

**La imagen multiespectral SPOT, una herramienta de prospección minera regional para la exploración e identificación de depósitos de bauxita en el bosque denso tropical. Aplicación en el yacimiento de Los Pijiguaos y descubrimiento del depósito de La Cerbatana**

*The SPOT multispectral image, a regional mining prospecting tool for the exploration and identification of bauxite deposits in dense tropical forest. Application in the Los Pijiguaos deposit and discovery of the La Cerbatana deposit*

*A imagem multiespectral SPOT, uma ferramenta de prospecção mineira regional para a exploração e identificação de depósitos de bauxita em floresta tropical densa. Aplicação no depósito Los Pijiguaos e descoberta do depósito La Cerbatana*

Georges Delpont<sup>1</sup>, Antonio Brojanigo<sup>2</sup>

Recibido: 11-1-21; Aprobado: 16-2-21

## Resumen

El yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos (Venezuela) es una concentración laterítica que yace sobre un granito masivo de edad Proterozoico Medio. Este yacimiento se caracteriza en superficie por características morfológicas específicas y tipos de la vegetación que se reflejan en variaciones de reflectancia y textura en una imagen SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) multiespectral. Estas variaciones, calibradas en el yacimiento mediante procesamiento digital, pueden ser utilizadas como guías para la prospección de bauxita a escala regional en extensas zonas donde las condiciones de acceso dificultan la prospección sistemática por métodos tradicionales. La extrapolación de estos criterios al conjunto de la imagen permite así determinar, sobre un macizo granítico de diferente edad y composición, una zona favorable cuyas dimensiones son suficientes para representar un volumen explotable. Una misión exploratoria, llevada a cabo en 1991, en helicóptero y un trabajo preliminar de prospección terrestre, sugeridas en función de los datos aportados por la imagen SPOT, revelaron la existencia de bauxita de buena calidad en la serranía de La Cerbatana, la más importante de las anomalías espectrales, cuyo potencial podría estar por el orden de los 150 millones de TM, según las estimaciones iniciales. Este estudio que representa una modesta inversión en relación con sus resultados es un buen ejemplo de la eficiencia de la teledetección para la prospección regional utilizando imágenes SPOT, en particular en zonas de bosque tropical denso de difícil acceso.

## Abstract

The bauxite deposit of Los Pijiguaos (Venezuela) is a lateritic concentration that lies on a massive granite of Middle Proterozoic age. This deposit is characterized on the surface by specific morphological characteristics and vegetation types that are reflected in reflectance and texture variations in a multispectral SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) image. These variations, calibrated in the reservoir by digital processing, can be used as guides for prospecting for bauxite on a regional scale in large areas where access conditions make systematic prospecting by traditional methods difficult. The extrapolation of these criteria to the image as a whole thus makes it possible to determine, on a granite massif of different age and composition, a favorable area whose dimensions are sufficient to represent an exploitable volume. An exploratory mission, carried out in 1991, by helicopter and a preliminary land survey suggested based on the data provided by the SPOT image, revealed the existence of good quality bauxite in the La Cerbatana mountain range, the most important of spectral anomalies, whose potential could be in the order of 150 million MT according to initial estimates. This study, which represents a modest investment in relation to its results, is a good example of the efficiency of remote sensing for regional prospecting using SPOT images, particularly in areas of dense tropical forest that are difficult to access.

## Resumo

O depósito de bauxita Los Pijiguaos (Venezuela) é uma concentração laterítica que se encontra em um granito maciço do Proterozóico Médio. Este depósito é caracterizado na superfície por características morfológicas específicas e tipos de vegetação que são refletidos nas variações de refletância e textura em uma imagem SPOT multiespectral (Satellite Pour l'Observation de la Terre). Essas variações, calibradas no reservatório por processamento digital, podem servir como guias para a prospeção de bauxita em escala regional em grandes áreas onde as condições de acesso dificultam a prospeção sistemática por métodos tradicionais. A extrapolação destes critérios para o conjunto da imagem permite assim determinar, sobre um maciço granítico de diferentes idades e composições, uma área favorável cujas dimensões são suficientes para representar um volume explorável. Uma missão exploratória, realizada em 1991, por helicóptero e um levantamento preliminar de terra, sugerido com base nos dados fornecidos pela imagem SPOT, revelou a existência de bauxita de boa qualidade na serrania de La Cerbatana, a mais importante de anomalias espectrais, cujo potencial poderia ser da ordem de 150 milhões de toneladas métricas, segundo estimativas iniciais. Este estudo, que representa um investimento modesto em relação aos seus resultados, é um bom exemplo da eficiência do sensoriamento remoto para a prospeção regional por meio de imagens SPOT, principalmente em áreas de floresta tropical densa e de difícil acesso.

