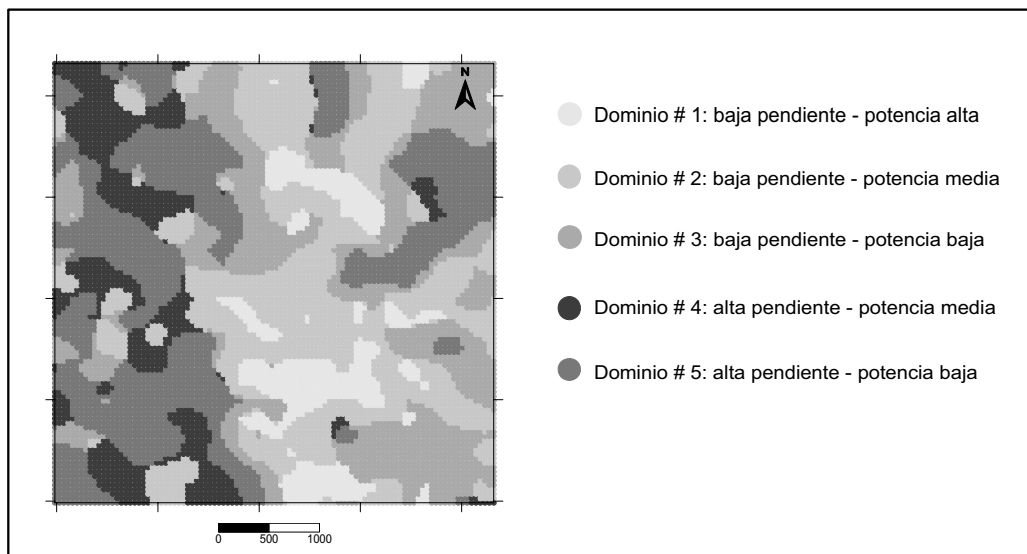


FIGURA 5: Clasificación obtenida considerando los cinco dominios principales.

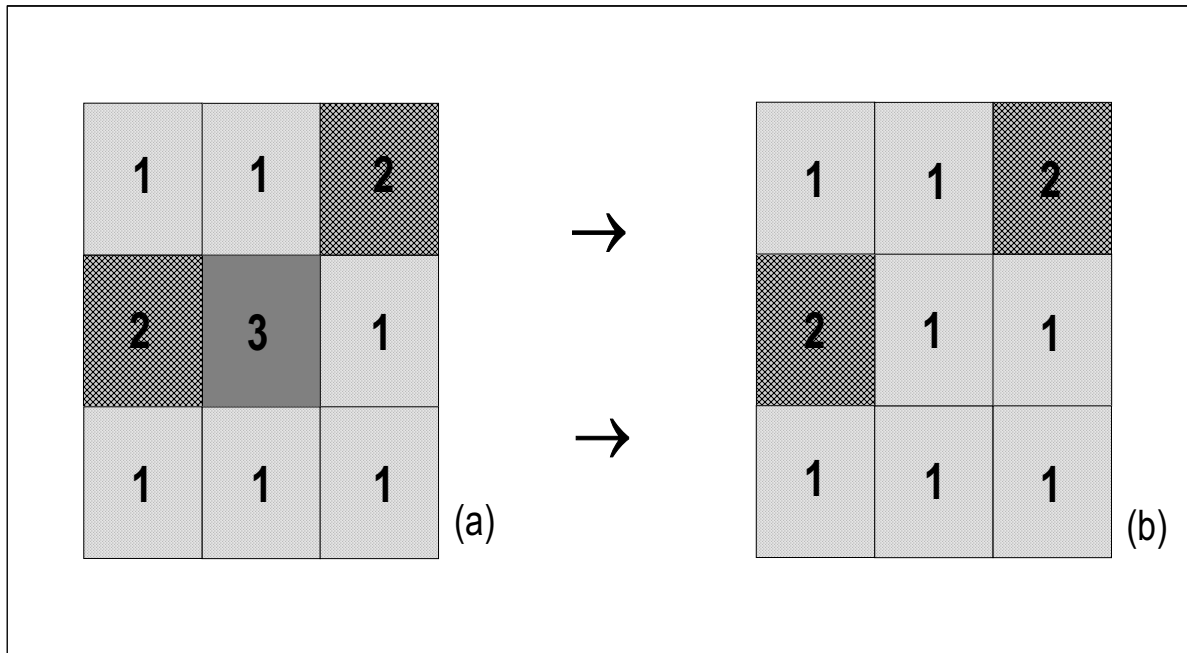


FIGURA 6: Ejemplo de homogenización: (a) estado inicial; (b) estado alcanzado luego de la homogenización.

TABLA 1: Intervalos de clases definidos para la pendiente del terreno y la potencia de la corteza.

Configuración de parámetros				
Pendiente del terreno (°)		Potencia de la corteza (m)		
Baja	Alta	Baja	Media	Alta
0 - 12	> 12	0 - 10	10 - 24	> 24

TABLA 2. Formato de los datos de entrada, archivo *.GIS.

	X	Y	Pendiente	Potencia	Parámetro N
1	244917	124917	12,3	3,5	N ₁
2	245135,85	124917	12,83	3,64	N ₂
3	245354,7	124917	13,4	3,77	N ₃
4	245573,55	124917	13,89	3,89	N ₄
5	245792,39	124917	14,27	4,07	N ₅
6	246011,24	124917	14,79	4,42	N ₆
7	246230,09	124917	15,03	4,8	N ₇
8	246448,94	124917	15,04	5,22	N ₈
9	246667,79	124917	15,24	5,36	N ₉
i	X _i	Y _i	Pendiente _i	Potencia _i	N _i

TABLA 3: Formato de los datos de salida, considerando todos los dominios posibles, archivo *.DOM.

	X	Y	Clasificación	Clasificación N
1	244917	124917	4	CN ₁
2	245135.85	124917	5	CN ₂
3	245354.7	124917	4	CN ₃
4	245573.55	124917	4	CN ₄
5	245792.39	124917	2	CN ₅
6	246011.24	124917	2	CN ₆
7	246230.09	124917	4	CN ₇
8	246448.94	124917	4	CN ₈
9	246667.79	124917	1	CN ₉
i	X _i	Y _i	C _i	CN _i

TABLA 4: Formato de los datos de salida, número limitado de dominios, archivo *.DOL.

	X	Y	Clasificación 1	Clasificación 2	Clasificación N
1	244917	124917	4	4	CN ₁
2	245135.85	124917	5	4	CN ₂
3	245354.7	124917	4	4	CN ₃
4	245573.55	124917	2	2	CN ₄
5	245792.39	124917	2	2	CN ₅
6	246011.24	124917	2	2	CN ₆
7	246230.09	124917	4	4	CN ₇
8	246448.94	124917	4	4	CN ₈
9	246667.79	124917	5	4	CN ₉
i	X _i	Y _i	C1 _i	C2 _i	CN _i