"UTILIZACIÓN DE IMÁGENES DE SATELITE EN LA PROSPECCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS"

Kathy López Escobar [1], Edison Navarrete Cuesta [2.]

1 Ingeniero Geólogo 1.999
2 Director de Tesis, Ingeniero Geológo, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1985, Profesor de ESPOL desde 1985.

RESUMEN

La utilización de las imágenes de satélite en las investigaciones del campo de las Ciencias de la Tierra presenta muchas ventajas, en cuanto a la posibilidad de cubrir grandes extensiones de tierra en forma precisa a menor tiempo y bajo costo, aunque se requiere modernos software y hardware para analizar la información. Este proyecto de graduación destaca la aplicación de imágenes satelitarias en la prospección de aguas subterráneas.

Un área con un marcado déficit hídrico superficial, las cuencas hidrográficas de Puyango y Catamayo, de la zona Sur del Ecuador, fue analizada digitalmente para identificar los lineamientos geológicos, a través de imágenes de la banda 7 de Satélite Landsat TM-5. En esta zona, que no presenta una litología permeable (permeabilidad primaria) suficiente, la ayuda de imágenes Satélitarias permitió ubicar aquellas Formaciones antes excluidas que ahora representan unidades hidrogeológicas de permeabilidad alta (permeabilidad secundaria). Este articulo describe en detalle las opciones tecnológicas que existen en el Ecuador para este tipo de trabajo, el proceso de la selección del tipo de imagen, el soporte y el método del procesamiento de los datos.

INTRODUCCIÓN

La provisión de agua para consumo humano y riego en sectores marginales es una necesidad cada vez mas creciente y que debe ser atendida de manera preferencial. Especialmente en regiones de marcado déficit hídrico superficial, por las cuantiosas inversiones que serán necesarias para captar aguas superficiales, desde hace muchos años atrás, han implementado la práctica de explotación y uso del agua de los reservorios subterráneos. Normalmente, este proceso involucra costoso y tedioso trabajos de campo y de interpretación de fotografías aéreas.

La tecnología moderna, específicamente la Teledetección, a través de imágenes satelitarias, nos ofrece la oportunidad de hacer más sencillo este tipo de prospecciones en áreas de gran extensión. Esta técnica la ofrece en el Ecuador, el Centro de Levantamientos de Recursos Naturales por Sensores Remotos, CLIRSEN, cuya estación de recepción se haya ubicada en la Estación Cotopaxi. En este estudio, se propone utilizar una imagen satelital para definir los lineamientos geológicos de una región de gran extensión, y combinarlos con la litología y la geomorfología de la zona para preparar un mapa hidrogeológico, que delinea las áreas propicias para prospectar agua subterránea.

La parte Sur del Ecuador, especialmente las provincias de Loja y El Oro, presenta un marcado déficit hídrico superficial y por consiguiente, se eligió esta área para aplicar esta tecnología. Los límites del área de estudio se escogieron en base a la división de cuencas hidrográficas, conocidas como las cuencas de Puyango y Catamayo (ver mapa #1). El área de estudio está ubicada en el Sudoeste del territorio continental ecuatoriano localizada entre los 3^{o} 30' a 4 45' latitud Sur y entre los 79^{o} 10' a 80 30' de longitud Oeste. El área total de investigación alcanza 10.881 km^{2}, comprendiendo gran parte de la provincia de Loja, desde Catamayo hasta Puyango y Zapotillo, en el limite con la República del Perú, y una parte de la provincia de El Oro, que abarca los cantones Zaruma, Portovelo, Piñas y Paccha.

GEOLOGIA

La geología interviene mediante dos factores, por un lado, la naturaleza litológica, que determina la *permeabilidad primaria*, para lo cual se agrupó las unidades de acuerdo al tipo de roca que representan; por el otro, la estructura, que permite la presencia de fracturas en la roca, favorables para la percolación de agua libre, lo cual se denomina la *permeabilidad secundaria*.

