

# Caracterización de alteración hidrotermal y dinámica de cobertura de suelos mediante métodos de teledetección, en el Valle de Choluteca, Honduras

RAFAEL ENRIQUE CORRALES ANDINO<sup>1</sup> Y JUAN GREGORIO REJAS AYUGA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica,  
Facultad de Ciencias Espaciales, Universidad Nacional Autónoma de Honduras  
e-mail: rafa504@yahoo.com

<sup>2</sup> Laboratorio de Topografía y Geomática. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos  
Universidad Politécnica de Madrid  
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)  
e-mail: rejasaj@inta.es

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es la generación de cartografía temática que pueda integrarse en un Sistema de Información Geográfica (S.I.G.) como capas de valor agregado para futuros estudios ambientales, modelizaciones y su relación con investigaciones arqueológicas en la región.

Marco Metodológico, los materiales que se utilizaron fueron: Imágenes TM, y ETM+ de Landsat, Imagen ALI (año 2004), Imagen ASTER (2004), Librerías de firmas espectrales (USGS), Cartografía vectorial y MDT de 30 m. La metodología: 1) Tratamiento Digital de Imágenes y Verificación de Campo; 2) Caracterización de Alteración Hidrotermal del Suelo; y 3) Dinámica de Cambio del Suelo.

**Palabras Clave:** Alteraciones, Hidrotermal, Cambios, Suelos, Choluteca.

## ABSTRACT

The aim of this work is the generation of thematic maps that can be integrated into a Geographic Information System (GIS) layers of value for future environmental studies, modeling and its relationship to archaeological research in the region.

Methodological framework, the materials used were: TM images, and Landsat ETM +, ALI Image (2004) ASTER image (2004), libraries of spectral signatures (USGS), vector mapping and MDT of 30 m. The Methodology: 1) Digital Image Processing and Field Verification, 2) Characterization of Soil Hydrothermal Alteration, and 3) Soil Dynamics of Change.

**Keywords:** Alterations, Hydrothermal, Changes, Soil, Choluteca.

## I. INTRODUCCIÓN

Si partimos del punto que La Tierra es un sistema abierto, por lo tanto, dinámico, en el cual los distintos materiales que lo conforman se mueven de un sitio a otro, cambian de forma y también de composición a través de distintos procesos.

Desde el punto de vista de la geoquímica, existen dos grandes divisiones cuando se hacen consideraciones inherentes a la Tierra como sistema de estudio: *ambiente geoquímico profundo y ambiente geoquímico superficial*, divisiones que han sido hechas en función de las variables que caracterizan o que actúan de manera más notoria en cada uno de estos sub sistemas. En cualquiera de estos ambientes una masa de material, raramente conserva su identidad, ya que esta pasa a través de una serie de transformaciones mayores conoci-

das como ciclo geoquímico, de esta manera todo material contenido en el sistema tierra, tiende en intervalos de tiempo muy variables, a ser redistribuido, alterado, fraccionado, y mezclado con otros materiales. Este proceso en el cual átomos y partículas se mueven de un ambiente o localidad a un nuevo ambiente ha sido descrito a través de los conceptos de *diferenciación geoquímica y dispersión geoquímica*.

Así, en el ambiente geoquímico profundo, la dispersión de elementos químicos está controlada principalmente por la composición de las fases derivadas del manto, la presión del medio y la temperatura, siendo los procesos de fusión, cristalización, re cristalización, y alteración hidrotermal los que controlan de manera más pronunciada la dispersión de elementos.

En este sentido, los datos de percepción remota y el tratamiento digital de las imágenes vienen utilizán-

dose desde hace décadas para la generación de cartografía temática de varios tipos, dos de ellos objetivos prioritarios del proyecto de Tesis: (1) cubiertas terrestres -cultivos, vegetación, urbano- y (2) posibles alteraciones hidrotermales.

Para ello, las investigaciones se han centrado en mejorar dos técnicas habituales, clasificación digital por un lado, y Técnica Crosta (Crosta et al. 2003) en lo referente a la detección de superficies alteradas hidrotermalmente; esta última ha sido validada y contrastada científicamente para diferentes escenarios geológicos. Permite discriminar a partir de las imágenes que adquieren sensores espaciales entre la respuesta espectral de las arcillas y la de los óxidos de hierro, que se pueden interpretar como alteraciones argilíticas y limoníticas, respectivamente.

El presente proyecto incide en el desarrollo de estas metodologías para el estudio de las coberturas de suelos y su dinámica temporal en un caso concreto.

## II. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

La escasa información sobre la mineralogía de los suelos, su poca actualización, la poca importancia ante sus características, físicas y químicas, tales como alteraciones hidrotermales, que establecen cambios en las capacidades del uso del suelo y cambios en su cobertura vegetal, hace que en su mayoría, se subutilice o sobre utilice un suelo.

En este sentido se ha planteado realizar un estudio del suelo con tecnología de Percepción Remota, para caracterizar alteraciones hidrotermales y su comportamiento en dinámica de coberturas. Con esto se pretende establecer, si dichas alteraciones hidrotermales tienen influencia directa en los cambios de cobertura del suelo. Es decir establecer, si la presencia de materiales formados en condiciones de alteración hidrotermal, marca cambios en el uso del suelo, afectan a la geomorfología de la zona o a su estabilidad, o si estos evidencian rastros de utilidad arqueológica para establecer rutas y patrones de desplazamiento de poblaciones humanas.

## III. MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL

En este capítulo se describirá el ámbito conceptual a utilizarse durante el desarrollo de la investigación, así como del marco contextual del área sujeta a estudio.

### III.1. Marco Teórico

Dentro del marco teórico encontraremos a continuación las definiciones más relevantes dentro del campo.

Todo cambio ambiental sobre las rocas, provoca una respuesta mineralógica, química y textural, (en presencia de agua caliente, vapor o gas) conocida en términos generales como alteración hidrotermal.

