

# **Explorando filtraciones de petróleo “en tierra” con imágenes hiperespectrales**

**Documentación cortesía de:**

**J.A. Zamudio (referenciado a continuación)**

**J.M. Ellis**

**H.H. Davis**

Los exploradores que estén evaluando terreno remoto pueden ahora considerar usar imágenes aéreas hiperespectrales para detectar filtraciones de petróleo en tierra. Con anterioridad a esta nueva tecnología, la resolución espacial y espectral de los sensores era demasiado limitada para la detección exitosa de filtraciones de petróleo en tierra.

Un proyecto cooperativo de investigación y desarrollo facilitado por The Geosat Committee Inc. documentó las características espectrales de las filtraciones y de los suelos asociados impactados por el petróleo y construyó una biblioteca espectral para posibilitar el desplazamiento de la aplicación a otras áreas geográficas. Esta biblioteca espectral enfocada al petróleo puede haber sido la primera de su tipo en el sector comercial e incluye rubricas con cantidades variables de petróleo, brea, vegetación, suelos y roca.

Esta biblioteca puede ser usada con otros sensores manuales, aéreos y satelitales para apoyar las aplicaciones exploradoras y ambientales. La experiencia ganada y esta biblioteca respaldan el uso de detección remota hiperespectral para detectar las filtraciones de petróleo en tierra y de los suelos impactados por petróleo globalmente.

## **Visión General Hiperespectral**

Las imágenes hiperespectrales aéreas son usadas para mapear diferentes materiales en la superficie de la tierra basadas en sus características espectrales.

Los sensores hiperespectrales miden la intensidad de la energía solar reflejada de materiales a lo largo de cientos de longitudes de onda. Pueden registrar luz visible (compuesta de longitudes de onda relativamente cortas – azules, verdes y rojas) así como de luz infrarroja más larga, cuasi infrarroja y infrarroja de onda corta.

La luz reflejada es recolectada en elementos fotográficos (píxeles) volando un sensor de imágenes sobre el terreno. La luz reflejada visible e infrarroja es subdividida en bandas discretas de longitud de onda de 100 a 200, 300+ dentro de cada píxel o visión de campo instantánea (IFOV). Este número grande de bandas espectrales es la base del nombre “hiperespectral”, el cual difiere de los sensores multi-espectrales que tienen un manajo de bandas espectrales.<sup>1</sup>

La cantidad de energía registrada por el sensor hiperespectral dentro de cada píxel varía a lo largo del espectro de longitud de onda porque los diferentes materiales en la superficie de la tierra desperdigan o absorben la energía solar en cantidades variables, basados en las propiedades y la composición física de los materiales. Los sensores hiperespectrales son únicos en el sentido que tienen suficiente resolución espectral para identificar los diferentes materiales de superficie basados solamente en las rúbricas espectrales.

De manera de correlacionar las rúbricas espectrales con materiales específicos, los científicos obtienen muestras “puras” del material y recolectan mediciones de luz reflejada altamente precisa en el laboratorio o en el campo, usando un espectrómetro portátil. Las mediciones permiten que se construyan bibliotecas espectrales conteniendo varias rúbricas hiperespectrales que han sido positivamente identificadas con materiales específicos de la superficie de la tierra. Las bibliotecas espectrales han sido construidas para numerosos minerales, plantas y materiales hechos por el hombre.

## **Investigación y Desarrollo Cooperativo**

Un estudio cooperativo de investigación y desarrollo fue iniciado por HJW Geospatial Inc. (HJW) y The Geosat Committee Inc. (Geosat) en el año 2000.

Este estudio fue diseñado para medir con tecnología hiperespectral terrestre y aérea diferentes materiales asociados con filtraciones de petróleo en tierra y suelos impactados por el petróleo en el sur de California.<sup>2</sup> Los objetivos primarios del estudio fueron para desarrollar una comprensión de las características espectrales de los suelos impactados por el petróleo y las filtraciones<sup>3</sup> y para construir una biblioteca espectral que hiciera el proceso de detección más rápido y rúbricas confiables.



[Click here to enlarge image](#)

*Visión general del área de estudio del sur de California con tres campos usada para desarrollar la biblioteca espectral de filtraciones de petróleo. Desde la izquierda, los sitios son More Mesa, Sulphur Mountain y Osborne (Fig. 1).*

Chevron, Royal Dutch/Shell y ExxonMobil auspiciaron el estudio y proporcionaron retroalimentación y guía clave para el esfuerzo de investigación. Las imágenes hiperespectrales aéreas fueron adquiridas por Earth Search Sciences Inc. (ESSI) durante una sesión fotográfica de grupo en 1988 sobre el área de Santa Bárbara, Calif. (Fig.1).



*El sensor hiperespectral aéreo de ESSI Probe-1 usado en este estudio es capaz de registrar luz reflejada que se vuelve visible a través de longitudes de onda corta-infrarrojos en 128 canales o bandas (Fig. 2)*

ESSI usó un muy sofisticado sensor aéreo construido por Integrated Spectronics que registra energía de luz reflejada a través de un tramo de -2200 nm desde lo visible y cercano a infrarrojo a través de ondas infrarrojas cortas longitudes de onda (VNIR-SWIR, ver Fig. 2). El sensor (designado Probe-1 por ESSI) divide el tramo de -2200 en 128 intervalos o bandas de longitud de onda.

Los datos hiperespectrales, recolectados por la tecnología de scanner de línea, fueron adquiridos como tiras de vuelo con una distancia de muestreo terrestre (gsd) de 5 m. El instrumento recolecta datos en una dirección contra-curso mediante escaneo mecánico y en dirección a favor de curso mediante el movimiento hacia delante de la aeronave. Cada tira de vuelo cubre 2.5 Km. de ancho y 25 Km. de largo. Cada tira de vuelo con sus 128 bandas o capas de datos puede ser considerada un “cubo de datos” hiperespectral.

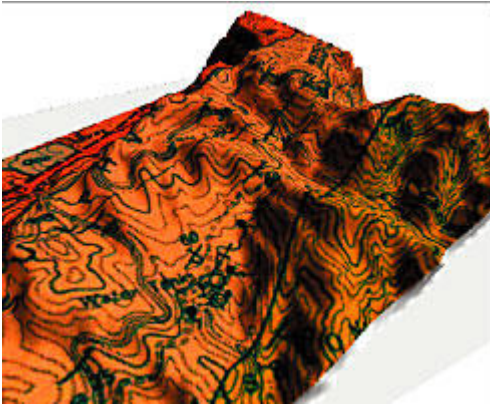


*Vistas de perspectivas equiparadas de imágenes hiperespectrales y el mapa de la Dibblee Geologic Foundation mostrando las filtraciones de petróleo mapeadas de Dibblee. Ver símbolos de renacuajo en el mapa (Fig. 3).*

La sesión fotográfica grupal de 1998 fue organizada por Geosat y respaldada por estos mismos auspiciadores. Fue durante esta sesión de fotos que HJW descubrió evidencias que las rúbricas hiperespectrales únicas podían ser asociadas con filtraciones de petróleo mapeadas por Thomas Dibblee (Fig. 3). Sin embargo, no hubo verificación de campo de los hallazgos hasta el estudio del 2000 cuando HJW envió cuadrillas de trabajadores a las áreas de interés con un espectrómetro portátil, un programa de mapeo detallado y un receptor GPS.

## Encontrando una filtración de petróleo

El estudio del 2000 se enfocó en mediciones con el espectrómetro portátil de campo en tres sitios: More Mesa, Sulphur Mountain y Osborne (Fig. 1). Adicionalmente, los cubos de datos aéreos Probe-1 fueron reevaluados usando las nuevas observaciones y mediciones de campo.



Los lugares en el campo fueron determinados por Pat Caldwell de HJW basado en la experiencia de campo. Las publicaciones de Estado de California Mines and Geology (especialmente la contribución de Hodgson de 1987) y de la Dibblee Geologic Foundation (<http://dibblee.geol.ucsb.edu/>). Los mapas geológicos de Dibblee, junto con las imágenes hiperspectrales, estaban sobrepuestos sobre los Modelos de Elevación Digital USGS (DEMs) para facilitar la ubicación de las “filtraciones de petróleo de Dibblee” en las tiras de vuelo (Fig. 3).