Permeabilidad Primaria

La naturaleza litológica de los terrenos condiciona la permeabilidad de las rocas, definida como la capacidad de un estrato o conjunto de estratos que están constituyendo un acuífero, para dejar circular agua tanto en sentido vertical como lateral u horizontal, debido a sus características de formación, composición y textura original (Castany,1971).

Por presentar las características lito-estratigráficas de los materiales permeables (mapa#1), las Formaciones Aluviales de la zona de estudio se calificaron como de permeabilidad primaria alta, y estos se ubican en los alrededores de Catamayo y en la parte central del área de estudio, atravesando el Batolito de Tangula y el contacto de Sacapalca con Pisayambo, en el Sur de Catacocha.

Las arcillas limosas y arenosas en las Formaciones Trigal y Río Playas, son impermeables pero actúan como transmisores a las arenas y conglomerados existentes en las mismas formaciones. Por lo tanto, se las califican como de permeabilidad primaria mediana.

En el grupo de permeabilidad primaria baja están las rocas sedimentarias y los materiales no-consolidados, coluviales y depósitos glaciales, estos últimos, por presentar un carácter heterogéneo en su granulometría.

PERMEABILIDAD SECUNDARIA

La permeabilidad secundaria es conocida como la capacidad que ofrece una roca para permitir la circulación de agua, debido a fenómenos posteriores, como relajamiento de esfuerzos o movimientos tectónicos, que causan fallas, fisuras o en general lineamientos, en su estructura original.

Las formaciones geológicas que presentan mayor fracturamiento y por consiguiente alta permeabilidad secundaria, son las rocas más compactas, las cuales tienen un comportamiento no-plástico, como son las rocas volcánicas. El proceso de metamorfísmo también facilita la alta fracturación en las rocas metamórficas, como se evidencia en las vetas mineralizadas de Portovelo y Zaruma (Grupo Tahuin), que en definitiva son fallas en rocas volcánicas rellenas de mineralización.

Tratamiento de Imágenes de Satélite

Se utilizó la información que ofrece las imágenes de satélite para completar la geología estructural del área de estudio, identificando lineamientos y fallas, difíciles de reconocer en los trabajos del campo. Para la obtención de esta información de la imagen de satélite es necesario un tratamiento adecuado a la misma, que consiste en varias etapas, como la selección del tipo de la imagen, el tipo de soporte, la escala y el método de procesamiento.

Productos de Sensores Remotos

Para las Ciencias de la Tierra en general, y para el Geólogo en particular, los productos de sensores remotos permiten un enfoque diferente y complementario de los métodos clásicos, como son, los trabajos de campo y foto-interpretación. Varias son las ventajas en comparación con los métodos clásicos, entre estas están principalmente; una visión panorámica de la superficie terrestre que permite aprovechar del efecto de escala y ver mejor ciertos objetos de gran tamaño que ni detecta fácilmente el geólogo a nivel de la superficie y la posibilidad de obtener información física digitalizada sobre los objetos que afloran en la superficie terrestre (suelos, rocas).

En el Ecuador, se disponen productos de los siguientes sensores remotos:
a) Satélites ERS-1 y 2 de apertura sintética (Agencia Espacial Europea),
b) Satélite Spot (Francia),
c) Satélite Landsat-TM (Estados Unidos).

Selección del tipo de Imagen

De estos, lo más adecuado para nuestro estudio son las imágenes de Satélite ERS, que utiliza la tecnología radar, la cual permite trabajar en cualquier condición atmosférica (especialmente ventajosa en países tropicales donde es persistente la cobertura de nubes). Sin embargo, el principal problema de este sensor radica en la distorsión que se presenta en las zonas montañosas, la cual requiere ciertas correcciones que desafortunadamente no se disponen en el país, actualmente. El área de este estudio abarca una zona montañosa muy amplia, razón por la cual no se trabajo con productos de Satélites ERS-1 y 2.

Los Satélites Spot y Landsat, ambos ofrecen una imagen adecuada del área de estudio, para obtener la estructura geológica de la zona. Debido a la gran superficie que pueden abarcar las imágenes Landsat (127 x 127 Km2) en comparación con las imágenes de Spot (60 x 60 Km2), lo más util para esta gran área de trabajó es el Satélite Landsat.