La alteración hidrotermal ocurre a través de la transformación de fases minerales, crecimiento de nuevos minerales, disolución de minerales y/o precipitación, y reacciones de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de una roca y el fluido caliente que circuló por la misma. Aunque la composición litológica inicial tiene una influencia en la mineralogía secundaria (hidrotermal), su efecto es menor que el debido a la permeabilidad, temperatura y composición del fluido (Maksaev V., 2003).

En efecto, la temperatura del fluido y el pH del mismo son los factores más relevantes en la asociación mineralógica resultante de los procesos de alteración hidrotermal, más que la litología.

### Factores que controlan a la alteración hidrotermal de las rocas.

**Temperatura** y la diferencia de temperatura ( $\Delta t^\circ$ ) entre la roca y el fluido que la invade: mientras más caliente el fluido mayor será el efecto sobre la mineralogía original.

**Composición del fluido;** sobre todo el pH del fluido hidrotermal: mientras más bajo el pH (fluido más ácido) mayor será el efecto sobre los minerales originales.

**Permeabilidad** de la roca: Una roca compacta y sin permeabilidad no podrá ser invadida por fluidos hidrotermales para causar efectos de alteración. Sin embargo, los fluidos pueden producir fracturas hidráulicas de las rocas o disolución de minerales generando permeabilidad secundaria en ellas.

**Duración de la interacción agua/roca** y variaciones de la razón agua/roca. Mientras mayor volumen de aguas calientes circulen por las rocas y por mayor tiempo, las modificaciones mineralógicas serán más completas.

**Composición de la roca;** la proporción de minerales es relevante para grados menos intensos de alteración, dado que los distintos minerales tienen distinta susceptibilidad a ser alterados, pero en alteraciones intensas la mineralogía resultante es esencialmente independiente del tipo de roca original.

**Presión:** este es un efecto indirecto, pero controla procesos secundarios como la profundidad de ebullición de fluidos, fracturas hidráulicas (generación de brechas hidrotermales) y erupción o explosiones hidrotermales (Maksaev V., 2003).

### III.2. Marco Contextual

#### III.2.1. Ubicación Geográfica

El área de estudio se encuentra en el “Valle” de Choluteca (Mapa. 1), es un rectángulo de una superficie de 3,989.659 km<sup>2</sup>, ubicado en la siguiente coordenada de proyección UTM, en el centroide 479348.3128 E 1668742.421 N. El área comparte los departamentos de Choluteca (municipios de Choluteca, Marcovia, Namasigue y Santa Ana de Yusguare, El Corpus, El Triunfo, Orocuina y Liure) y una pequeña fracción de Valle (municipio de San Lorenzo). El valle es irrigado principalmente por el Río Grande o Choluteca, el Río Sampile, Estero Real y Río Istoca.

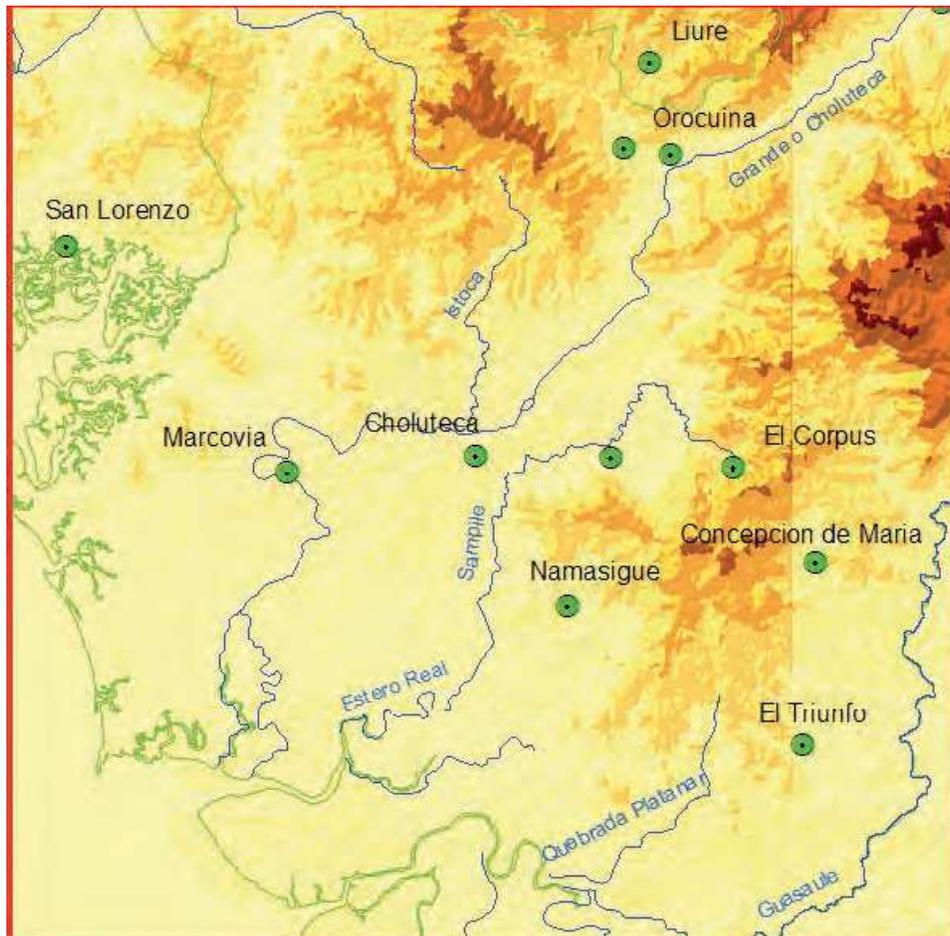
#### III.2.2. Condiciones Estratigráficas

La estratigrafía del lugar está conformada según Kozuch, 1991 en las siguientes formaciones y grupos (Mapa 2):

#### Formación Matagalpa (Tm):

Afloramientos de andesitas, basaltos y depósitos piroclásticos de la parte Norte de América Central fue designada como Formación Matagalpa. Rocas frescas revelan un color de morado oscuro o negro y una textura porfirítica, muchas veces zonas silificadas se encuentran en estas rocas que forman pequeños picos resistentes a la erosión. Estudios muestran que poseen un espesor variable entre 20 a 350 metros.

