Congresos UEx. Actas de Congresos. ISSN: 3101-7177,
vol. 2, 2026, XXI Congreso de la Asociación Española de Teledetección
DOI: https://doi.org/10.17398/3101-7177.2.158

Exploración de indicios de litio en la zona de Téra (Tillaberi, Níger) mediante Índices Litológicos Espectrales

Montesinos Melendo, Salomón [1] **Luque Ballestero, César** [2] **Fernández Fornos, Lara** [1] **Montesinos Aranda, Salomón** [1]

[1] SM GEODIM, España

[2] UAB, España

ORCID:

Correspondencia: s2montesinos@geodim.es cesarluqueballestero@gmail.com lfernandez@geodim.es smontesinos@geodim.es

RESUMEN

La transición energética enfrenta importantes desafíos, como el incremento significativo de la demanda de metales críticos como el litio (Li). El objetivo de este estudio es la exploración de indicios de litio en un Área de Interés (AOI, Area Of Interest) de 4.000 km2 en el entorno de la ciudad de Téra (Tillaberi, Níger) mediante el análisis de índices litológicos espectrales (ILE) obtenidos a partir de imágenes multiespectrales de los satélites ASTER, Landsat 8-9 (OLI) y Sentinel 2 (S2). Hemos utilizado cocientes entre bandas que nos permiten caracterizar ILE. Esta técnica es una excelente opción para la prospección geológica debido a la simplicidad para delinear objetivos de interés para la investigación, al mejorar el comportamiento espectral de diferentes objetivos donde una banda espectral es inversamente proporcional a otra. La presencia de minerales se expresa mediante longitudes de onda indetectables a simple vista. El análisis de la imagen genera un mapa de indicios con condiciones favorables para depósitos minerales. En la imagen de satélite procesada, se puede localizar, evaluar y muestrear eficientemente los indicios. Algunos depósitos no se reconocerán en la imagen, aun así, el trabajo de campo se va a concentrar en áreas con el mayor potencial mineral. La imagen nos sirve también para planificar el mejor acceso terrestre a los indicios.

Palabras clave: *Litio, Níger, Índices Litológicos, ILE*

Fecha de recepción: 14 febrero 2026 · **Fecha de aceptación:** 18 febrero 2026

© 2026 XXI Congreso de la Asociación Española de Teledetección.

Exploración de indicios de litio en la zona de Téra (Tillaberi, Níger) mediante Índices Litológicos Espectrales

Montesinos Melendo, Salomón [(1)], Luque Ballestero, César [(2)], Fernández Fornos, Lara [(1)], Montesinos Aranda, Salomón [(1)]

[(1)] SM GEODIM, España.
s2montesinos@geodim.es ; lfernandez@geodim.es ; smontesinos@geodim.es.

[(2)] UAB, España.
cesarluqueballestero@gmail.com.

Resumen: La transición energética enfrenta importantes desafíos, como el incremento significativo de la demanda de metales críticos como el litio (Li). El objetivo de este estudio es la exploración de indicios de litio en un Área de Interés (AOI, *Area Of Interest*) de 4.000 km^2 en el entorno de la ciudad de Téra (Tillaberi, Níger) mediante el análisis de índices litológicos espectrales (ILE) obtenidos a partir de imágenes multiespectrales de los satélites ASTER, Landsat 8-9 (OLI) y Sentinel 2 (S2). Hemos utilizado cocientes entre bandas que nos permiten caracterizar ILE. Esta técnica es una excelente opción para la prospección geológica debido a la simplicidad para delinear objetivos de interés para la investigación, al mejorar el comportamiento espectral de diferentes objetivos donde una banda espectral es inversamente proporcional a otra. La presencia de minerales se expresa mediante longitudes de onda indetectables a simple vista. El análisis de la imagen genera un mapa de indicios con condiciones favorables para depósitos minerales. En la imagen de satélite procesada, se puede localizar, evaluar y muestrear eficientemente los indicios. Algunos depósitos no se reconocerán en la imagen, aun así, el trabajo de campo se va a concentrar en áreas con el mayor potencial mineral. La imagen nos sirve también para planificar el mejor acceso terrestre a los indicios.