Las imágenes de Landsat se analizan a través de siete rangos (bandas) de longitud de ondas de rayos, de luz visible hasta el infrarrojo, que resaltan diferentes detalles de la superficie terrestre. De estas, las imágenes de las bandas 2, 3, 4 y 5 son utilizadas principalmente para estudiar la vegetación y la húmedad de los suelos. En la banda 7, obtenidas en el rango del espectro infrarrojo, las imágenes serán libre de cobertura vegetal, y las estructuras y los lineamientos estarán muy visibles.

Para este estudio se preocura mapear fallas y lineamientos, y por consiguiente, se utilizo la banda 7, y se efectuaron realces para obtener una mejor resolución de los elementos estructurales geológicos.

Soporte
El soporte sobre el que puede realizarse la interpretación depende del tipo de tratamiento que se aplique. CLIRSEN ofrece como soporte las siguientes opciones:

a) Pelicula negativo y fotografías blanco y negro o a color
b) Pelicula positivo o transparencias
c) Datos digitales en CD-Rom o en diskettes.

De los negativos se puede obtener tantas ampliaciones como sea necesario. El papel fotográfico garantiza una interpretación directa de alta calidad, pero resulta rígida la escala y tampoco admite copias porque se disminuye la calidad. Cuando se opte por el soporte digital de las imagenes, este debe ser compatible con el tipo de la computadora y programas que se usan para procesar los datos. Las ventajas del tratamiento digital sobre el visual son mayores, estas son: la utilización inmediata de la información en un Sistema de Información Geografica (SIG) y permitir un análisis de los datos sobre el gran tamaño del área de estudio en un tiempo y costo bajo. En CLIRSEN se disponen los equipos y los programas para el tratamiento de imágenes, ERDAS IMAGEN Versión-8.2 y el programa para diseños de mapas, MICRO-STATION 95.

Selección de la escala
La resolución de imágenes de Satélite Landsat-TM 5 se disponen a escalas 1:100.000 y 1:250.000, ambas de las cuales son manipulables en la computadora sin afectar la precisión. Sin embargo, la gran superficie del área del estudio implica, si se usa la primera escala, un mayor consumo de los limitados recursos que se disponian para el análisis, por lo cual se estimo conveniente la escala de 1:250.000.

La preparación de mosaico
La fecha mas adecuada para este tipo de análisis es la fecha en la que la cobertura de nubes sea baja. Los sensores de Landsat no atraviesan las nubes, y las imágenes en su mayoría estaban con un alto porcentaje de cobertura de nubes, por lo cual se realizo una combinación de imágenes en forma de mosaico para lograr el total del área de estudio con la menor cobertura de nubes. Para preparar el mosaico, se utilizo dos imágenes de fechas diferentes, Enero/97 y Abril/95, correctamente georeferenciadas, y se eliminó la parte ya cubierta de nubes en cada una de las imágenes, empatando las zonas despejadas de ambas.

Lineamientos y Fallas del área de estudio
Se preparó el mapa de lineamientos del área de estudio, ubicando en la imagen todas las fallas geológicas, lineamientos secundarios y las estructuras circulares principales (mapa#2).

HIDROGEOLOGIA
La prospección de aguas subterráneas parte de un mapa hidrogeológico, que identifica las zonas propicias para la misma. En el proceso de la preparación del mapa hidrogeológico, los mapas de las divisiones litológicas, de los lineamientos, climatológicas y geomorfológicas son imprescindibles. También son útiles los datos hidrométricos y de calidad de agua para averiguar la presencia del líquido vital apto para el consumo humano.