Originalmente se le había asignado una edad Oligoceno a Mioceno temprano, mas tarde estudios en el cuadrángulo Siguatepeque revelaron que hay basaltos y andesitas que datan del Paleoceno. A estas rocas se les dio el nombre de Agua Dulce. Muestras del cuadrángulo San Pedro Zacapa se encontraron algunas muestras de rocas volcánicas que se mapearon como Formación Matagalpa y que tenían que ser más antiguas que el Oligoceno tardío. Hasta establecer el rango de edades exactas tanto como su identidad real (Matagalpa o Agua Dulce) a estas rocas se les dará el nombre de una sola formación Matagalpa con una edad amplia del Paleoceno al Mioceno medio.



MAPA 1. Área de Estudio del Valle de Choluteca. Elaboración propia.

Grupo Padre Miguel (Tpm):

Una secuencia gruesa de ignimbritas cubre la mayoría del Occidente de honduras y descansan en una relación disconforme sobre la Formación Matagalpa, se ha calculado que puede haber 5, 000 kilómetros cúbicos de material volcánico cubriendo el país. Estas ignimbritas fueron originalmente designadas Grupo Jutiapa. Subsecuentemente fueron correlacionadas con el Grupo Padre Miguel de Guatemala y el nombre de Jutiapa fue abandonado a favor de Padre Miguel.

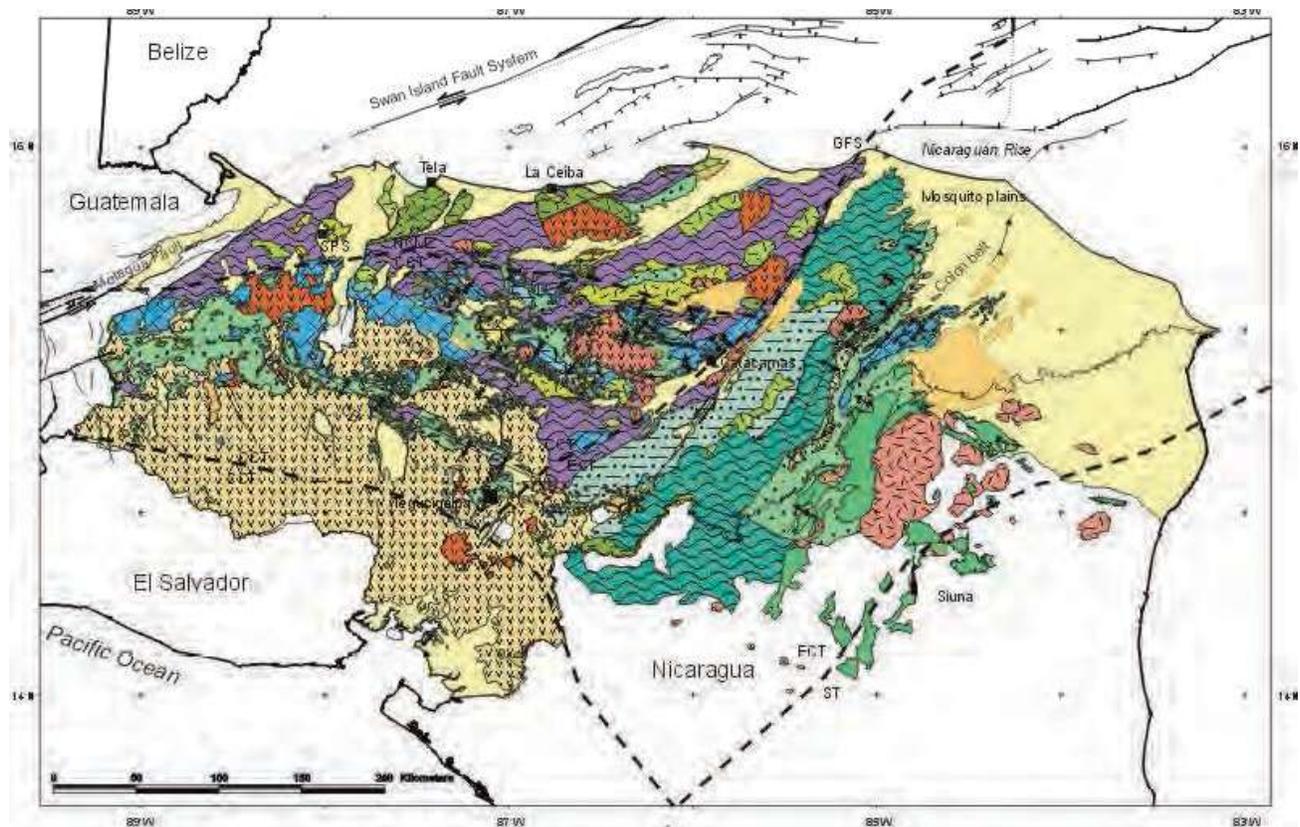
Las rocas más notables son las ignimbritas riolíticas blancas, pero entre ellas hay también tobas, lahars, sillars, y sedimentos piroclásticos. Las rocas sedimentarias derivadas de coladas de basaltos, andesita y riolita, contienen pómez y fragmentos piroclásticos. Se estima una edad del Oligoceno al Mioceno en muestras tomadas en varias partes del país.

Aluviones del Cuaternario (Qal):

Los aluviones del cuaternario generalmente ocupan los pisos de los grandes valles, las costas, y los pies de las montañas. Por lo general se presentan como terrazas de grava o depósitos de cauce. En algunos lugares las terrazas forman varios niveles de las cuales los superiores se encuentran a veces muy erosionadas.