**Palabras clave/Keywords/Palabras-chave:** Bauxita, bauxite, exploration, exploração, exploration, Los Pijiguaos, La Cerbatana, remote sensing, sensoriamento remoto, teledetección.

<sup>1</sup>Geos. INAM, Caracas, 7611-04-88 P.O. Box, 7697 LE PISCAS, Venezuela.  
<sup>2</sup>Geos. Mt., Avenida Bolívar 833, Caracas, 1050022, Venezuela.

## Introducción

Como alternativa al petróleo, hasta entonces la principal actividad industrial del país, Venezuela ha buscado desde hace algunos años desarrollar el potencial minero de la región de Guayana, la cual se extiende al sur del Orinoco, aproximadamente por unos 500.000 km<sup>2</sup> y que corresponde al extremo norte del Escudo Guayanés (Figura 1). Después del hierro, que durante mucho tiempo ha sido el pilar de la producción minera, el aluminio es el eslabón fundamental en el desarrollo del importante complejo minero – industrial que actualmente se instala en esta región. Este complejo minero – industrial se beneficia, de hecho, de condiciones favorables que combinan la presencia de importantes yacimientos de bauxita laterítica, probada o potencial, con el bajo costo de la energía hidroeléctrica, así como de las facilidades de transporte.

En 1987, se inició la extracción del yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos para su tratamiento en fábricas de Ciudad Guayana; esta operación que materializa la integración de la industria del aluminio en el país se realizó en paralelo con la expansión de las plantas de tratamiento, incrementándose así su capacidad anual y, por tanto, será llevada a 10 millones de toneladas métricas de bauxita para una producción neta de 2 millones de toneladas métricas aluminio.

Venezuela controla así el ciclo del aluminio desde la extracción de la bauxita, hasta la fabricación de productos terminados de alto valor agregado. En régimen de plena actividad, aún por alcanzar, las reservas probadas del yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos (~170 millones toneladas métricas), se agotarían en unos 15 años. Por lo tanto, parece deseable, en el contexto del inventario regional de recursos naturales realizado en esta región,



Figura 1. Ubicación geográfica de la región de estudio enmarcada en el Escudo de Guayana en Venezuela.

considerar ahora los trabajos de exploración para aumentar las reservas de este yacimiento o descubrir nuevas reservas; estas últimas deben estar ubicadas, en la medida de lo posible, cerca de la principal ruta de transporte, constituida por el río Orinoco.

Es probable que existan muchos e importantes depósitos potenciales de bauxita en Guayana, particularmente en la Provincia Geológica del Supergrupo Cedeño (Monénde y Sarmentero, 1981). Sin embargo, esta región muy extensa y de clima tropical húmedo, está cubierta de un denso bosque que dificulta su acceso y hace muy costosa su exploración por métodos convencionales.

La Corporación Venezolana de Guayana (CVG) quiso probar las posibilidades de la toledetección en esta zona con la ayuda del BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), a través de imágenes SPOT que cubren el yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos con la finalidad de aclarar los eventuales criterios de reconocimiento de zonas bauxíticas y las cuales, extrapolando, servirán de guías de exploración a la escala regional.

## Consideraciones

El presente artículo, inédito hasta ahora, se publica a los treinta

años posteriores a esta investigación, con el propósito de dejar constancia escrita de los antecedentes y resultados iniciales obtenidos para futuras referencias.

Es importante destacar que la mayoría de las figuras del trabajo original fueron sustituidas por versiones equivalentes, generadas bajo la tecnología actual, la cual, lógicamente, tiene un grado de sofisticación tal, que permite una más ajustada visualización de los fenómenos geológicos involucrados.

Así mismo es relevante el hecho de indicar sobre la participación de profesionales de las geociencias formados en la Universidad de Oriente en las labores de oficina, campo y laboratorio, vinculadas a las investigaciones, que condujeron al descubrimiento de este depósito mineral.

## Descripción esquemática del contexto geológico regional

El yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos está situado a unos 450 km al sur de Caracas, entre las ciudades de Caicara y Puerto Ayacucho (Figura 2). Fue descubierto por el Ministerio de Minas e Hidrocarburos tras estudios preliminares de la posible presencia de bauxita en esta zona (Mendoza, 1972).

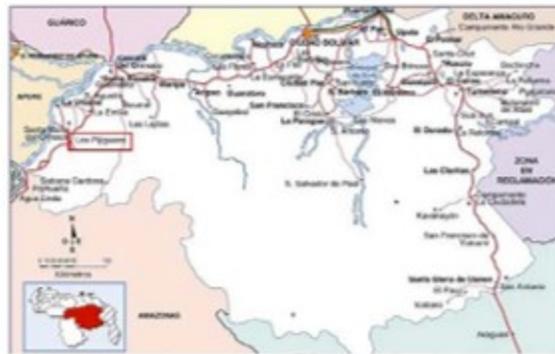


Figura 2. Ubicación geográfica local del Yacimiento los Pijiguaos.

La región de Los Pijiguaos pertenece a la gran Provincia Geológica del Supergrupo Cedeño (Mendoza, 1972), que se extiende alrededor de 100.000 km<sup>2</sup>. Este supergrupo corresponde a un complejo volcánico y plutónico de edad Proterozoico Medio, intrusivo en las formaciones del Arcaico y del Proterozoico Inferior y data de 1.700 a 1.300 millones de años (Hurley et al, 1973).

La sucesión lito-estructural del Supergrupo Cedeño, se establece como una unidad de la más antigua a la más reciente (Mendoza, 1972), de la manera siguiente:

El Grupo Cuchivero, que está compuesto por:

La Formación Caicara, unidad de base, constituida por lavas ácidas, riolíticas, afectadas por varias fases de deformación y metamorfismo.

Los granitos de San Pedro y Santa Rosalía, foliados (sin-tectónicos) y co-magmáticos de lavas de la Formación Caicara. El Granito de San Pedro corresponde a una facies de diferenciación magmática más leucocrática que el Granito de Santa Rosalía.

El Grupo Suapure cuyos componentes son:

El Granito de El Parguaza, un vasto batolito atectónico, situado al suroeste del Grupo Cuchivero y caracterizado por una textura rapakivi de grano grueso.

El Granito de Los Pijiguaos, de textura más fina, que corresponde a una fase de diferenciación del Granito de El Parguaza.

El alto contenido de alúmina, 14 % en peso, por 67,80 % de SiO<sub>2</sub> (Mendoza, 1975), favoreció la formación de una gruesa coraza de bauxita durante los episodios de alteración laterítica intensa, cuya edad no ha sido establecida con precisión. Aun-

que en general, estos episodios son atribuidos al Terciario, parece ser que pueden haber ocurrido en el Cretáceo e incluso antes (Bardossy et Aluva, 1990). En esta zona del Escudo Guayanés, el paisaje fue modelado según dos niveles altimétricos distintos (400–500 m s.n.m. y 600–700 m s.n.m., aproximadamente), respetando vastas superficies que fueron posteriormente absorbidas por la erosión, la cual las dividió en una serie de mesetas o *plateaus*.

Aunque habiendo sufrido los mismos episodios de alteración, los granitos del primer grupo no se consideraron favorables a la presencia de bauxita de calidad industrial debido a su diferente composición química, más pobre en alúmina (13,6 % en peso por 76,4 % de SiO<sub>2</sub>; Mendoza, 1975). La inaccesibilidad de la región también habría sido un elemento disuasivo en cualquier exploración (Figura 3).