Áreas propicias para la prospección de aguas subterráneas

En la búsqueda de las áreas propicias, primero se combinaron las zonas con posibilidades para prospectar aguas subterráneas, ya calificadas en base a su litologia y estructura, es decir, su permeabilidad primaria y secundaria. Utilizando los datos climatológicos, se puede ubicar las zonas donde ocurre mayores precipitaciones promedios anuales. Sin embargo, la recarga de los acuíferos por las precipitaciones, se deben analizar con los datos geomorfológicos, porque solamente las zonas con baja pendiente y bajo relieve topografico podrán aprovechar mayormente de las precipitaciones. Al último, se comparo la información hidrométrica, en cuanto a los pozos y las vertientes ubicados en el área del estudio, con las zonas y formaciones geológicas que eran posibles para prospectar para agua subterránea.

Después de la combinación de todos estos mapas y datos, útiles para la decisión definitiva de las áreas propicias a prospectar, se las clasificaron en cuatro tipos de zonas: excelente (A), mediana (B), buena (C) y nula (D). (ver mapa #3*)*

Zona A (Excelente)

Una pequeña parte de las aluviales de la Formación Loma Blanca, ubicada cerca de Catamayo, presenta un clima muy seco, pero es el lugar donde más pozos se han perforado y con buenos resultados, debido a que este aluvial, se comporta como un excelente acuífero, posiblemente alimentado por el río Catamayo y por las infiltraciones de las pocas precipitaciones debido al relieve suave alrededor. El aluvial del Batolito de Tangula cerca de Macará, tambien posee pozos que proveen caudales suficientemente altos. Aquí, las precipitaciones son medianas, aunque por las pendientes altas de la zona no se puede contar con buena recarga de aguas subterráneas, dependiendo principalmente su recarga de la corriente del río.

Zona B (Mediana)

El aluvial ubicado en el contacto de las Formaciones de Sacapalca y Pisayambo y que atravieza el Batolito de Tangula, no posee información de pozos ni vertientes, posiblemente porque no existen poblaciones importantes en esta zona. Este aluvial recibe precipitaciones medianas, y podría ser propicio para la prospección de aguas subterráneas, aunque se encuentra en una zona de pendiente fuerte. La Formación Zapotillo posee bastantes pozos y vertientes aunque con caudales bajos, probablemente por su clima seco y la mínima infiltración. Las lutitas existentes en la Formación Sacapalca también permiten un buen almacenamiento que alimenta a los pozos con caudales medios. Las precipitaciones altas de la zona parece que ayudan en este proceso, aunque la infiltración es minima. El afloramiento Oriental de la Formación Pisayambo alimenta con caudales medianos a un pozo en Catacocha, posiblemente por las precipitacones medianas recogidas por la alta fracturación concentrada alrededor de Catacocha. Las zonas de los glaciales y coluviales reciben altas precipitaciones, por tanto representan áreas posibles de prospectar.

Zona C (Baja)

La Formación de rocas sedimentarias y volcánicas, recibe altas precipitaciones, pero su infiltración es mínima, por lo tanto, no hay vertientes ni pozos explotados en la zona. En la Formación Celica la fracturación permite que el agua filtre y forme acumulaciones subteráneas, pero la precipitación en esta zona es mediana y las pendientes son muy fuertes. Las Formaciones sedimentarias Ciano y Río Playas reciben precipitaciones medianas que alimentan numerosas vertientes, a pesar de que la infiltración es mínima: no existe información sobre sus caudales. Las Unidades El Tigre y La Victoria reciben altas precipitaciones, y tal vez, por la mínima infiltración de la zona, no existe mayor cantidad de vertientes explotables. La unidad Bocana recibe altas precipitaciones en su parte Occidental y precipitaciones medias en la otra, que alimentan los pocos pozos y vertientes que están en explotación, a pesar de la mínima infiltración que aporta las pendientes fuertes de la zona. Las precipitaciones en las Formaciones Saraguro y Gonzanama son altas, pero la infiltración es mínima debido a su morfología escarpada. Existen numerosos vertientes en esta zonas, aunque no hay ningún pozo explotable.