Cuerpos Intrusivos (Pzi, Ki, Kti y Ti):

Desde los pequeños diques que penetran las formaciones más recientes hasta los enormes cuerpos intrusivos, la distribución, composición y edad de estas rocas es muy extensa y variable en todo el país. Generalmente, estos cuerpos intrusivos son granitos, grano de oritas, dioritas y tonalitas. En cada ocasión se hizo lo posible por distinguir las rocas en el mapa de acuerdo con su edad respectiva, la cual puede ser del Paleozoico (Pzi), Cretácico (Ki), Terciario (Ti), o una edad entre los dos períodos (KTi).



**MAPA 2.** Geología de Honduras, (Kozuch, M., 1991).

## IV.. OBJETIVOS Y

### ALCANCE Objetivo General

El objetivo de este trabajo es la generación de cartografía temática que pueda integrarse en un Sistema de Información Geográfica (S.I.G.) como capas de valor añadido para futuros estudios ambientales, de modelización y su relación con investigaciones arqueológicas en la región del Valle de Choluteca.

### Objetivos Específicos

- . Generación de cartografía de cobertura de suelos y su dinámica mediante técnicas y datos de percepción remota.
- . Delimitación de posibles materiales alterados hidrotermalmente presentes en el área de estudio y sus alrededores mediante Técnica de Crosta.
- . Generación de distintos índices de vegetación, estudio de cambios y su relación con posibles efectos de erosión de ladera e inundación.

## V. MARCO METODOLÓGICO

### Materiales

Los materiales que se utilizarán en el proyecto de Tesis son los siguientes:

- Imágenes TM, y ETM+ del satélite Landsat
- Imagen ALI correspondiente al año 2004
- Imagen ASTER de 2004
- Librerías de firmas espectrales del USGS y otras
- Cartografía vectorial y modelos digitales del terreno de 30 m de paso de malla.

### Métodos

#### Tratamiento Digital de Imágenes y Verificación de Campo

##### Caracterización de Alteración Hidrotermal del Suelo

El método para la caracterización de alteraciones hidrotermales del suelo por técnicas de teledetección, consiste en un análisis de componentes principales (PCA) selectivos aplicados para la cartografía de óxido de hierro y minerales arcillosos. Estos materiales están directamente relacionados con varios tipos de alteración hidrotermal tales como alteraciones potásicas, filíticas y propilíticas (Bragado, E., Rejas, J.G., Marchamalo M. and Martínez, R. 2008).

#### Análisis de Componentes Principales (Técnica de Crosta)

La PCA es una poderosa técnica que puede utilizarse para los efectos de la supresión de la irradiancia que dominan todas las bandas, resaltando las características de reflectancia espectral de materiales geológicos. PCA se puede aplicar a conjuntos de datos multivariantes, como las imágenes multispectrales de teledetección, con el fin de obtener respuestas espectrales concretas, como en el caso de minerales de alteración hidrotermal.

##### Detección y Delimitación de Alteraciones

Una simple máscara para re-codificar solo las áreas alteradas, identificadas en las imágenes procesadas.

##### Dinámica de Cambio del Suelo

La clasificación por cobertura y uso del suelo (CUS), se pretende desarrollar utilizando el método de clasificación supervisada de máxima probabilidad. Método deductivo que muestra encontrar una correlación entre los números digitales de las imágenes satelitales (preferiblemente radiancia espectral) y las diferentes clases de cobertura de uso del suelo (Corrales, 2004).

##### Clasificación por Cobertura y Uso del Suelo.

Este método se presenta en tres etapas a saber:

Etapa Pre-Entrenamiento. en donde se comenzará con el diseño y estructura del Sistema de Información Geográfica (SIG) y Sistema de Clasificación de la cobertura y uso del suelo (Leyenda), entendiendo Cobertura de la tierra como el recubrimiento o cubierta biofísica que se observa sobre la superficie terrestre. Incluye la vegetación y elementos antrópicos, así como roca, suelo desnudos y cuerpos de agua y Uso de la tierra, como, actividades que el hombre emprende en un cierto tipo de cobertura de la tierra para producir, cambiarla o mantenerla. Establece una relación directa entre la cobertura de la tierra y las acciones del hombre en su medio ambiente (Petroglia, C., Acosta & Sergio Lara. 2008).

La Etapa de Entrenamiento consiste en seleccionar las firmas espectrales para entrenar las clases propuestas, o las clases encontradas en las imágenes y se divide en Selección de las muestras y su Evaluación de las muestras. Y finalmente la Etapa de Clasificación, que es la asignación de píxeles de la imagen entre las categorías definidas originalmente en la leyenda a través de las áreas de entrenamiento, por lo que se proponen dos procesos: la Clasificación Supervisada, como criterio paramétrico de máxima probabilidad, y Evaluación de la misma, donde se comprueba su error o la fiabilidad de los resultados de dicha clasificación (F. J. Salas, E. Chuvieco. 1995).

## VI. RESULTADOS

Los datos resultados de la clasificación por cobertura y uso del suelo son los siguientes:

Bosque Latifoliado: Predominio de árboles de hoja ancha, altura de la cobertura variable según la topografía y suelo, lo que favorece que los árboles alcancen una altura de 40 m. Especies predominantes: liquidámbar (*Liquidambar sp*), roble o encino (*Quercus sp*), aguacatillo (*Persea sp*), guayabillo (*Ficus*), varias especies de moraceas y helechos, en general los árboles poseen una altura de 15 a 60 m. según su edad.

Bosque Mixto: Los remanentes modificados del bosque original pueden presentar árboles dominantes con altura de hasta 25 a 30 metros; constituido principalmente por especies de Pino y Roble, acompañadas por árboles de Nance, Acacias, Guayabas, entre otras.

Bosque de Pino: Constituido por diferentes especies de pino ubicadas en el centro y oeste del país. Estas especies cambian según la altitud. Generalmente cubren suelos no agrícolas, su heterogeneidad es debido a su madurez y al porcentaje de mezcla con otras coberturas. Las especies más frecuentes son: *Pinus maximinoii*, *P. oocarpa* y *P. pseudostrobus*

Bosque seco: Constituido por especies arbustales deciduas latifoliadas, donde podemos encontrar algunas leguminosas como el carbón, se encuentra ubicado en las zonas poca altura (entre los 600 – 1000 m.) y con pendientes suaves.