Palabras clave: Litio, Níger, Índices Litológicos, ILE

Exploration for evidence of lithium in the Téra area (Tillaberi, Niger) using Spectral Lithological Indices

***Abstract**: The energy transition faces significant challenges, such as the substantial increase in demand for critical metals like lithium (Li). The objective of this study is to explore for lithium deposits in a 4,000 km² Area of Interest (AOI) near the city of Téra (Tillaberi, Niger) by analyzing spectral lithological indices (ILEs) obtained from multispectral images from the ASTER, Landsat 8-9 (OLI), and Sentinel-2 (S2) satellites. We used band ratios to characterize ILEs. This technique is an excellent option for geological prospecting due to its simplicity in delineating targets of interest for research, as it enhances the spectral behavior of different targets where one spectral band is inversely proportional to another. The presence of minerals is expressed through wavelengths undetectable to the naked eye. Image analysis generates a map of indications with conditions favorable for mineral deposits. In the processed satellite image, these indications can be efficiently located, evaluated, and sampled. Some deposits will not be recognizable in the image; even so, fieldwork will be concentrated in areas with the greatest mineral potential. The image also helps us plan the best ground access to the indications.*

***Keywords**: Lithium, Niger, Lithological Indices, ILE*

1. INTRODUCCIÓN

La transición energética enfrenta importantes desafíos, como el incremento significativo de la demanda de metales críticos como el litio (Li). El litio puro es un metal alcalino blando de color blanco plateado que se oxida rápidamente al aire libre que juega un papel fundamental en los sistemas de almacenamiento de energía, así como en aplicaciones en las industrias de cerámica, vidrio, acero, nuclear, química y medicina. En la situación actual, es necesario desarrollar métodos mejorados para explorar, extraer y utilizar estos metales.

La teledetección espacial es una fuente de datos de vital importancia para la exploración minera, especialmente en lugares remotos, política y socialmente inestables.

Desafortunadamente, el litio es un elemento químico, no un mineral con una "curva de reflectancia espectral" propia, en el sentido geológico de teledetección.

En la naturaleza, el litio está asociado con muchos minerales en varias rocas ígneas como el granito y las pegmatitas, siendo la espodumena y la lepidolita los minerales más comunes de los que se extrae.

La espodumena es un mineral de silicato de litio y aluminio. Su curva de reflectancia es generalmente alta y presenta bandas de absorción relacionadas con grupos hidroxilo (OH) y agua en el rango del infrarrojo de onda corta (SWIR). Presenta reflectancia alta en el visible/NIR y los valles de absorción diagnósticos en el SWIR (~1410 nm, ~1910 nm, ~2209 nm).

La lepidolita es una mica rica en litio (color lila/rosa). Su espectro de reflectancia muestra características de absorción distintivas en la región del SWIR (específicamente alrededor de 2200-2400 nm) debido a la estructura de la mica y los grupos OH.

Se han reconocido más de 124 especies de minerales de litio, principalmente en cuatro entornos geológicos: (i) pegmatitas graníticas de litio-cesio-tantalio (LCT) y rocas metasomáticas asociadas; (ii) pegmatitas altamente peralcalinas; (iii) rocas metasomáticas no asociadas directamente con pegmatitas, y (iv) depósitos de manganeso. Las pegmatitas LCT están asociadas con los minerales de litio geológicamente más antiguos (3.000 - 3.100 Ma) (Grew, 2020).

Cardoso-Fernandes *et al*. (2019), proponen dos enfoques para la exploración de Li mediante teledetección: (i) identificación de minerales de alteración hidrotermal asociados con las pegmatitas con Li; e (ii) identificación directa de minerales de Li.

El objetivo de este estudio es la exploración de indicios de litio en un Área de Interés (AOI, *Aire Of Interest*) de 4.000 km^2 en el entorno de la ciudad de Téra (Tillaberi, Níger) mediante el análisis de índices litológicos espectrales (ILE) obtenidos a partir de imágenes multiespectrales de los satélites ASTER, Landsat 8-9 (OLI) y Sentinel 2 (S2).

2. ZONA DE ESTUDIO

La AOI se localiza al oeste de Níger, en la provincia de Tillaberi (Fig. 1).

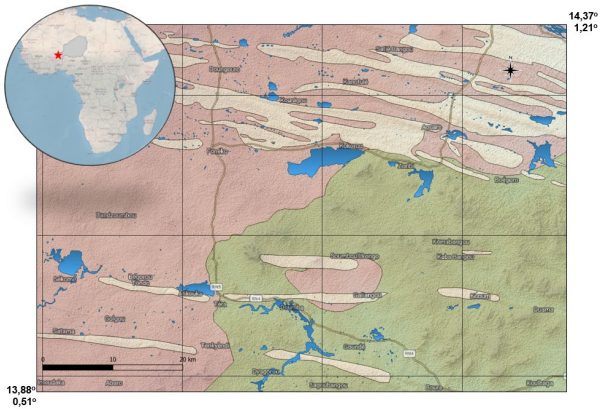

Figura 1. Localización y Geología de la AOI. En verde, sedimentos volcánicos; en rosa, afloramientos de granitos y en beige, dunas de arena.

Geológicamente, se caracteriza por la alternancia de cinturones de roca verde (Gorouol, Diagorou-Darbani, Sirba y Makalondi) y plutones granitoides (Téra-Ayorou, Dargol-Gothèye y Torodi) con una orientación NE-SO (Ahmed *et al*., 2022).

La zona de Téra ha sido elegida, como zona piloto, debido a que ya Machens (1961) detectó la presencia de pegmatitas con litio en las rocas precámbricas de Liptako y que Attourabi *et al*. (2021) analizaron las características geológicas de la mineralización de litio en las pegmatitas de la zona y propusieron un modelo metalogénico de su emplazamiento. La mineralización de litio en la AOI, se presenta como espodumena y, secundariamente, como lepidolita y holmquistita.

Además, contamos con verdad-terreno, ya que, en el año 2018, al SW de Téra, la compañía *Two Shields Investments* realizó 860 perforaciones geoquímicas con barrena, a una profundidad promedio de 3,5 m de la superficie. Recolectaron también, 15 muestras de lascas de roca de diversos afloramientos de pegmatitas. Las muestras recolectadas fueron predominantemente de saprolita granítica. Una cuadrícula de 200 x 100 metros, identificó 6 anomalías separadas entre 100 y 200 m de ancho y 500 m y 3 km de largo. Estas anomalías se pensó que podrían representar enjambres de pegmatitas ocultos, como se observó en el afloramiento en superficie. Los valores de óxido de litio (Li_2O) oscilaron entre 2,5 y 597 ppm. Se observó que las pegmatitas de litio suelen lixiviarse en la superficie y presentan leyes significativamente inferiores a las pegmatitas a 20 metros de profundidad (Fig. 2).

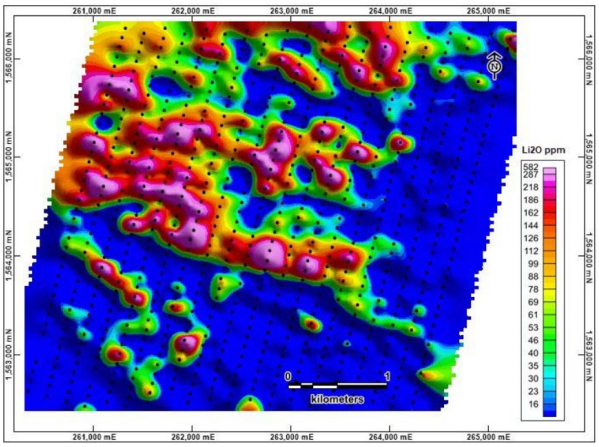

Figura 2. Resultado del análisis geoquímico de campo realizado en el año 2018 (Fuente: *Two Shields Investments*).

La geología subyacente del área analizada está formada por leucogranitos y vetas de pegmatita; ambos se consideran como posibles anfitriones de mineralización de litio.

Tectónicamente, el área se ve afectada por dos fases principales de deformación. La primera fase corresponde a un acortamiento NO-SE, responsable de las zonas de foliación con dirección N25° a N45°, microplegamiento, boudinage y cizalladura con dirección NS. La segunda fase corresponde a un

acortamiento NNO-SSE, responsable de las zonas de cizalladura dextral N100° a N110° y sinistral N25° a N45°. (Ahmed *et al*., 2022).

Otro punto de interés es que la AOI coincide con perímetros de concesiones mineras libres o con permisos de investigación.

3. MATERIALES Y MÉTODO

La base metodológica empleada en este estudio se puede ver en Sabins (1999), Van der Meer *et al*. (2012) y Montesinos (2024). Aunque muchos autores utilizan Composiciones en color y Análisis de Componentes Principales, en este estudio, hemos utilizado cocientes entre bandas que nos permiten caracterizar cuantitativamente los ILE. Esta técnica es una excelente opción para la prospección geológica debido a la simplicidad para delinear objetivos de interés para la investigación, al mejorar el comportamiento espectral de diferentes objetivos donde una banda espectral es inversamente proporcional a otra. Para ello, la banda con mayor reflectancia debe dividirse entre la banda con menor reflectancia que, generalmente corresponde a rangos de absorción (Sabins, 1999).

Cardoso-Fernandes *et al*. (2021) han caracterizado los espectros de reflectancia de minerales de litio y pegmatitas, en un estudio de caso para la caracterización mineralógica y litológica en el área de Fregeneda-Almendra (entre España y Portugal), lo que nos ha permitido conocer los rangos de absorción y de máxima reflectancia en la respuesta espectral de la espodumena y la lepidolita (Fig. 3).

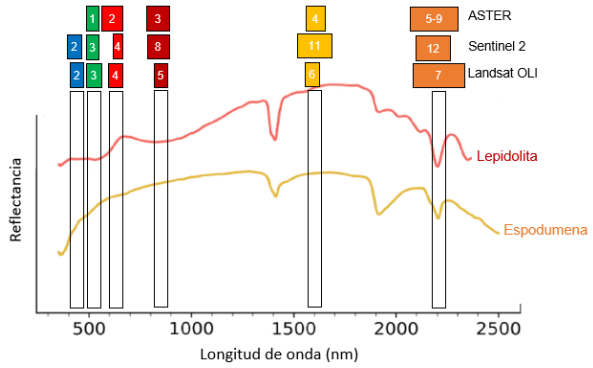

Figura 3. Curvas de reflectancia espectral de la espodumena y la lepidolita (modificado de Cardoso-Fernandes *et al*. (2021) y su relación con las bandas de los satélites Landsat, Sentinel 2 y ASTER.

La fuente de datos utilizada en el estudio han sido imágenes multiespectrales de los satélites Sentinel 2, Landsat OLI y ASTER.

A partir de una secuencia anual de imágenes Sentinel 2, se ha determinado que primavera es el momento óptimo en la zona, para realizar un análisis utilizando ILE, en términos de ausencia de vegetación y menor contenido de humedad en el suelo, aunque, en el año 2025, nos hemos encontrado con amplias zonas que habían sufrido incendios que alteraban la respuesta espectral de los suelos.

La utilización de estos 3 satélites, en esta fase de exploración minera, es debido a que ASTER tiene la mayor riqueza espectral en el SWIR, con 5 bandas, con una resolución espacial de 30 m; S2 mejora la resolución espacial hasta los 10-20 metros, aunque solo presenta una banda espectral en SWIR y Landsat OLI, aunque solo tiene una banda en el SWIR y una resolución espacial de 30 metros, ofrece una calibración espectral superior a los otros 2 satélites (Fig. 3).

El reconocimiento de zonas mineralizadas se realiza también, mediante la identificación de los halos de alteración asociados. Los minerales más comunes asociados a estas zonas de alteración son óxidos de hierro y minerales arcillosos (Sabins, 1999).

En la siguiente tabla, se pueden ver las fechas y los ILE normalizados que hemos utilizado en el estudio.

Tabla 1. Fechas de satélite utilizadas e ILE utilizados en el estudio.

	Landsat OLI	Sentinel 2	ASTER
Fecha de la imagen	09/03/2024	11/03/2024	11/03/2007
Pegmatitas	3/7	4/12	6/7, 1/3, 12/6, 12/9
Arcillas alteradas	6/7	11/12	4/5
Óxidos de hierro	4/2	4/2	4/3

Los ILE obtenidos se han analizado en relación a la escasa verdad terreno con la que contábamos, encontrando tendencias directas entre los valores más altos obtenidos en los ILE específicos de pegmatitas y las zonas con mayor concentración en Li (Fig. 4).

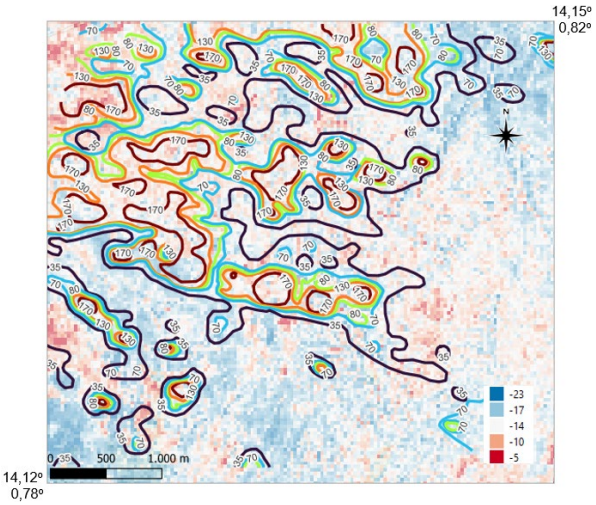

Figura 4. Tendencias entre el ILE de pegmatitas y la verdad-terreno de la geoquímica de campo.

Los ILE de arcillas alteradas presentaban una alta correlación con los de pegmatitas. Sin embargo, esta correlación no se da con los ILE de óxidos de hierro.

Para definir zonas espectralmente similares, se han realizado varios análisis *"cluster"*, teniendo en cuenta todos los ILE para cada tipo de sensor y teniendo en

cuenta, solamente, los ILE de pegmatitas. En el primer caso, las clases establecidas no correlacionaban con la verdad terreno existente, seguramente por la distorsión que introducían los ILE de óxidos de hierro. Mientras que el cluster de los ILE de pegmatitas aportaron una zonificación coherente con las observaciones de campo.

4. RESULTADOS

Todos los datos y la información generada se han integrado en un Sistema de Información Geográfica, permitiendo definir unidades homogéneas con mayor probabilidad de encontrar Litio (Fig. 5).

La definición de estas unidades homogéneas es importante en la AOI, para la planificación de los sondeos de campo que corroboren cuantitativamente la vialidad de la explotación de Litio.

En la figura 4 se pueden ver las 10 clases espectrales en las que se ha segmentado la AOI, enmascaradas con las unidades litológicas donde la probabilidad de encontrar Li es nula. Además, las clases espectrales visibles se han codificado desde colores azules, donde la probabilidad es menor, a colores rojos donde la probabilidad es mayor.

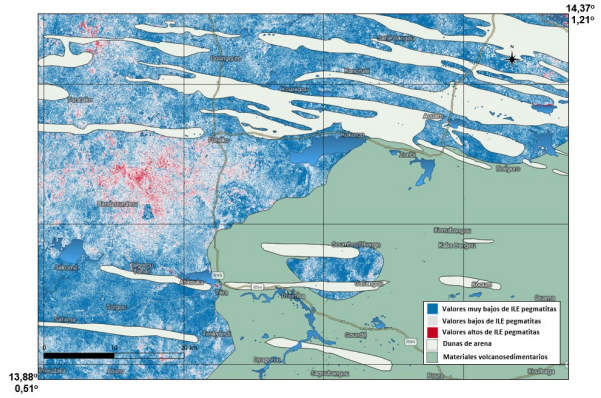

Figura 5. Clasificación de la AOI basada en los ILE.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En una imagen de satélite, que cubre miles de km², es posible interpretar los tipos de roca, estructuras y la alteración hidrotermal (si existe).

La presencia de minerales se expresa mediante longitudes de onda indetectables a simple vista. El análisis de la imagen permite generar un mapa de indicios con condiciones favorables para localizar depósitos minerales. En la imagen de satélite procesada, se puede localizar, evaluar y muestrear eficientemente los indicios.

La mineralización de litio se presenta principalmente como espodumena y, secundariamente, como lepidolita.

Algunos depósitos no se van a identificar en la imagen, aun así, el trabajo de exploración en campo, que es el más costoso, se va a centrar en áreas con la mayor probabilidad de potencial mineral.

La imagen nos sirve también para planificar el mejor acceso terrestre a los indicios.

Los próximos trabajos de exploración en la AOI, que incluyen un programa de perforación para cuantificar la mineralización a mayor profundidad, se realizarán atendiendo a las clases espectrales detectadas y cartografiadas.

6. REFERENCIAS

Ahmed, Y.L., Attourabi, S.A., Hallarou, M.M., Chamsi, L.I., Noura, G.R., & Chékaraou, M.M.S. (2022). Relationship between regional deformation and the emplacement of the Dibilo pegmatites (Liptako, West Niger): *Journal of African Earth Sciences, 198, 1–16.* https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104814

Attourabi, S.A.; Ahmed, Y., & Hallarou, M.M. (2021). Origin and Emplacement Conditions of the Dibilo Lithiniferous Mineralization (Liptako, Western Niger). *International Journal of Science and Research, 10 (10), 55-71* https://doi.org/10.21275/SR21917211430

Cardoso-Fernandes, J.; Teodoro, A.C., &Lima, A. (2019). Remote sensing data in lithium (Li) exploration: A new approach for the detection of Li-bearing pegmatites.*International Journal of Applied Earth Obsvation and Geoinformation, 76*, 10–25. https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.11.001

Cardoso-Fernandes, J., Silva, J., Perrotta, M. M., Lima, A., Teodoro, A. C., Ribeiro, M. A., Dias, F., Barrès, O., Cauzid, J., & Roda-Robles, E. (2021). Interpretation of the Reflectance Spectra of Lithium (Li) Minerals and Pegmatites: A Case Study for Mineralogical and Lithological Identification in the Fregeneda-Almendra Area. *Remote Sensing*, *13*(18), 3688. https://doi.org/10.3390/rs13183688

Grew, E. S. (2020). The Minerals of Lithium. *Elements*, *16*(4),235–240. https://doi.org/10.2138/GSELEMENTS.16.4.235

Machens, E. (1961). *Prospection Génerale du Liptako, campagne1960-1961*. Bureau de Recherches Géologiques et Minières: 73.

Montesinos, S. (2024). Diseño e implementación de un plugin QGIS para el cálculo de índices litológicos espectrales a partir de imágenes Sentinel 2*. Tesis de Máster. Geoinnova.*

Sabins, F.F. (1999). Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geology Reviews, Volume 14, (3-4):* 157-183*.* https://doi.org/10.1016/S0169-1368(99)00007-4

Van der Meer, F.D.; van der Werff, F.; Harald M.A.; van Ruitenbeek, J.A.; Hecker, C.A.; Bakker, W.H.; Noomen, M.F.; van der Meijde, M.; Carranza, E.J.M.; Boudewijn de Smeth, J. B., & Woldai, T. (2012). Multi- and hyperspectral geologic remote sensing: A review, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 14, (1):* 112-128. https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.08.002