Zona D (Nula)

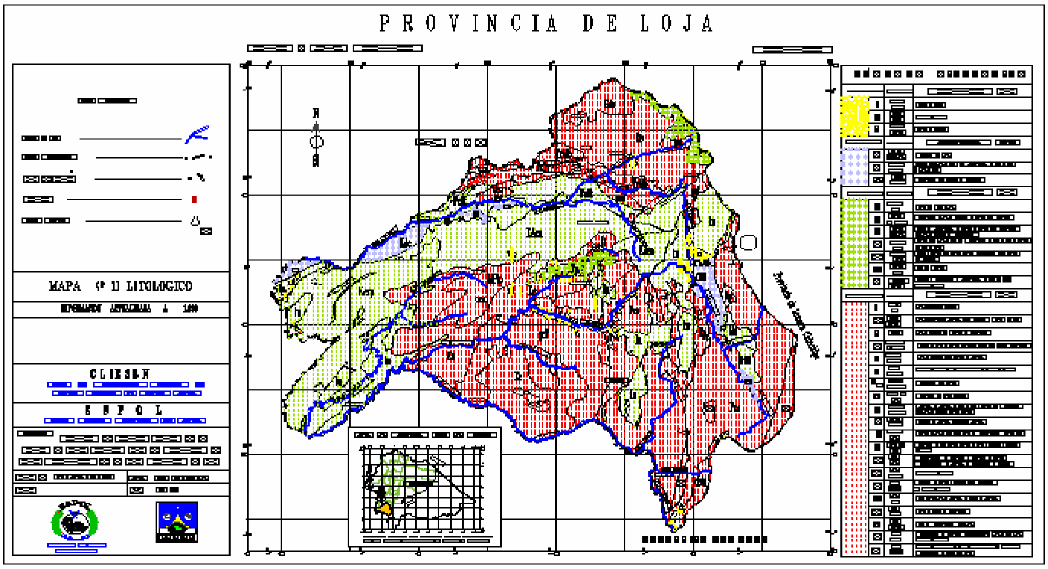
En la zona de la Formación Cazaderos las precipitaciones son muy bajas, y por consiguiente, allí no existen pozos ni vertientes, lo cual obligó a reclasificar esta Formación sedimentaria como una zona nula en cuanto a permeabilidad. Las restantes Formaciones, que no han sido nombradas y están en el área de estudio, no poseen ningun tipo de permeabilidad y tampoco alguna información que indique si son posibles para prospectar.

CONCLUSIONES

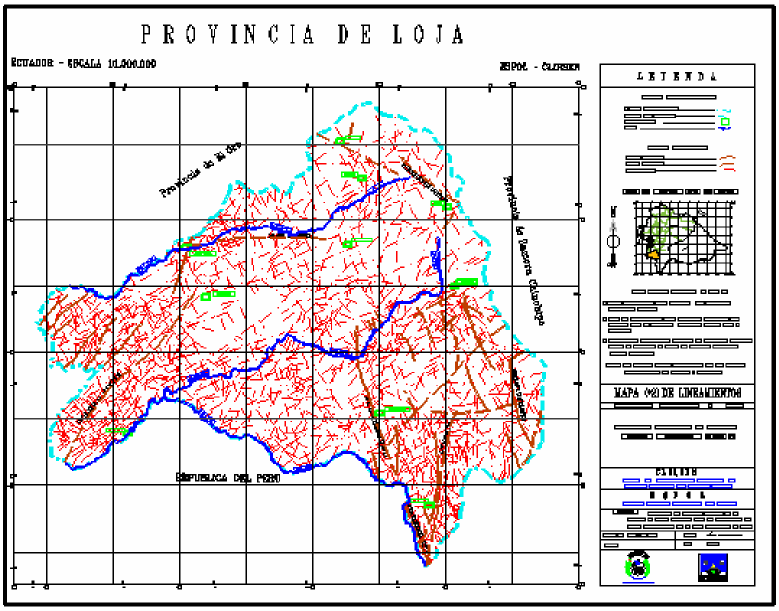
En este estudio, se confirmo la gran importancia que tiene la consideración de la permeabilidad secundaria para la prospección de aguas subterráneas, porque se aumento substancialmente la cantidad de las Formaciones geológicas propicias para la prospección, que inicialmente fueron descartadas en la fase de permeabilidad primaria. El análisis de la permeabilidad secundaria, que depende principalmente de los lineamientos de las rocas, en una extensión tan grande como la del presente estudio, fue viable únicamente por el uso de imágenes satelitarias para identificar estos lineamientos.