Matorral: Cobertura que generalmente se encuentra en los bordes de los bosques, en donde ha ocurrido algún tipo de intervención, las especies con frecuencia son una mezcla de arbustos rudimentarios así con especies del bosque original.

Pastizal: Cobertura constituida principalmente y casi de forma exclusiva por pastos de 1 a 2 m de alto. Este puede ser verde o seco, según la estación climática.

Cultivo: Esta cobertura puede definirse como tierra utilizada para la producción de alimentos y granos. Pueden ser zonas con cultivos a gran escala en suelos planos o con poca pendiente, generalmente cerca de los ríos y con sistema de riego permanente, o incluir áreas cultivadas en zonas de laderas sin mucha mecanización, con variedad de cultivos.

Suelo labrado: Son áreas preparadas para el cultivo, de siembra reciente, o que han quedado expuestas después de la cosecha.

Suelo desnudo: Se incluye todas las áreas desprovistas de cobertura, como playas de río, zonas de deslizamiento o zonas degradadas por efecto de la agricultura o la escorrentía.

Río: Cuerpo de agua que recorre las montañas, valles y desemboca en el mar. Generalmente se tomaron en cuenta ríos de cauce mayor de 10 m de ancho, identificables digital y visualmente, que siguen patrones lineales sinuosos y muchas veces son respuesta de la combinación de la cobertura vegetal asociada a los márgenes.

Suelo quemado: Esta clase incluye áreas afectadas por los incendios y/o que se encuentran en recuperación, con rastros de ceniza en la cobertura vegetal.

Humo: Esta categoría identifica aquellas áreas que al momento de adquirir la imagen, estaban siendo afectadas por el fuego.

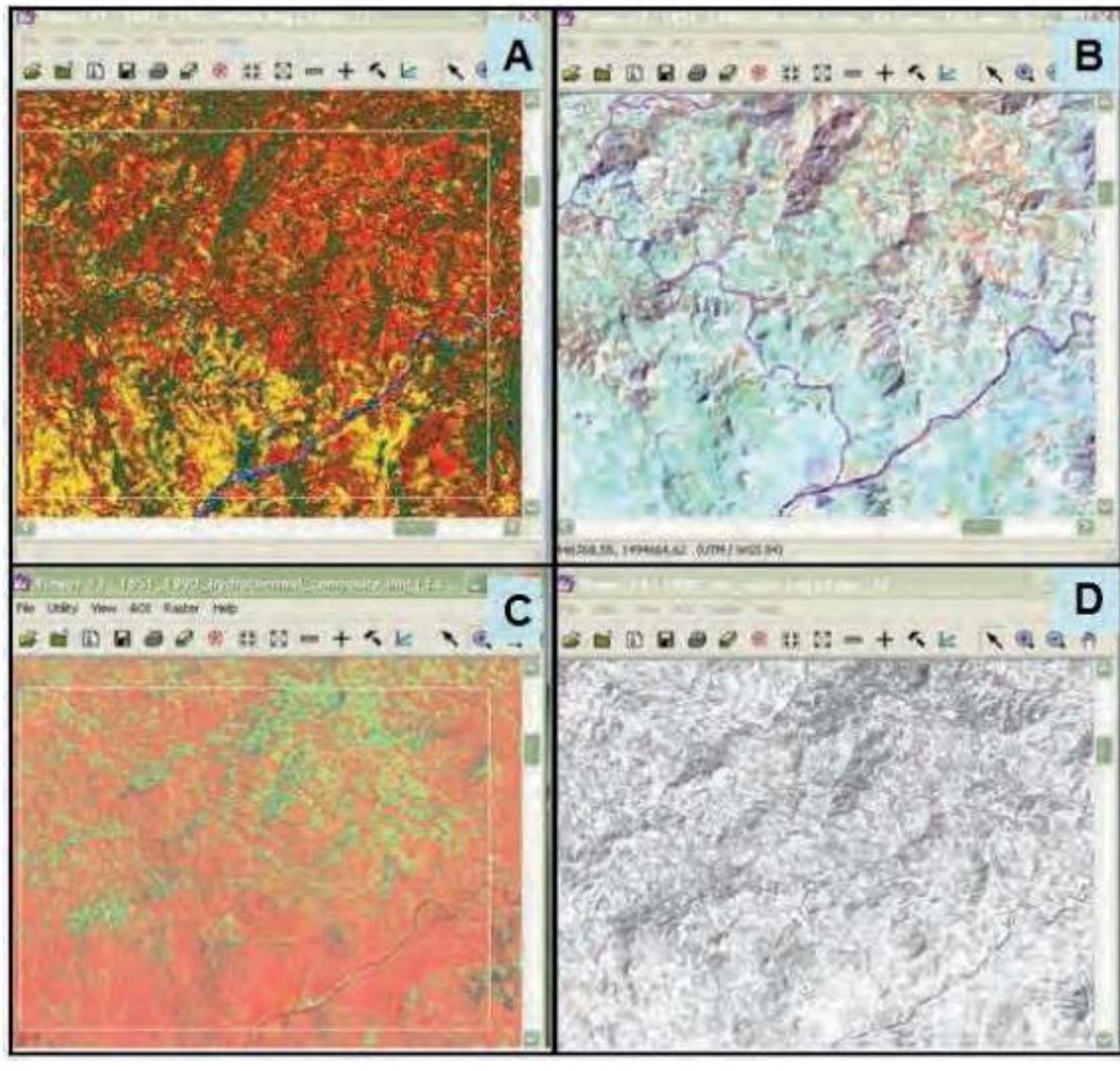
Urbano: Incluye áreas pobladas, como cabeceras municipales, pueblos y aldeas grandes, siendo la ciudad de Santa Rosa de Copán y otras comunidades las que digital y visualmente se observan.

Nube: Acumulación atmosférica de vapor de agua.

Sombras: Ausencia de reflectancia causada por nubes y montañas.

Bosque de Manglar: Son áreas de vegetación arbustal salobres, se encuentra como barrera de playas.

Las áreas donde coinciden los óxidos de hierro se concentran en las coberturas de suelo desnudo, matorrales y pastizales. En la Figura 1, se muestra un sector del área de estudio donde se observan cuatro imágenes: A) Muestra la clasificación por cobertura y uso del suelo, donde nos enfocaremos en los colores Rojo y Amarillo correspondientes a suelo desnudo y pastizales respectivamente; B) Imagen sin clasificación del mismo sector; C) Imagen Composición Hidrotermal, en donde en color rojo se muestran los cocientes que destacan los óxidos de hierro, las que se comprobaron en la imagen D) Cociente de Banda 3/ Banda 1, en escala de grises donde las zonas claras son las correspondientes a las áreas rojas de la imagen de composición hidrotermales.

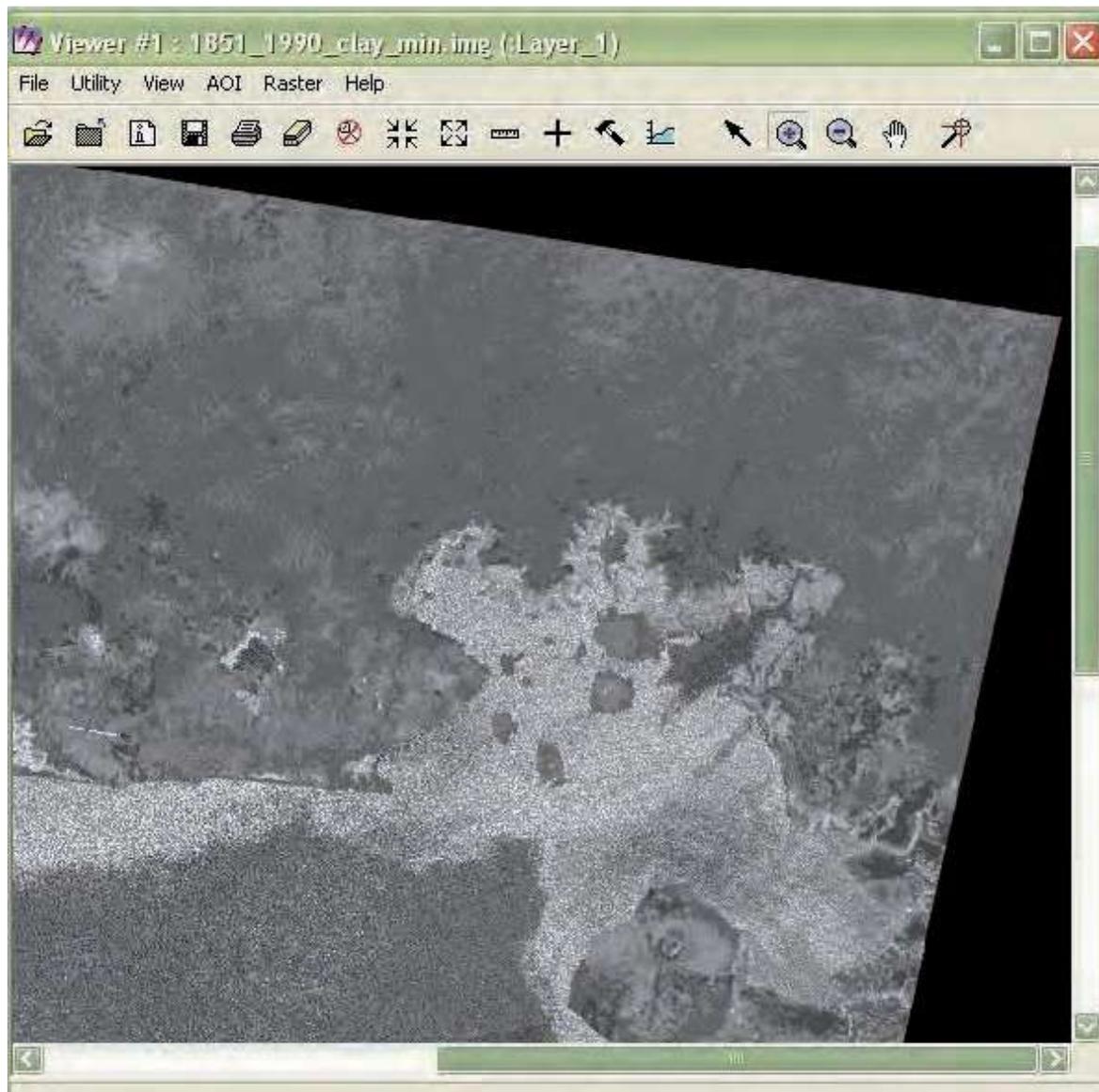


**FIGURA 1.** Imágenes Landsat p18r51 de 1990, de la zona del Valle de Choluteca, A) Clasificación; B) Imagen cruda; C) Composición hidrotermal y D) Imagen de Óxidos de Hierro. Elaboración propia.

Con respecto a los contenidos de Arcillas se utilizó el cociente o Índice de Clay Minerals, calculado banda 5/7, Infrarrojo medio entre Infrarrojo lejano o térmico. Para el Landsat TM. Los minerales de arcilla son filosilicatos de aluminio hidratados, a veces con cantidades variables de hierro, magnesio, metales alcalinos, tierras alcalinas y otros cationes. Las arcillas tienen estructuras similares a las micas y se forman láminas planas hexagonales. Los minerales de arcilla son productos comunes intemperie (incluyendo alteración de feldespato) y baja temperatura de los productos de alteración hidrotermal. Los minerales de la arcilla son muy comu-

nes en las rocas sedimentarias de grano fino tales como pizarras, esquistos arcillosos y sedimentos y en fin pizarra metamórfica de grano y filitas, ver Figura 2.

La cartografía muestra las diferentes alteraciones hidrotermales, caracterizadas por minerales arcillas y óxidos de hierro, tal como lo podemos observar en la Figura 3, o tal como podemos verlo a través del método Crosta de 6 bandas para ambas características o de 4 bandas para cada una de las alteraciones características, es decir Arcillas (Hidroxiolos) y Óxidos de Hierro (Ver Figura 4).



**FIGURA 2.** Imágenes LandSat p18r51 de 1990, de la zona del Valle de Choluteca, con contenido de arcillas en tono mas claro. Elaboración propia.

La cartografía muestra las diferentes alteraciones hidrotermales, caracterizadas por minerales arcillas y óxidos de hierro, tal como lo podemos observar en la Figura 3, o tal como podemos verlo a través del método Crosta de 6 bandas para ambas características o de 4 bandas para cada una de las alteraciones características, es decir Arcillas (Hidroxilos) y Óxidos de Hierro (Ver Figura 4).

## Mapa de Alteraciones Hidrotermales Valle de Choluteca



Imagen H

Imagen H+O

Imagen O

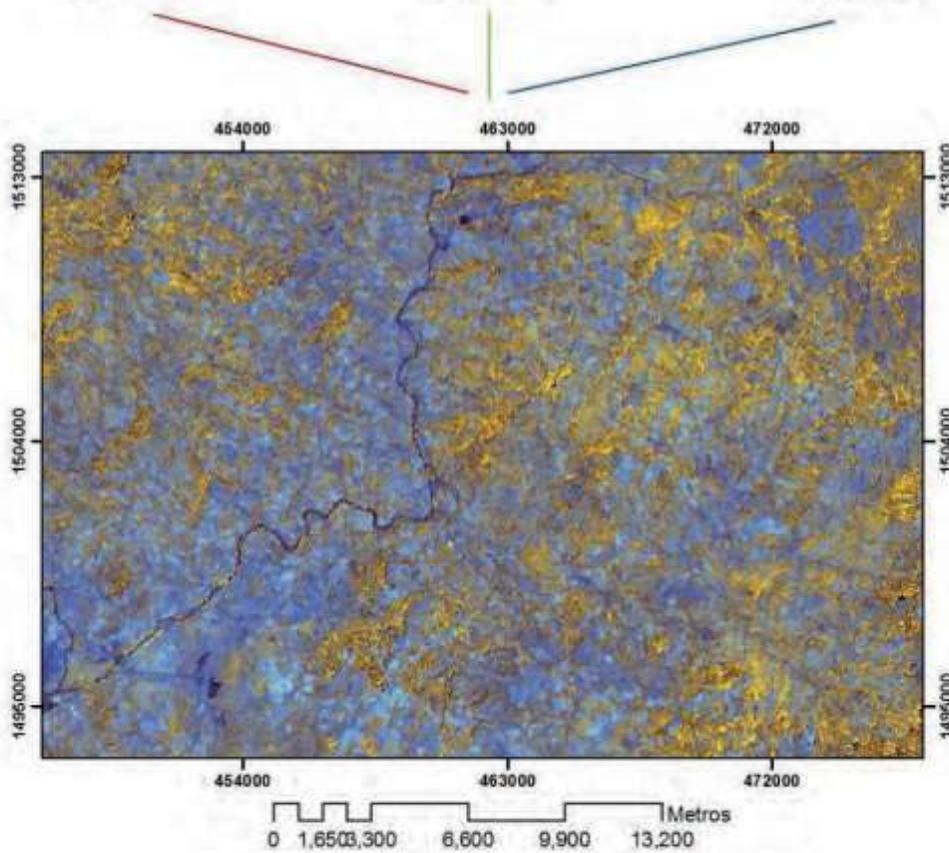
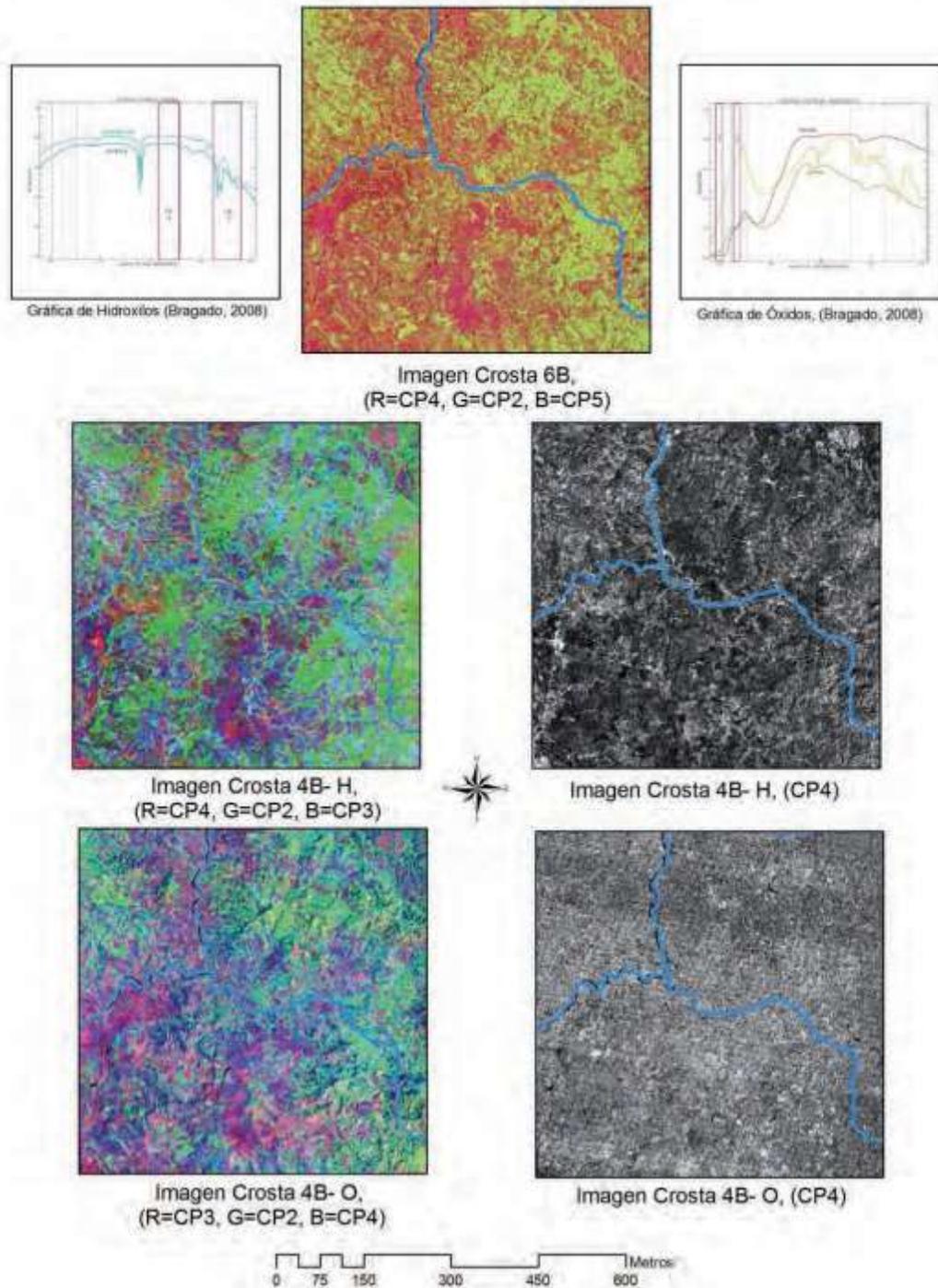


Imagen R= H, G= H+O, B= O

La imagen de Hidroxilos (H) se calculo a través del cociente de las bandas 5/7, La imagen de Oxidos (O) se calculo con el cociente entre las bandas 3/1, para representar la imagen en color se sumaron las imagenes H y O, la combinación de bandas se represento como RGB, en imagen H, H+O y O, respectivamente.

**FIGURA 3.** Mapa de Alteraciones Hidrotermales, visualización en combinación en tres bandas, Arcillas (Rojo), Arcillas-Óxidos (Verde), Óxidos de Hierro (Azul).

## Mapa de Alteraciones Hidrotermales, Método Crosta 6 Bandas y de 4 Bandas para Hidroxilos y Óxidos de Hierro



**FIGURA 4.** Alteraciones Hidrotermales del Valle de Choluteca, a través del método Crosta con seis (6) y cuatro (4) bandas no térmicas del sensor LandSat.

## VII. CONCLUSIONES

El interés de la detección de posible actividad de alteración en laderas y lugares expuestos se debe a que la acción hidrotermal junto con la meteorización puede favorecer deslizamientos en un terreno ya de por sí proclive a sufrir este tipo de fenómeno, lo cual entraña en sí mismo un riesgo potencial para los núcleos de población y lugares de valor patrimonial del área.

La mayor parte de estudios de alteraciones hidrotermales se han realizado en zonas desprovistas de vegetación. En este caso, resulta de especial interés el estudio de las diferentes coberturas vegetales pero será esencial incluir y su dinámica temporal, ya que puede aportar datos significativos sobre su efecto en la técnica y sobre investigaciones similares que se desarrollen en zonas tropicales.

Para completar una línea completa de investigación, es necesario incluir la espectrometría de campo y poder comparar los datos encontrados en las imágenes y los de campo, y de esta manera tener una librería de firmas espectrales.

El proyecto permitirá avanzar en el desarrollo de las metodologías de percepción remota dentro del marco general del proyecto conjunto de investigación PCIA/019450/08 de título “Desarrollo en nuevas tecnologías para la protección y preservación del patrimonio cultural y hábitats humanos en Honduras”.

Todos estos datos son objeto de cartografiar vectorialmente, lo que puede facilitar la construcción de un SIG, que permita incluir los sitios de yacimientos arqueológicos y de yacimientos mineros, los cuales abren una nueva brecha en estudios tanto arqueológicos culturales, como de ordenamiento territorial.

También será importante realizar una comparación de resultados con diferentes formatos de imágenes, entre multitemporales e hiperespectrales, en los diferentes métodos antes mencionados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bragado, E., Rejas, J.G., Marchamalo M. and Martínez, R. 2008. Characterization of hydrothermally altered materials in the Central Volcanic Range, Costa Rica, using TM data. PROCEEDINGS OF THE REMOTE SENSING AND PHOTOGRAMMETRY SOCIETY CONFERENCE 2008 “Measuring change in the Earth system”. University of Exeter.
- Corrales, R., 2004. Caracterización y Detección de cambios en 14 Áreas Protegidas de Honduras, a partir del Estudio de Datos Geoespaciales. Trabajo de Tesis previa opción a Licenciatura, en Biología. UNAH.
- Crosta, et al. 2003. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. International Journal of Remote Sensing. VOL. 24, NO. 21, 4233–4240.
- F.J. Salas, E. Chuvieco. 1995. Aplicación de Imágenes LandSat-TM en la Cartografía de Modelos Combustibles. Revista de Teledetección.
- Kozuch, M., 1991. Mapa Geológico de Honduras. Instituto Geográfico Nacional de Honduras.
- MaksaeV V., 2003. GL 54 A. Metalogénesis. Capítulo 8. Alteraciones Hidrotermales. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Departamento de Geología. <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaeV/metalogenesis.html>.
- Petroglia, C., Acosta & Sergio Lara. 2008. Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra, FOA.
- Sader, E., D., Hayes, D. Irwin, S., Saatchi. 2001. Preliminary Forest Cover Change Estimates for Central America (1990's), with reference to the proposed Mesoamerican Biological Corridor. 11p.