## El yacimiento de Los Pijiguaos

El *plateau*, en cuya cima se encuentra el yacimiento de Los Pijiguaos, se extiende sobre un área de unos 400 km<sup>2</sup> en el extremo norte del batolito granítico de El Parguaza (Menéndez y Sarmentero, 1981). El *plateau* presenta una inclinación general de 2 grados hacia el oeste y un alargamiento en dirección sureste. Está marcado por una red hidrográfica dendrítica, parcialmente controlada por fracturamiento, cuya dirección predominante es NO-SE.

La parte reconocida del yacimiento de Los Pijiguaos constituye un horizonte continuo de más de 30 km<sup>2</sup>, interrumpido localmente por efecto de la erosión. La sección típica del perfil de alteración meteórica (Menéndez y Sarmentero, 1984) presenta, de arriba hacia abajo, la siguiente secuencia:

Una cubierta compuesta por un suelo rico en materia orgánica y un espesor medio de 30 cm. La bauxita propiamente dicha, representada por un nivel de concreción de color rojo ocre intenso, de estructura esponjosa, celular o pisolítica. Está compuesta por gibbsita (60 – 80 %), cuarzo (10 – 20 %) y goethita (<5 %). Finalmente, la caolinita y la anatasa aparecen como minerales menores. Su espesor varía de 3 a 18 m, con un valor promedio de 7 m.

Una litomarga rosada y jaspeada, compuesta de caolinita dominante, cuarzo y una gibbsita poco común. Hacia abajo, este horizonte se desvanece; su espesor puede variar de 20 a 50 metros (valor máximo observado en los sondeos).

Una zona de roca madre, fracturada y alterada.

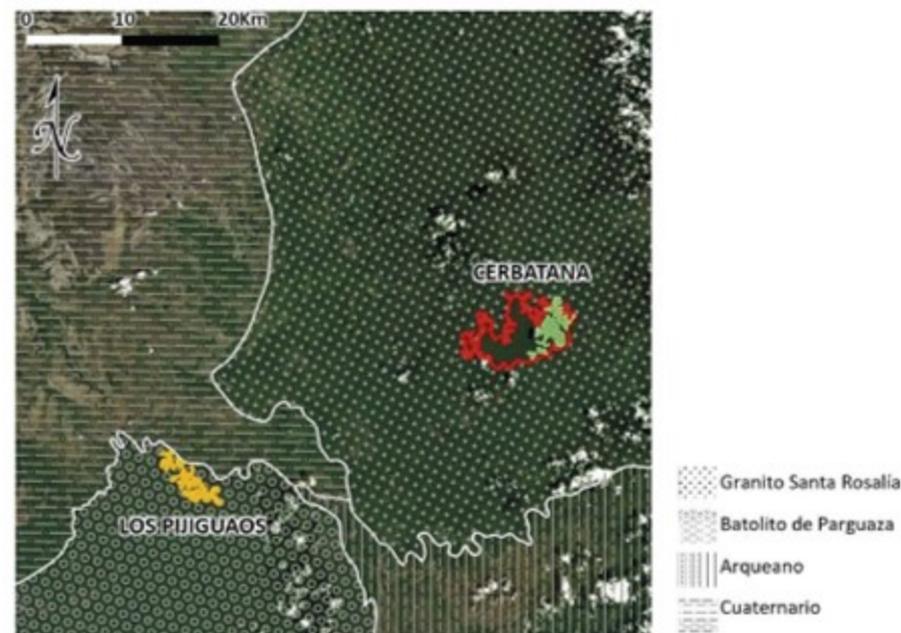


Figura 3. Contexto geológico regional. (Martin, 1978).

Y, finalmente, la roca madre fresca.

de la roca.

selva tropical.

## Secuencia de búsqueda de bauxita por teledetección

### Reconocimiento de formaciones bauxíticas

Los horizontes de bauxita laterítica presentes en el paisaje, de características morfológicas y de vegetación que pueden ser observadas en la imagen satelital, son los siguientes:

Las superficies endurecidas que generalmente forman las cimas de la meseta, despejadas por las muescas de una erosión regresiva posterior a la alteración laterítica.

La vegetación que cubre la coraza laterítica es menos densa y vigorosa que la vegetación circundante, debido a la lixiviación de la mayoría de los elementos constitutivos

Las imágenes de satélite son susceptibles, dentro de los límites de sus resoluciones espaciales y espectrales, para devolver al espectador tales entidades morfológicas contrastando con su entorno, así como variaciones en la actividad, densidad y textura de su cobertura vegetal.

Respuestas espectrales de este tipo, que reflejan las variaciones en la morfología y en la actividad clorofílica asociadas con la presencia de depósitos de bauxita, ya han sido reportadas en Australia en imágenes del satélite LANDSAT MS, a pesar de la baja resolución espacial de la imagen SUIT 80X80 (Henderson et al, 1984). Por lo tanto, era razonable buscar, en el yacimiento de Los Pijiguaos, si los datos numéricos del SPOT, cuya resolución es muy superior (20x20m), permitieron revelar los fenómenos identificados, a pesar de la presencia de vegetación alta y densa, tipo

De ser así, se podría esperar extrapolar los procesos desarrollados a lo largo de la imagen y así localizar superficies que presenten las mismas respuestas radiométricas, en particular en la inexplorada región del Granito de San Pedro y el Granito de Santa Rosalia, al norte – nordeste del yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos.

### Investigación de criterios para identificar formaciones bauxíticas en el sitio del yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos

La imagen SPOT multispectral (661 – 337 del 28/03/88) se restauró en colores falsos en forma de documento fotográfico, tras una mejoría de los contrastes calculados a partir de todos los puntos que componen la escena. Un primer examen permitió reconocer los conjuntos morfológicos definidos por los mapas genera-

les existentes.

Si se destacan claramente las principales características estructurales, parece más difícil distinguir los diferentes tipos de granito descritos anteriormente porque sus posibles peculiaridades morfológicas fueron atenuadas por los episodios de alteración que afectaron a esta región.

Luego, el examen se centró en la parte de la imagen que contiene el yacimiento de Los Pijiguaos, incluida la pista de acceso y el claro dispuesto para la explotación, el cual es perfectamente visible (Figura 4a).

Posteriormente, se calculó una optimización de los contrastes a partir del histograma de los únicos puntos de la imagen que corresponden a la vegetación que cubre el yacimiento.

Una extensión de la dinámica de cada canal espectral, con el objetivo de utilizar los 256 niveles de gris disponibles (imagen enmarcada en 8 bits), permite así



Figura 4. Imagen optimizada del yacimiento Los Pijiguaos. 4a izquierda: Google, 4b derecha: SPOT 1998.

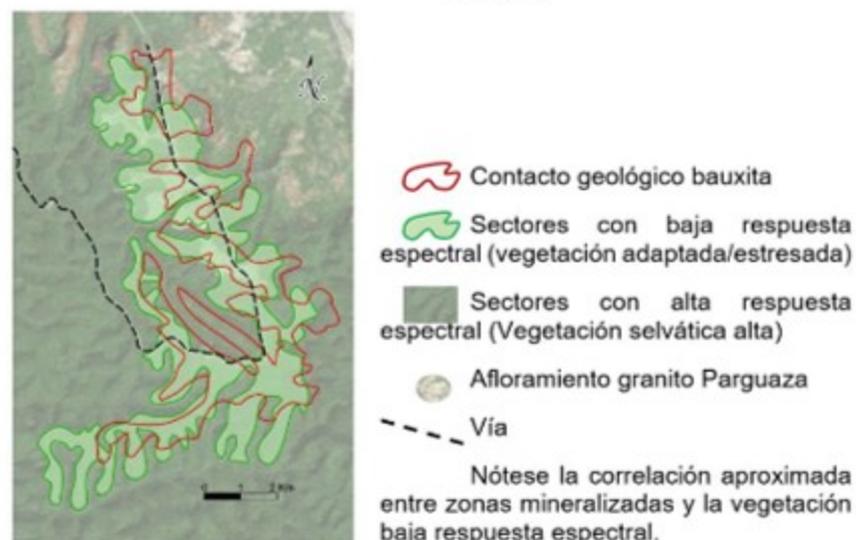


Figura 5. Comportamiento de la vegetación en el yacimiento Los Pijiguaos.

acentuar las variaciones de respuesta espectral debidas a la morfología y la vegetación. La optimización se completó finalmente con un filtrado espacial que mejora la nitidez del documento final.

La comparación visual de la imagen y el mapa del yacimiento muestra que la percepción de la morfología del plateau, cuando existe, forma la parte cumbre y se destaca por su procesamiento digital. Lo mismo ocurre con la débil respuesta espectral de la vegetación observada en la ubicación de la mayoría de las zonas mineralizadas. Finalmente, la imagen SPOT permite, gracias a su buena resolución espacial, distinguir los cambios de textura y densidad de la vegetación, respectivamente más finas y débiles en estas mismas zonas, que en cualquier otra parte (Figuras 5, 6 y 7).



Figura 6. Vegetación adaptada o estresada de débil respuesta espectral y bajo índice de vegetación, textura fina, usualmente sobre sustratos lateríticos.

Figura 7. Vegetación selvática vigorosa de fuerte respuesta espectral y alto índice de vegetación, textura gruesa, presente sobre sustratos arcillosos y con humus.

La variación de la cubierta vegetal se elige entonces como criterio principal para la exploración de la imagen completa. De hecho, es posible calcular a partir de dos canales espectrales de la imagen SPOT del infrarrojo (X53) y del rojo (X52), una imagen representativa de la actividad de la vegetación denominada Índice de Vegetación. La combinación de canales únicos se realiza según la siguiente formulación:  $(X53) - (X52) / (X53) + (X52)$ . El

resultado de dicho cálculo se presenta en la figura 4b, donde la intensidad del color rojo es representativa de la actividad de la vegetación.

#### Extrapolación de criterios e identificación del área de La Cerbatana

La zona de la Sierra Cerbatana constituye la más importante de las anomalías espectrales del índice de Vegetación, así identi-

ficadas (Figura 8). Se encuentra a unos 40 km al noreste del yacimiento de Los Pijigüaos (Figura 3). Su interés a priori está ligado a los siguientes caracteres:

Está incluida completamente en el interior de una meseta que forma la cima del gran macizo granítico de Santa Rosalía y San Pedro (Figura 9).

La respuesta espectral de la vegetación es débil (Figura 8).

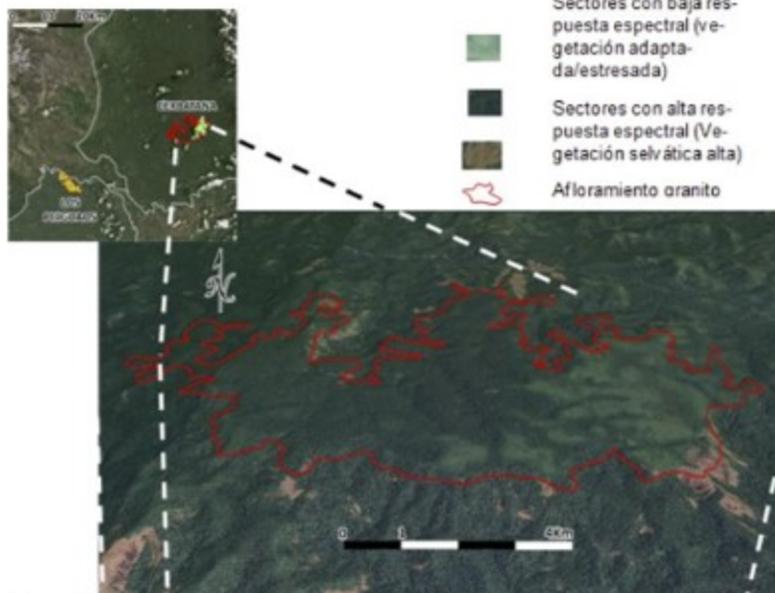


Figura 8. Vegetación de baja respuesta espectral (vegetación adaptada/vegetación estresada, textura fina verde pálido) sobre topes de plateau de La Cerbatana.