Se utilizo las imágenes de Satélite Landsat-TM 5, por su poder de cubrir toda el área de estudio, y especificamente su banda 7, para visualizar claramente las estructuras geológicas. Se debe resaltar la comodidad de manipulación de los datos y el ahorro de los recursos y el tiempo que facilita el uso de la información en la forma digital. La inconveniencia y las imprecisiones que causa la cobertura de nubes se puede eliminar a través del uso de las imágenes de la tecnología radar (Satélite ERS), pero es imprescindible procurar las correcciones que deben aplicar en las zonas montañosas.

Mapa1. La ubicación y la información litológica del área de estudio



Mapa 2. Lineamientos en el área de estudio



Mapa 3. Areas Propicias para la Prospección de Aguas Subterráneas, en las Cuencas Hidrográficas de Puyango y Catamayo.

BIBLIOGRAFIA

J.B. Kennerley, Geology of Loja Province, Southern Ecuador (Ins. Geol. Sci.; London, 1978) pag 3-24.

J.W. Baldock Geología del Ecuador, Boletín de la Explicación del mapa Geológico de la República del Ecuador, Esc. 1:1.000.000, (Ecuador: CODIGEM, 1982), pag 17,25,40.

Aspeen J.A., Bonilla W. y Duque P., Oversas Geology and Mineral Resources, The El Oro metamorfhic complex, Ecuador: Geology and economic mineral deposits, (Ecuador: BGS, 1995), pag 6-13.

Castany G. Tratado Práctico de Aguas Subterraneas, (España: Alianza Nacional, 1971), pag 120.

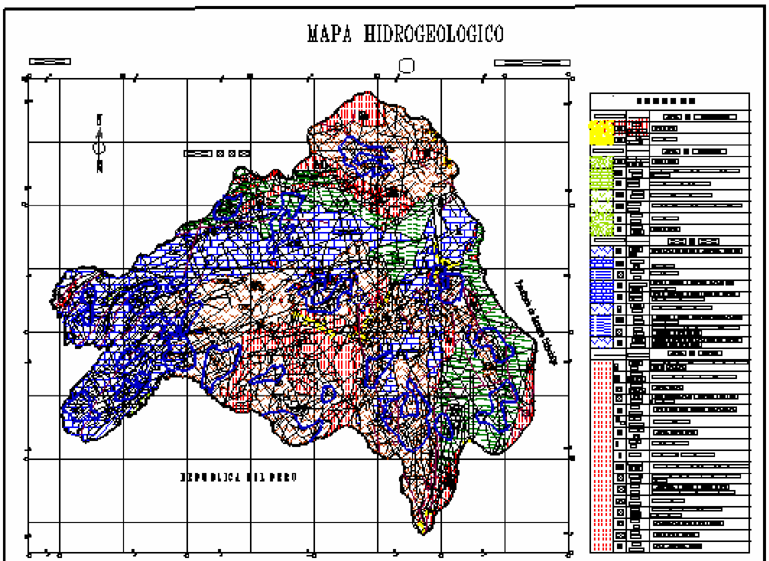
Whitten D.G.A. y Brooks J.R.V, Diccionario de Geología, (España: Alianza Nacional, 1980).

Erdas Imagene Ver.8.2, (Atlanta- Georgia: Tour Guides, 1996), pag.1-70

CAÑADAS Cruz Luis, El Mapa Bioclimatico y Ecologico del Ecuador, (Quito-Ecuador: Mag-Pronareg, 1993), pag. 25, 26, 30-33, 35-37, 40-42.

Intergraph, MicroStation, User's Guide, Versión 5, (N.Y: Bently Systems Inc.,1993), pag. 70-110.

Chuvieco Emilio, Fundamentos de Teledetección Espacial, (España: Rialp S.A., 1990), pag. 45-87, 132-145.



MAPA (*3) DE AREAS PROPICIAS PARA LA PROSPECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS