

## ANOMALÍAS GEOBOTÁNICAS ESPECTRALES ASOCIADAS CON LOS CAMBIOS EN LITOLOGÍA: SU USO PARA LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LAS ROCAS ULTRABÁSICAS, EN TERRENOS TOTALMENTE VEGETADOS DE LA COSTA PACÍFICA COLOMBIANA

---

Villegas, V. H.<sup>1</sup>

### RESUMEN

Se sabe que los suelos desarrollados sobre rocas ultramáficas, inhiben el crecimiento de la vegetación. Teniendo en cuenta esto, se realizó el procesamiento digital de una subescena Landsat TM de la Costa Pacífica Colombiana, en donde aflora el Litodema Ultrabásico de Guapi. La imagen de la división TM4/TM3, demostró ser poderosa para identificar las anomalías geobotánicas espectrales de vegetación poco densa, relacionadas con un cinturón ultramáfico de tendencia NS a NE-SO, expuesto en toda el área de estudio. La imagen de TM4 con expansión de contraste, permitió diferenciar otros dos lentes ultramáficos diferentes del cinturón, que parecen tener la misma litología.

**Palabras claves:** Percepción remota, geobotánica, cartografía geológica, rocas ultrabásicas, Costa Pacífica Colombiana

### ABSTRACT

It has long been known that soils developed on ultramafic rocks inhibit the growth of vegetation. Taking into account this, digital processing was carried out in a Colombian Pacific Coast Landsat TM subscene, where the Guapi Ultrabasic Lithodeme outcrops. The ratio TM4/TM3 image proved to be powerful for identifying spectral geobotanical anomalies of sparse vegetation, related to a NS to NE-SW trending ultramafic belt exposed throughout the study area. The contrast stretched TM4 image allowed to differentiate another two ultramafic lensoid boudins different from the belt, which seem to have the same lithology.

**Keywords:** Remote sensing, geobotany, geological mapping, ultrabasic rocks, Colombian Pacific Coast.

---

<sup>1</sup>INGEOMINAS, Diagonal 53 No. 34-53, Bogotá - Colombia.  
Correo Electrónico: henville@trilobite.ingomin.gov.co

## 1. INTRODUCCIÓN

Cuando el término geobotánica cuando se aplica a la percepción remota, puede definirse como el estudio de la radiación electromagnética reflejada y emitida por la vegetación la cual es utilizada para detectar diferencias geológicas en el paisaje (Raines y Canney, 1980). Una nueva tendencia en la exploración mineral, es el uso de las propiedades espectrales de las plantas para identificar las condiciones presentes en el suelo y en las rocas que lo subyacen; si se ignoran las áreas cubiertas de vegetación del planeta, solamente un 30% de la superficie continental estaría disponible para la exploración mediante la percepción remota (Goetz y Rock, 1983). Este estudio trata sobre el procesamiento digital de los datos satelitales Landsat TM, que barren una zona de la Costa Pacífica Colombiana, totalmente cubierta de vegetación y parcialmente cartografiada. El procesamiento está orientado a la detección de asociaciones geobotánicas espectrales específicas, que permitan discriminar las rocas ultrabásicas de las litologías circundantes.

### 1.1. Características generales de la zona de estudio

**1.1.1. Geología:** El área considerada se localiza al sur-occidente de Colombia, en la Llanura Costera del Océano Pacífico, más exactamente, al sur del Departamento del Cauca; abarca las cuencas de los ríos Guapi, Pilpe, Llantín, Napanchí e Iscuandé (Figura 1). Comprende los terrenos Dagua y Atrato-San Juan-Tumaco de Etayo y otros (1983), e incluye parte del Piedemonte de la Cordillera Occidental. En términos generales, está conformada por una secuencia oceánica de arco de isla del Cretácico superior, compuesta por rocas volcánicas básicas, metabasitas, metasedimentos y chert, granitoides contemporáneos básicos a intermedios y rocas ultrabásicas e intrusivas calco-alcalinas más jóvenes, que están en contacto fallado (sutura?) con una secuencia paleógena de rocas volcánicas intermedias y volcanoclásticas, la cual es suprayacida en forma discordante por una sucesión sedimentaria del Terciario superior (McCourt et al., 1990). La Figura 2 muestra el mapa geológico generalizado del área.

**1.1.2. Clima:** Según PLADEICOP (1983), a partir de la línea costera se registra un aumento fuerte de la precipitación, en dirección hacia las laderas de la Cordillera Occidental. En la Costa Pacífica es de 1934mm y asciende hasta 7597mm en el piedemonte. En el Puerto de Guapi (Fig. 1), el más importante de la región, se registran temperaturas mensuales entre 25.08°C y 26.25°C y una precipitación anual de 5054mm. El área de estudio presenta alta nubosidad; en las alturas de 1000m sobre el nivel del mar, en las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental, se forman asociaciones atmosféricas muy húmedas, que se manifiestan como presencia frecuente de neblina o nubes en contacto con la vegetación. Por estar situada en el Cinturón de Lluvias de la Costa Pacífica, posee uno de los climas más húmedos del mundo (Times Atlas of the World, 1985 en Annells et al., 1988), causante de una capa perenne de nubes, que dificulta el uso de sensores pasivos durante las campañas de cartografía geológica.

**1.1.3. Vegetación:** La región está totalmente cubierta con una vegetación tropical saludable, generalmente de dosel cerrado por copas entrelazadas y troncos rectos, con ramas y hojas que tienden a agruparse hacia la parte superior. Los árboles muestran alturas promedio de 25 a 30m, que pueden alcanzar localmente los 35m (IGAC, 1983).

## 2. PROCESAMIENTO DIGITAL

Se realizó en una subescena extraída del cuarto de escena Landsat-5 TM (cuadrante 4), de Path 10 y Row 58, obtenida el 11 de Febrero de 1986. Para patronar las unidades geológicas en los productos de teledetección, se utilizó la cartografía del proyecto MPP-Fase II (McCourt et al., 1990). El procesamiento digital se realizó con el programa ERDAS IMAGINE versión 8.3, montado en una estación de trabajo SUN ULTRA.

**2.1. Aproximación metodológica:** La técnica geobotánica más accesible a la geología para la discriminación de materiales en la corteza terrestre, es el estudio de la densidad de la vegetación. Esta



FIGURA 1. Mapa de localización.

Harrington, S.E., McLellan, E.L., Siegrist, H.G. (1989). A remote sensing based geobotanical investigation of ultramafic rocks along a regional fault zone. Seventh Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration, Vol. II, Calgary, Canada, pp. 735-749.

IGAC (1983). Atlas Regional Pacífico. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, p. 96.

McCourt, W.J., Muñoz, C.A., Villegas, H. (1990). Regional geology and gold potential of the Guapi-Napi drainage basin and Upper Timbiquí River, Cauca Department, SW Colombia. British Geological Survey (Nottingham), technical report WC/90/34, p.62.

PLADEICOP (1983). Plan de desarrollo integral para la Costa Pacífica Colombiana (versión preliminar). D.N.P., C.V.C y UNICEF, Cali, p. 70.

Raines, G.L., Canney, F.C. (1980). Vegetation and Geology. En: Siegal, B.S., Gillespie, A.R. Remote Sensing in Geology, John Wiley & Sons, New York, pp. 173-182.

Raines, G.L., Wynn, J.C. (1982). Mapping of ultramafic rocks in a heavily vegetated terrain using Landsat TM. Economic Geology, Vol. 77, pp. 1755-1769.

propiedad puede ser detectada y cuantificada en las fotografías aéreas e imágenes Landsat TM. Es bien sabido que, en áreas normalmente vegetadas, la presencia de las rocas ultrabásicas genera una disminución en la densidad de la vegetación (Raines y Canney, 1980; Raines y Wynn, 1982; Harrington y otros, 1989). Los suelos residuales generados por la meteorización de las rocas ultramáficas son deficientes en calcio (Goetz y Rowan, 1983); la falta de este elemento genera condiciones adversas para el crecimiento de las plantas, dado que sus membranas celulares disminuyen la porosidad natural, con lo cual pierden su capacidad normal para tomar y transportar nutrientes y retener iones. En la zona considerada aparece un cinturón de rocas ultrabásicas de 3 a 4.5 Km de ancho, con tendencia N-S a noreste-sureste (Fig. 2), denominado *Litodema Ultrabásico de Guapi* (McCourt y otros, 1990). Esta unidad se ha interpretado como un cuerpo continuo de espesor y ancho variables, conformado por lentes de rocas ultramáficas, que muestra contactos tectónicos con los metasedimentos cretácicos hacia el este (Formación Cisneros de Aspden, 1984), y con las rocas volcánicas Terciarias (Formación Timbiquí de Annells y otros, 1990). En este litodema se han reconocido dunitas serpentizadas y harzburgitas (Annells y otros, op cit.), a las cuales se les ha asignado una edad Cretácica superior-Terciaria inferior, aunque los argumentos tectónicos regionales favorecen la edad Paleógena (McCourt et al., 1990).

**2.2 Imágenes por división entre bandas:** La comprensión de las propiedades espectrales de la vegetación, los suelos y las rocas, sugiere que la división entre las bandas TM4 (760 - 990 nm) y TM3 (630 - 690 nm), deba ser sensible a los cambios en la densidad de la vegetación, y en algunos casos, a las diferencias entre las especies vegetales (Raines y Canney, 1980). El concepto utilizado para cartografiar la densidad de la cubierta vegetal con la división TM4/TM3, es que la vegetación disminuye su radiansa en la banda 3 debido a la absorción de la clorofila (cerca de los 0.68  $\mu$ m), mientras la aumenta en la banda 4 por la alta reflectancia de la vegetación en el infra-rojo cercano. La división de la banda 4 entre la banda 3, es directamente proporcional a la

densidad de la vegetación: las áreas que tienen vegetación más densa, aparecerán en tonos claros, mientras que las áreas con poca cubierta vegetal, se verán en tonos oscuros (Almeida-Filho, 1984). El cociente TM4/TM3 fue aplicado en la subescena Landsat TM, donde demostró que fue muy útil para delimitar las unidades ultrabásicas que afloran en la zona. El litodema define un cinturón de tonos oscuros expuesto a lo largo de toda el área de estudio, que corresponde a las anomalías geobotánicas espectrales de cubierta vegetal baja, con tendencia noreste-suroeste a norte-sur y al ancho variable que aumenta hacia el norte (Fig. 3). En las anomalías geobotánicas detectadas hacia el sur del Río Pilpe, el relieve de las rocas ultrabásicas es mucho más fuerte, lo cual genera el efecto de sombreado topográfico.

**2.3. Imágenes de bandas simples:** Una propiedad de las imágenes generadas por la división, es la de tender a perder los efectos topográficos, hecho que las hace difíciles de relacionar visualmente con los mapas u otras imágenes (Greenbaum, 1989). Para caracterizar mejor las rocas ultrabásicas presentes en el área de estudio, se decidió generar la imagen de una sola banda, donde no se perdieran las variaciones tonales causadas por las condiciones específicas de la iluminación solar, relacionadas con la topografía del terreno considerado. Dada la gruesa cubierta vegetal presente en el área de estudio, le dio mucha relevancia a aquellas bandas que se corresponden con los picos de reflectancia de las plantas, de acuerdo con la "Curva Típica de Reflectancia de la Vegetación" (Goetz y Rowan, 1983). Se escogió TM4, porque coincide con el intervalo del infra-rojo cercano que registra mayor porcentaje de reflectancia en la curva (60%), razón por la cual resulta ser la banda que mejor caracteriza el material vegetal; a la banda elegida se le aplicó la expansión de contraste por el método gaussiano. En la imagen generada (Fig. 4), además de corroborarse la anomalía geobotánica espectral de cubierta vegetal baja detectada en TM4/TM3 (U en Figura 3, Tku3 en Figura 4), fue posible diferenciar otras dos unidades ultrabásicas.

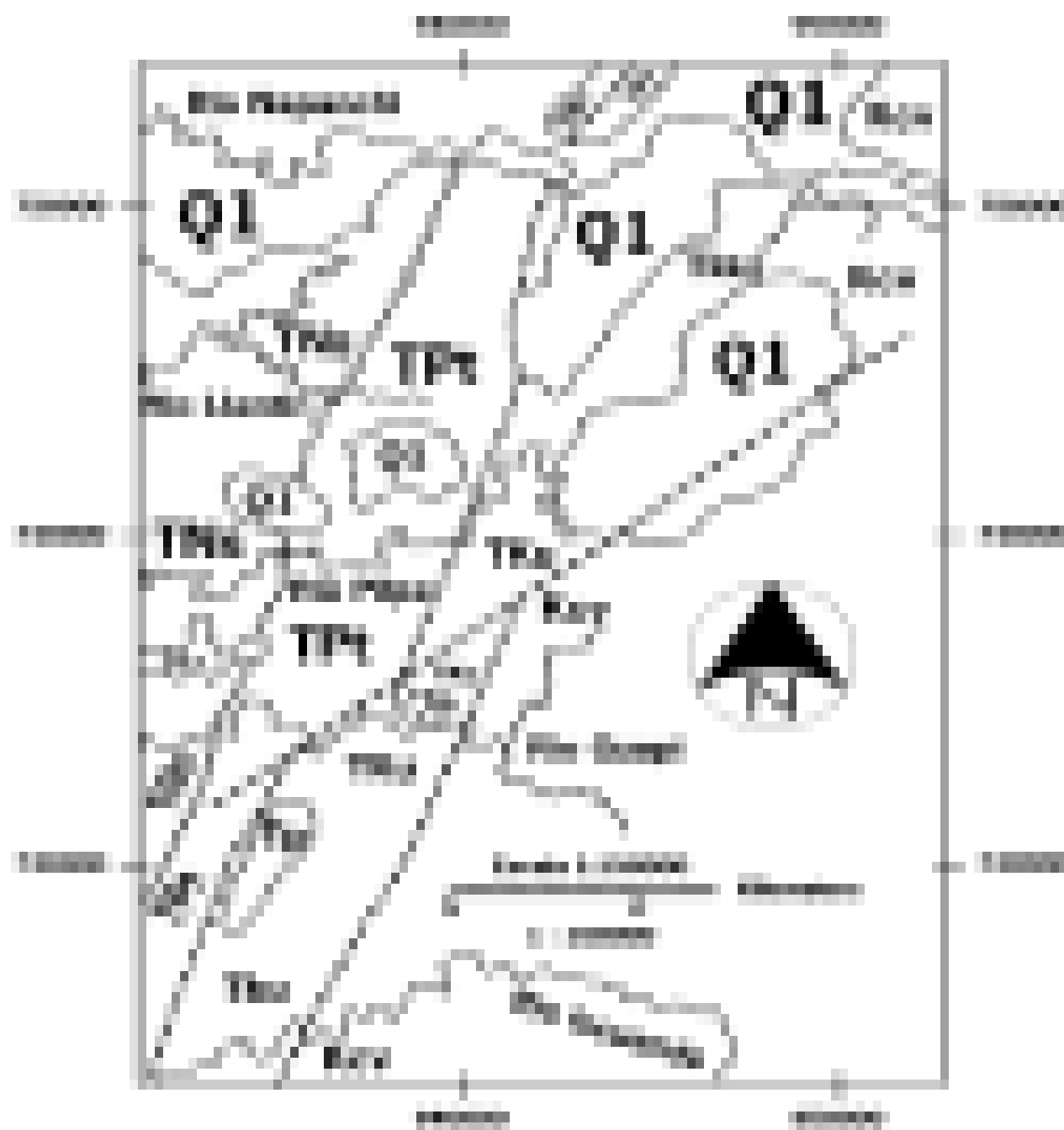


FIGURA 2. Mapa Geológico Generalizado, modificado de McCourt y otros (1990)

**LEYENDA**

- Q1 Depósitos Cuaternarios (flujos de lodo)
- TNs Rocas Sedimentarias Terciarias
- TPt Rocas Volcánicas Terciarias
- TKu Secuencias Ultrabásicas
- Kev Metasedimentos Cretácicos
- Tp Rocas Plutónicas Terciarias

**CONVENCIONES**

- Contacto geológico . . . . .
- Falla y/o contacto fallado - - - - -
- Discordancia ~~~~~
- Ríos principales —————

La primera (Tku1 en la Figura 4) es un lente que se acuña hacia el noreste y el suroeste, no muestra anomalías espectrales que permitan diferenciarla de las rocas volcánicas terciarias con las que está en contacto fallado hacia el oeste (Figura. 2), y presenta claro contacto tectónico con las otras unidades ultrabásicas hacia el este. La segunda (Tku2 en la Figura 4), tampoco muestra anomalías geobotánicas de tonos oscuros pero presenta forma de lente con claros límites tectónicos y acuñamiento hacia el NE; además está dividida por la falla de dirección noreste; su similitud espectral con Tku1 (Figuras 3 y 4), sugiere que correspondan a la misma litología. Tku3 es la más espesa y continua; se manifiesta como un cinturón de anomalías espectrales con tendencia noreste, que puede seguir hasta el límite norte de la zona de estudio (Figura 3). Sus contactos tectónicos con las unidades con las cuales limita hacia el oeste, son muy evidentes, principalmente hacia el sur del río Pilpe. Parece que se acuña hacia el suroeste de la zona de estudio, cuando llega al río Iscuandé donde es cruzada por fallas que van paralelas a su rumbo (Figura 4).

**CONCLUSIONES**

El procesamiento adecuado de las imágenes Landsat TM, permite detectar las anomalías geobotánicas espectrales relacionadas con las rocas ultrabásicas en profundidad. Este procesamiento sólo será exitoso en terrenos donde el patrón de crecimiento de la vegetación no haya sido alterado por las actividades antrópicas como la agricultura y la ganadería, dado que es necesaria alguna relación entre el suelo y las rocas subyacentes, para que estas tengan expresión en el modo de crecimiento de la cobertura vegetal.

Las características geológicas y geobotánicas de las tres unidades ultrabásicas diferenciadas, hacen concluir que, al menos, corresponden a dos litologías diferentes (Tku1=Tku2?Tku3), las cuales generan expresiones características en la vegetación y en la geomorfología superficiales.

El uso exitoso de las imágenes Landsat TM en la detección de las anomalías geobotánicas relacionadas con ciertas litologías, debe estar precedido de un análisis detallado del tipo de roca que se va a diferenciar y sus respectivos suelos, los factores edafológicos que puedan controlar el crecimiento normal de las plantas, las características fisiográficas de la región considerada, la naturaleza del sensor satelital y las técnicas de procesamiento digital que se van a utilizar.

**AGRADECIMIENTOS**

El autor agradece a INGEOMINAS por haberle facilitado los equipos y el tiempo para realizar este trabajo y a la Overseas Development Administration (O.D.A.), por haber adquirido el cuarto en escena Landsat TM el cual es la materia del presente estudio.

**BIBLIOGRAFÍA**

Almeida-Filho, R. (1984). Multiseasonal and geobotanical approach in remote detection of albitised-greisenized areas in the Serra da Pedra Branca granitic massif, Goiás State, Brazil. *Economic Geology*, Vol. 79, pp. 1914-1920.

Annells, R.N., Forero, H.F., Rodríguez, C.A. (1988). Geology and gold potential of the Timbiqui and Napi River basins, Cauca Department, Colombia. *British Geological Survey, Nottingham, technical report WC/88/45*, p. 99.

Aspden, J.A. (1984). The geology of the Western Cordillera and Pacific Coastal Plain in the Department of Valle del Cauca (Sheets 261, 278, 279, 280 and 299). INGEOMINAS-MISIÓN BRITÁNICA (British Geological Survey), Cali, preliminary report No. 7, p. 45.

Etayo, F. et al. (1986). Mapa de terrenos geológicos de Colombia. *Publicaciones Geológicas Especiales de INGEOMINAS*, Bogotá, No. 14-1, p. 253.

Goetz, A.F.H., Rock, B.N. (1983). Remote sensing for exploration: an overview. *Economic Geology*, Vol. 78, pp. 573-590.

Greenbaum, D. (1989). Introduction to geological remote sensing. Course notes for students. *British Geological Survey, Nottingham*, p. 101.

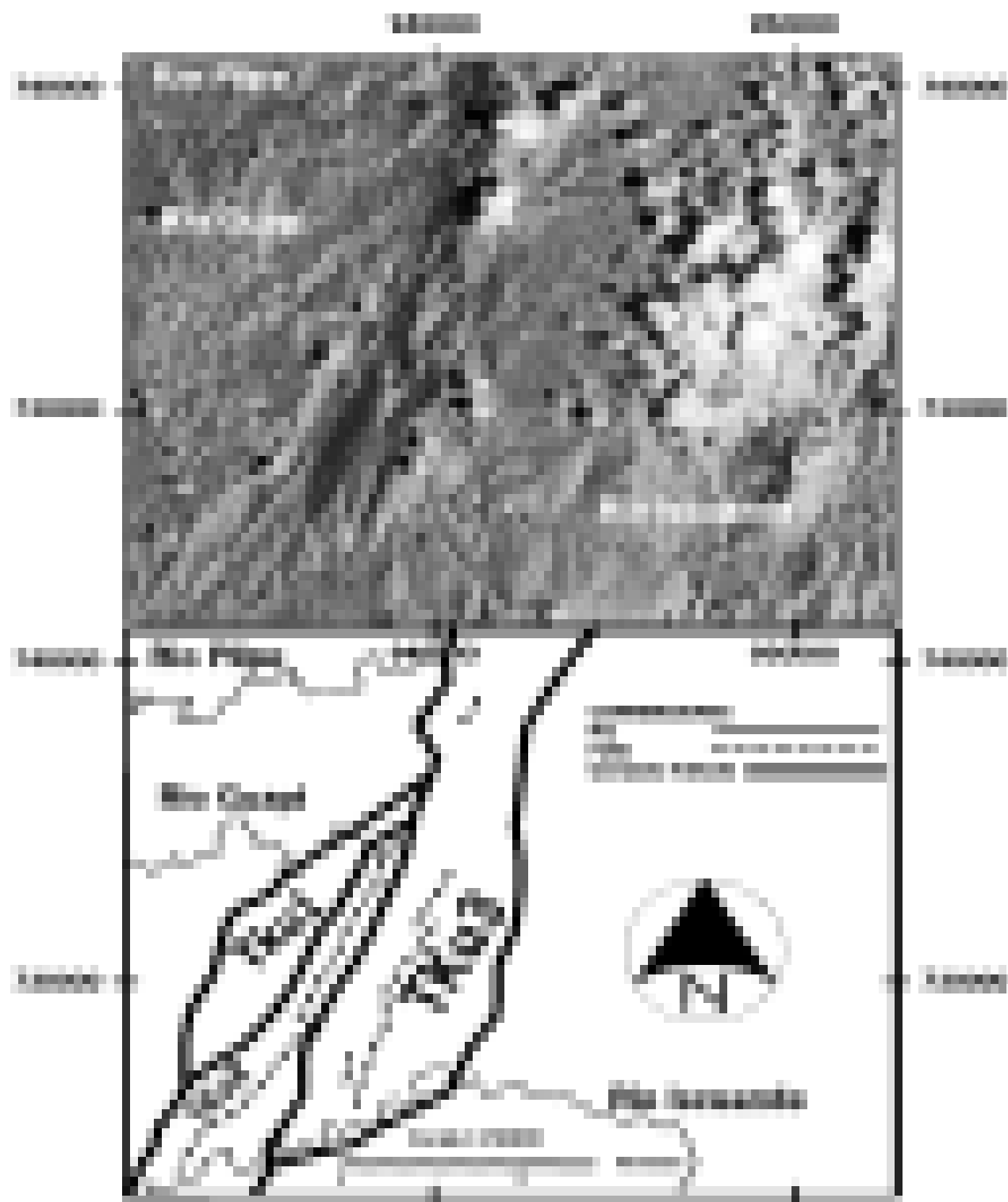


FIGURA 4. Mapa-imagen de TM4 e interpretación geológica de las unidades ultrabásicas. Las nubes aparecen en blanco.

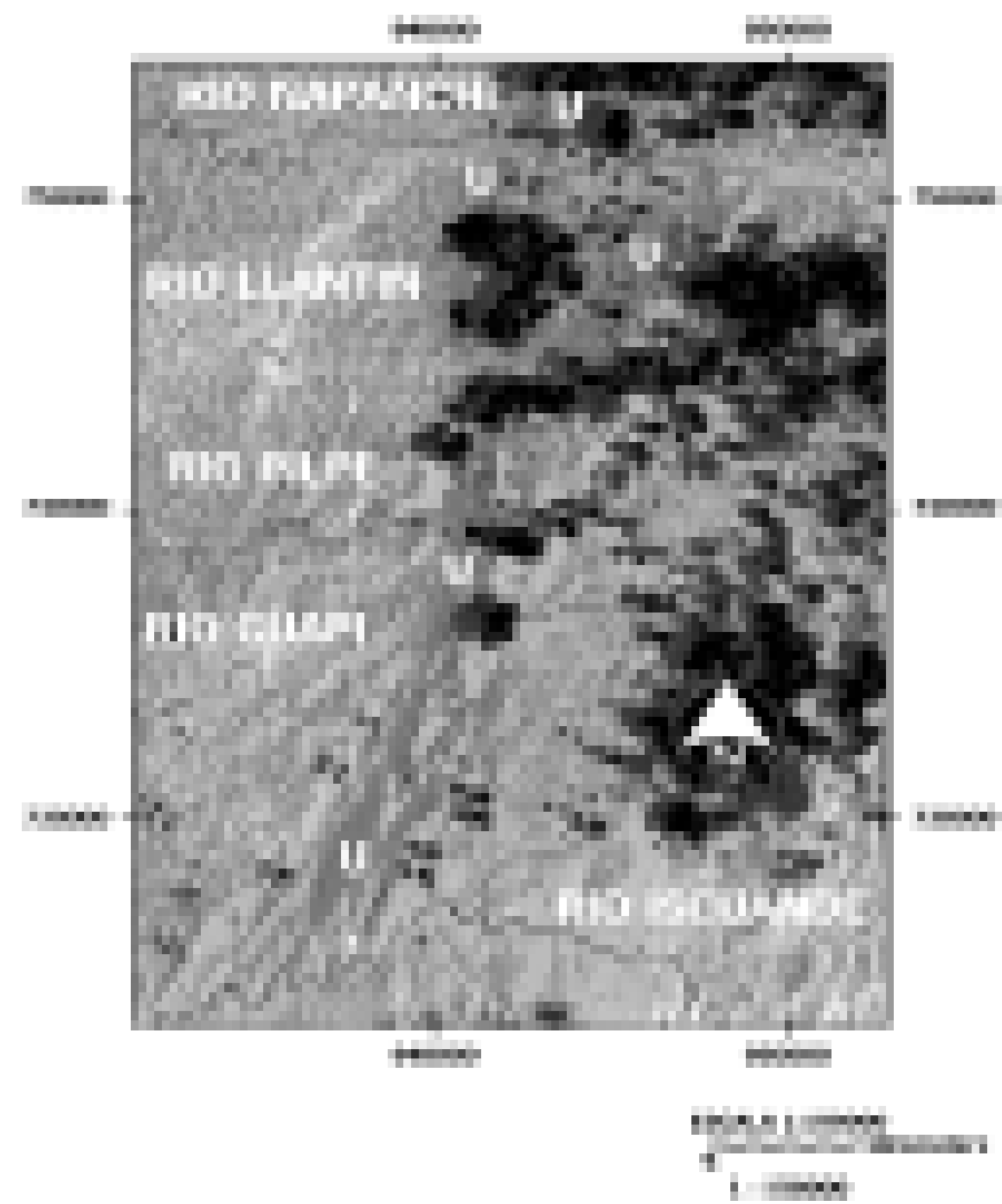


FIGURA 3. Mapa-imagen TM4/Tm3, con anomalías geobotánicas espectrales de la vegetación baja (U), que coinciden con las litologías ultrabásicas. Las nubes aparecen en color negro.