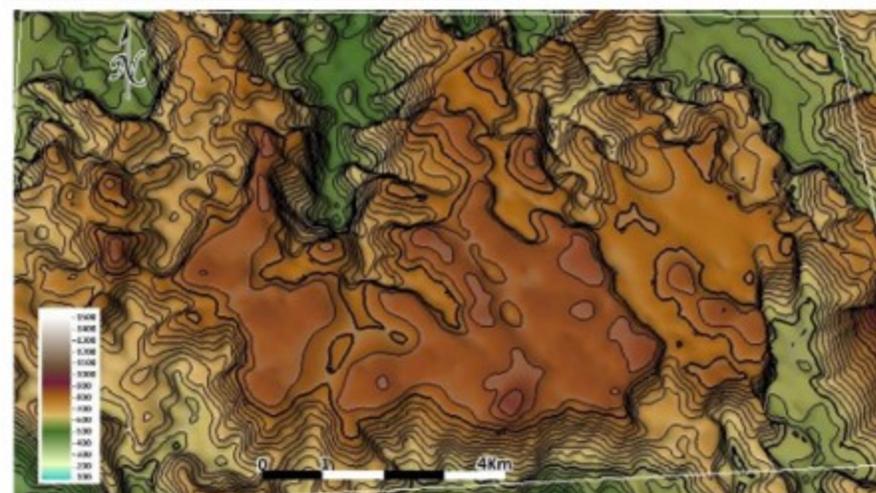


Figura 9. Modelo digital de terreno correspondiente a la meseta o plateau, La Cerbatana. Esta estructura geomorfológica se manifiesta fundamentalmente sobre los 780 msnm.

La superficie de la zona anómala del orden de los 15 km<sup>2</sup> es suficiente para considerar que representa un eventual interés económico, si la presencia de bauxita se confirma. (Figura 8).

Se realizó una imagen más enfocada de esta área, siguiendo el mismo método que para el yacimiento de Los Pijigüaos, para tratar de encontrar los criterios de reconocimiento previamente establecidos y para constituir en la misma ocasión, un documento cartográfico preciso de referencia para un estudio del terreno.

La morfología tabular, el valor de la respuesta espectral, lo fino de la textura y la baja densidad de la vegetación, se encuentran efectivamente en esta imagen de La Cerbatana, sugiriendo condiciones morpedológicas favorables (Figuras 8 y 9). La realización de una misión de reconocimiento en helicóptero, decidida con base en estos resultados, confirmó la presencia de bauxita en áreas con baja respuesta espectral de la vegetación. Los resultados positivos de un primer análisis de una muestra de mineral (Tabla I), justificaron posteriormente la realización de una exploración más profunda de estas zonas: 60 muestras distribuidas en 13 trincheras y calicatas, algunas de las cuales se alcanzaron los cuatro metros sin lograr alcanzar la base de mineralización, lito marga caolinítica.

Los análisis de las muestras evidencian que la composición química del depósito de bauxita de La Cerbatana es de importancia, en comparación con la bauxita presente en el yaci-

miento de Los Pijigüaos, con un contenido medio de alúmina de alrededor del 50 %. Si las zonas de este plateau estuviesen totalmente mineralizadas, se podría esperar un potencial de unos 150 millones de toneladas métricas de bauxita, según las primeras estimaciones de la CVG TECMIN. (1)

#### Conclusiones

El presente estudio muestra el interés de la imagen satelital SPOT en particular, como herramienta relevante para la prospección minera, especialmente en áreas de bosque denso tropical de difícil acceso. La extrapolación, al conjunto de la región, de los criterios aplicados al yacimiento de Los Pijigüaos (Teledetección a través de imágenes SPOT multispectrales), permitió el descubrimiento del depósito de bauxita de La Cerbatana, la más importante de las anomalías espectrales del índice de vegetación con un potencial que podría alcanzar los 150 millones de toneladas métricas y un contenido medio de alúmina cercano al 50 %.

Esto se ha conseguido por medio de la visión sinóptica de la imagen SPOT, la cual facilita la extrapolación de los criterios aplicados en el yacimiento de Los Pijigüaos al conjunto de la región, permitiendo la localización de zonas a priori más favorables.

Tabla I. Composición de la bauxita de La Cerbatana, en % (CVG).

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cuarzo	SiO <sub>2</sub> combinado	Pérdida por ignición	TiO <sub>2</sub>
52	5	11,7	3,1	26,7	1,1

(1) Datos más recientes estiman que las reservas de bauxita de Los Pijigüaos son de 570 Mt (Meyer et al. 2002), las cuales, a la producción anual limitada por la corna de bajada del mineral de 5,6 Mt/año dan para 100 años de explotación minera.

La morfología y la respuesta espectral, aunadas a la textura y a la baja densidad de la vegetación, reflejadas en la imagen SPOT realizada al área de La Cerbatana, indican que esta zona al igual que en el caso del yacimiento de Los Pijiguaos, presenta condiciones favorables para la existencia de importantes depósitos de bauxita. La imagen, por su resolución espacial y espectral, permite caracterizar en un sitio conocido, dos criterios principales para la exploración de depósitos de bauxita.

La imagen SPOT representa una guía de prospección definiendo puntos de control prioritarios en el campo, pudiendo establecerse como tal a partir del cruce de los datos de la imagen con los datos exógenos que pudiesen estar disponibles (mapas geológicos). También proporciona un fondo para la localización planimétrica precisa en áreas que no tienen mapas topográficos.

El uso de la imagen SPOT se justifica finalmente por el ahorro de tiempo que permite, la modestía de la inversión requerida frente a la de una campaña convencional, y en el presente caso, por la importancia de los resultados obtenidos.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a CVG TECMIN por otorgarles el permiso para publicar este trabajo. También agradecen a CVG TECMIN y al Ministerio de Asuntos Exteriores de Francia por haber organizado las prácticas de MSc. Antonio Brojanigo, marco de este trabajo, así como al BRGM, el GDTA, el CIES, IGNSPACE y la Universidad Paul Sabatier de Toulouse, por haber participado activamente. Finalmente agradecen a MM. Freyssinet, Gouyet y Lagry, por su ayuda durante la redacción; de igual forma para esta versión, traducida 30 años después, se reconoce la participación del Ing. Allan Reyes, el geólogo Carlos Torrealba ambos egresados de la Universidad de Oriente en la traducción, generación de imágenes y observaciones, con las cuales se llevó a feliz término el presente trabajo.

## Referencias bibliográficas

- Bardossy G., Aleva G. (1990). Lateritic bauxites. *Developments in Economic Geology*. 27, Elsevier. 624 p.
- Henderson F.B., Penfield G. T., Grubbs D.K. (1984). *Bauxite exploration by satellite*. In: Jacob Jr. L. (ed.). *Bauxite Proceed., 1984, Bauxite Symposium, Los Angeles, USA, AIME., New York*, pp. 200-242.
- Hurdley P.M., Fairbairn H.W., Gaudette H.E., Mendoza V.,

- Martin V.C., Espejo A. (1973). *Progress report on age dating in the northern Guayana Shield*. II Congreso Latinoamericano de Geología, Caracas. Mem., 4, pp. 3035-3044.
- Martin C. (1978). *Mapa tectónico, Norte de América del Sur*. Ministerio de Energía y Minas, Caracas, Venezuela.
- Mendoza V. (1972). *Geología del área del Rio Suapure, N.W. del Escudo de Guayana*. Memoria de la Novena Conferencia Geológica Interamericana. Bol. Geol., publicación especial N°6, Caracas, Venezuela. pp. 306-336.
- Mendoza V. (1975). *Estudios geoquímicos del no-tectónico granito Rapakivi de El Parguaza, Noroeste Guayana Venezolana*. X Conf. Graí. Interamericana. Belén do Para, Annais, Brasil. pp. 628-658.
- Menéndez A., Sarmentero A. (1981). *Exploración de bauxita en la Guayana Venezolana, con particular referencia a la serranía de Los Pijiguaos*. 1st. Symposium Amazónico, Memoria, Puerto Ayacucho, Venezuela. pp. 22-30.
- Menéndez A., Sarmentero A. (1984). *Geology of The Pijiguaos bauxite deposit, Venezuela*. In: Jacob Jr. L. (ed.), *Bauxite proceed, 1984, Bauxite Symposium, Los Angeles, USA., A.I.M.E., New York*. pp. 367-407.
- Meyer M., Harper U., Hayberg J. & Wieshowski, 2002. *Geometry and anatomy of Los Pijiguaos bauxite deposit Venezuela: Ore Geol Review v20, p27-54.*