*Usando un sensor hiperspectral portátil para recolectar rúbricas espectrales en los depósitos de filtraciones de petróleo de Dibblee (izquierda) con una vista terrenal del mismo depósito mostrando un roble parcialmente muerto (derecha) hacia abajo en la ladera (Fig. 4).*

HJW envió una cuadrilla experimentada al campo en agosto del 2000 con el espectrómetro de campo y un receptor GPS para confirmar que las rúbricas espectrales aéreas encontradas durante el estudio de 1988 fueron causadas directamente por filtraciones de petróleo y los suelos impactados por el petróleo (Fig. 4).



HJW descubrió que un depósito muy grande de breca caracterizó la “filtración primaria de petróleo de Dibblee” en Sulphur Mountain.

Adicionalmente, hubo numerosas filtraciones de petróleo activas a lo largo del flanco del anticline. Hubo áreas en o cerca del depósito donde la vegetación parecía afectada, pero también hubo áreas donde la vegetación parecía vigorosa. Observaciones botánicas fueron recolectadas junto con muestras de la filtración.

HJW descubrió que un depósito muy grande de breca caracterizó la “filtración primaria de petróleo de Dibblee” en Sulphur Mountain.

Adicionalmente, hubo numerosas filtraciones de

[Click here to enlarge image](#)  
 petróleo activas a lo largo del flanco del anticline. Hubo áreas en o cerca del depósito donde la vegetación parecía afectada, pero también hubo áreas donde la vegetación parecía vigorosa. Observaciones botánicas fueron recolectadas junto con muestras de la filtración.

### Caracterizando una filtración de petróleo

Un espectrómetro Analytical Spectral Devices (ASD) capaz de medir una respuesta espectral VNIR-SWIR fue usado para caracterizar espectralmente las filtraciones de petróleo.

**PORTION OF HYPERSPECTRAL LIBRARY\***

ID no.	Material, %	Description	ASD no.	X Coordinate	Y Coordinate
401	Tar 100	Large semismooth knob of seep above or at extent of	000-006	241693.905	3811728.597
402	Tar 50, Geo 50	Overview of tar/oil mix	040-045	241693.905	3811728.597
403	Tar 50, Geo 50	Mixed pixels of tar and dry sand	040-050	241693.905	3811728.597
404	Geo 100	Overview of sand	051-054	241693.905	3811728.597
405	Geo 100	Dry sand on beach adjacent to seep	076-080	241693.905	3811728.597
406	Tar 90, Geo 10	Overview of tar/oil (SQ70)	018-021	241693.905	3811728.597
407	Tar 50, Geo 50	Overview of tar and rock mix (SQ50)	022-025	241693.905	3811728.597
408	Tar 50, Geo 50	Soil and weathered Monterey formation with tar	007-011	241693.905	3811728.597
409	Geo 90, Tar 10	Tar stained or discolored Monterey formation	012-017	241693.905	3811728.597
410	Geo 100	Exposed Monterey formation at sea cliff (west of seep)	081-085	241693.905	3811728.597
411	Tar 50, Geo 50	Stratified layers of tar and soil	026-028	241693.905	3811728.597
412	Geo 100	Soil/sand on terrace adjacent to seep	059-061	241693.905	3811728.597
413	Geo 100	Wet sand	062-064	241693.905	3811728.597
414	Geo 100	Overview of ocean, beyond surf	037-039	241693.905	3811728.597
415	Weg 100	Eucalyptus tree (adjacent to seep)	065-067	241693.905	3811728.597
416	Weg 100	Ice plant	056-058	241693.905	3811728.597
417	Weg 100	Kelp	073-075	241693.905	3811728.597

\*Shows percent of different material in the handheld spectrometer's field of view.

Un programa de medición sistemática fue diseñado para el espectrómetro manual con el fin de determinar el efecto que las diferentes mezclas tenían en el hiperespectral. La cuadrilla de campo pudo medir cuidadosamente las superficies de terreno que estaban compuestas de un único material o alguna mezcla de materiales usando el dispositivo manual. En particular, áreas discretas que tenían petróleo líquido o breca asociados con diferentes cantidades de vegetación o tierra

[Click here to enlarge image](#)

fueron medidos (Tabla 1).

Estos datos fueron procesados para determinar las características espectrales de diferentes mezclas y también la diferencia entre los sitios impactados y los no impactados.

Estas mediciones de terreno fueron usadas para comprender mejor las rúbricas espectrales que estaban siendo registradas dentro de los píxeles aéreos que cubren 25 m cuadrados. El desarrollar una comprensión del efecto de las mezclas sobre las rúbricas espectrales es esencial para interpretar debidamente los píxeles aéreos ya que muy raramente éstos están compuestos de un solo material. Adicionalmente, estas mediciones de terreno controladas fueron usadas para construir la biblioteca espectral, tan esencial para desplazar la tecnología aérea y satelital con confianza a otro lugar.

Los espectros de campo recolectados con el ASD, lecturas de GPS, descripciones de campo y muestras fueron entonces compilados y evaluados. Las rúbricas espectrales tanto de los datos terrestres como los aéreos para materiales similares fueron consistentes. El sensor exitosamente detectó la señal de las superficies impactadas por el petróleo.

La investigación de HJW indica que el espectro total visible a través de luz infrarroja de onda corta (VNIR-SWIR) necesita ser cuidadosamente analizado para diferenciar los píxeles impactados por el petróleo de aquellos que no fueron impactados. Nuevos procesos de trabajo fueron desarrollados por los analistas de HJW con software de procesamiento de imágenes ENVI para exitosamente extraer esta sutil señal del cubo de datos.

Para comprender mejor los sitios, “desmezclaron” las rúbricas de los materiales que ocurren dentro de un píxel, permitiendo la identificación de materiales individuales así como proporcionando información sobre su relativa abundancia.

Las propiedades físicas y la composición de los suelos que fueron impactados por el petróleo, comparados con suelos que no fueron impactados fueron suficientemente diferentes para permitir la diferenciación de estas áreas por este sofisticado sensor aéreo. Las bandas angostas y el alto ratio de señal-a-ruido del sensor posibilitan esta diferenciación. Sin embargo, el sensor sólo puede detectar estas diferencias si el material con base en hidrocarburos no está excesivamente disfrazado o demasiado sutil.

### **Construyendo una biblioteca espectral**

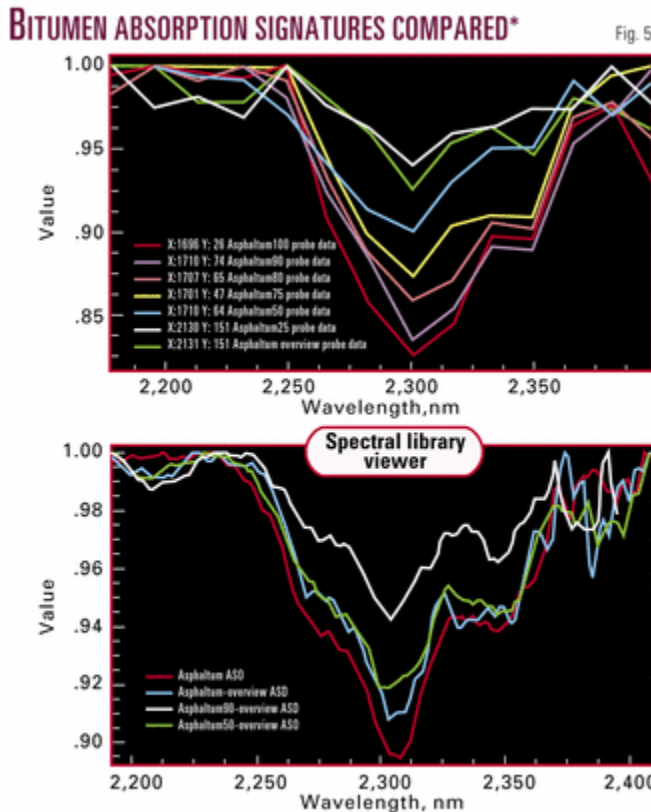
Los sensores hiperespectrales son únicos dado que tienen suficiente resolución espectral para identificar materiales de superficie individuales basados solamente en rúbricas espectrales.

En cada uno de los sitios de campo en este estudio, numerosos espectros fueron recolectados de diferentes materiales (Tabla 1). Estas rúbricas espectrales individuales fueron archivadas en formato ENVI y ASCII e integradas a un sistema de información geográfica (GIS) con coordenadas del sistema de posicionamiento global (GPS), fotografías de suelos, observaciones de campo y datos auxiliares.

Para construir una biblioteca robusta, se necesitaba de una tecnología GPS efectiva en costos que asegurara una precisión de 1 a 5 m para los sitios de campo. Tal nivel de precisión posibilitaría que otros investigadores vuelvan a visitar la filtración de petróleo, el surgimiento o el área de suelo impactado en el futuro. También proporcionaría un nivel constante de precisión de ubicación para los espectros, las muestras y las fotografías de suelo en nuestro GIS.

Adicionalmente, estos puntos de control de suelo deben ser usados para mejorar la geo-rectificación de las imágenes hiperespectrales. Para lograr la precisión de 1 a 5 m, usamos un receptor GPS manual de última generación, un receptor GPS de precio módico y datos GPS post-procesados con código de fase. El programa de planeamiento en línea de Trimble, SatView, fue usado para determinar la disponibilidad satelital y la fuerza esperada de la señal para los días que la cuadrilla estaba en el campo. .

Si bien es cierto que usamos exitosamente el espectrómetro portátil en nuestro programa de campo para adquirir rúbricas espectrales de superficies cubiertas 100% con petróleo y brea, no pudimos hallar píxeles puros en las imágenes aéreas de estos sitios de campo.



\*Comparison is at wavelength of ~2,300 nm. "Asphaltum" or tar/asphalt within the airborne pixel and field FOV% ranges between 25% and 100%.

Fig. 5 Dada la importancia de entender cómo el sensor aéreo registra las cantidades variables de brea, analizamos sistemáticamente una pista de aterrizaje que había sido recientemente repavimentada con brea-asfalto frescos. Escogimos píxeles dentro de esta pista que estaban visualmente compuestos de cantidades variables de brea (de 25% a 100%) y comparamos esta graduación con los datos de campo ASD (Fig. 5).

Para los fines de este artículo nos enfocamos sólo en la característica de absorción "bitumen" documentada que ocurre a -2300 nm. La profundidad de esta característica de absorción se correlaciona muy bien con la cantidad de bitumen (o brea y asfalto) en el IFOV de campo y el píxel aéreo (Fig. 5). La similitud entre los más gruesos espectros aéreos y los datos de campo es impactante y respalda más aún el usar sensores sofisticados VNIR-SWIR para el mapeo aéreo de las superficies impactadas por el petróleo.

La biblioteca espectral tiene que ser usada apropiadamente para una detección confiable de las superficies impactadas por el petróleo.

Adicionalmente, los analistas necesitan entender

las condiciones ambientales en las cuales la biblioteca está siendo aplicada. Algunos temas que deben ser considerados incluyen:

- Utilizar sólo la característica de absorción bitumen (Fig. 5) como la única base para la detección no es confiable. Varias zonas del rango de longitud de onda del VNIR-SWIR necesitan ser evaluadas cuando se determina la probabilidad que un píxel haya sido impactado por petróleo.
- El usar sitios de entrenamiento local con materiales conocidos en la superficie mejora el nivel de confianza para detectar superficies impactadas por petróleo.
- Otros investigadores han notado que una característica de diagnóstico ocurre a 1703 nm. Sin embargo, esto está muy cerca de una característica principal de absorción de agua que atenúa gran parte de la señal.
- La calcita y la dolomita tienen una característica de absorción pronunciada en el mismo rango de longitud de onda que el bitumen. Sin embargo, las formas de las características son diferentes y deben de ser diferenciadas.
- Los sensores despliegan algunas diferencias de calibración cuando son comparados unos con otros. La Fig. 5 despliega la ligera compensación entre la característica de absorción bitumen

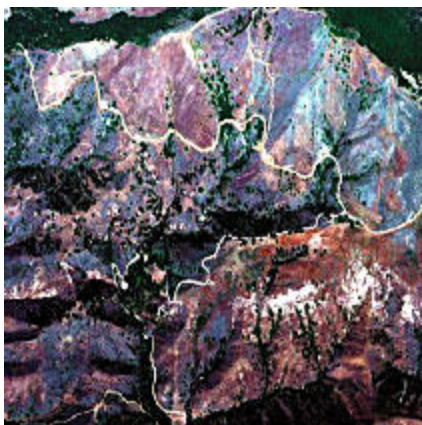
[Click here to enlarge image](#)

registrada por el espectrómetro manual ASD y el sensor aéreo Probe-1. Esta diferencia debe ser comprendida e integrada al análisis.

- Muchos materiales en nuestra sociedad pueden tener hidrocarburos como bases, incluyendo las carreteras, los estacionamientos y los techos. Los plásticos y las manchas de petróleo en las superficies pueden causar confusión. Dependiendo de las metas del estudio, estos materiales deben ser identificados y eliminados de la interpretación.
- Los sitios impactados por el petróleo en tierra rara vez son aparentes en las varias combinaciones de color de las bandas originales o las comprimidas espectralmente.
- Los píxeles con superficies impactadas por el petróleo están usualmente mezcladas con otros materiales y tienen una señal débil. Raramente se muestran como píxeles “endmember” puros, minimizando el valor y confiabilidad de algunos de los algoritmos de procesamiento más automatizados.
- Cuanta mayor experiencia tienen los analistas en el procesamiento de la señal sutil basada en hidrocarburos, más confiable será la interpretación.

### **Explorando otras filtraciones de petróleo**

La rúbrica espectral obtenida de la filtración Dibblee primaria (Fig. 4) fue extrapolada a lo largo del terreno circundante (ver Fig. 6) para determinar si otras filtraciones podían ser detectadas. Esta extrapolación conservadora detectó exitosamente numerosas pequeñas filtraciones/suelos impactados por el petróleo lejos de la filtración principal.

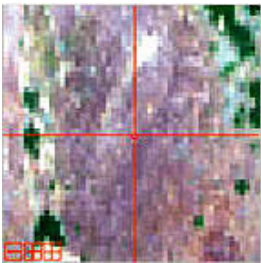


*Extrapolación de la técnica más allá del área de filtración Dibblee. La esquina superior izquierda muestra área no procesada, la superior derecha muestra escenas procesadas con píxeles clasificados como teniendo filtraciones de petróleo y suelos impactados en rojo. Las esquinas inferiores izquierda y derecha son acercamientos (Fig. 7).*

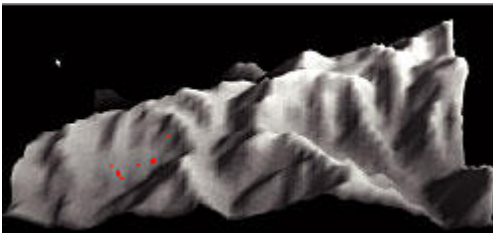
Un área de aproximadamente 20 km. al este de la filtración Dibblee primaria fue analizada también (Fig. 7). Esta extrapolación claramente muestra que la técnica mapea las filtraciones y las manchas de petróleo significativas en varias áreas. La verificación de campo de la interpretación es recomendada con los resultados siendo usados para mejorar el procesamiento para la generación de un mapa más confiable. La ubicación de estos sitios impactados debe ser integrada con la estructura superficial y sub-superficial y estratigrafía y los mapas actuales e históricos de campos petroleros y la topografía para comprender mejor el significado exploratorio de estas filtraciones de petróleo/suelos impactados por petróleo.



El integrar los patrones de filtraciones de petróleo y de suelos impactados derivados de las imágenes hiperespectrales con los modelos digitales de elevación (DEMs) puede mejorar el entendimiento de la relación espacial entre las superficies impactadas por petróleo y la topografía (ver Fig. 8). El colgar mapas estructurales y estratigráficos sobre el mismo DEM (ver Fig. 3) posibilita la correlación de la filtración de petróleo de la superficie con la geología.



El área de exploración de interés debe ser analizada usando una presentación en color natural de las imágenes hiperespectrales o algunas otras imágenes para eliminar las características hechas por el hombre con materiales basados en hidrocarburos en la superficie (carreteras cubiertas por asfalto o plásticos). Algunas características lineales clasificadas como superficies impactadas por petróleo pueden ser vistas a lo largo de la nariz y el flanco del anticline mostrado en la Fig., 8B. Estas características pueden ser sectores de carretera compuesta de asfalto hecho por el hombre o parcialmente cubiertos por petróleo asociado con el aflujo de una tormenta.



*Integrar las filtraciones clasificadas de petróleo y los suelos impactados (patrones rojos) con modelos de elevación digital permite una correlación 3D con la geología. Vista mirando al norte (Fig. 8<sup>a</sup>) donde los patrones rojos revelan la distribución de filtraciones de petróleo mapeadas por Thomas Dibblee (ver Fig. 3).*

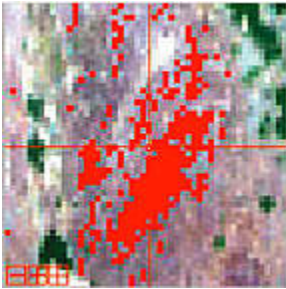
### Aplicaciones múltiples

El esfuerzo cooperativo de investigación y desarrollo proporciona un apoyo fundamental para desplegar imágenes hiperespectrales para detectar filtraciones de petróleo en tierra.



*La vista mirando al sudoeste (Fig. 8b en la foto de la derecha) en el anticline 20 km al sudeste de las filtraciones Dibblee muestra varias áreas de suelos y superficies impactados por petróleo.*

La biblioteca espectral enfocada al petróleo, combinada con procesos de trabajo apropiados, habilidad y experiencia, hará posible que los científicos de la tierra empiecen a considerar las imágenes VNIR-SWIR como otra herramienta para mejorar la exploración en tierra. Este estudio demuestra que la tecnología hiperespectral sería una herramienta efectiva para comprender mejor la probabilidad de filtraciones de petróleo a lo largo de estructuras geológicas remotas.<sup>5</sup>



El detectar filtraciones de petróleo es una aplicación muy importante pero relativamente angosta para las imágenes hiperespectrales. Estas imágenes son un muy rico conjunto de datos que puede ser usado para muchas aplicaciones que respaldan el esfuerzo exploratorio, incluyendo mapas geológicos de superficie significativamente mejorados de estratigrafía, litología y estructura. Los indicadores indirectos de filtración de hidrocarburos, tal como suelos alterados (cambios en óxidos de hierro, arcilla, calcita, etc.) y una vegetación afectada también pueden ser efectivamente interpretados con las imágenes hiperespectrales.

Adicionalmente, a la vez que proveen información primaria a los exploradores, los cubos de datos hiperespectrales pueden ser simultáneamente explotados para información ambiental fundamental. Esta información ambiental puede incluir líneas de base, detección del cambio y el status de comunidades de plantas, vigor de la vegetación, infraestructura (pozos, oleoductos, tanques, etc.), agua (lagunas de retención, canales dragados, etc.), población local y sitios impactados.<sup>4</sup>

El extraer este conocimiento singular acerca del ambiente de los cubos de datos significativamente reduce los riesgos asociados con adquirir las imágenes hiperespectrales exclusivamente para la exploración, ya que permite a los gerentes comprender mejor y manejar el activo durante todas las etapas del desarrollo.

## **Reconocimientos**

La Dra. Rebecca Dodge de The Geosat Committee Inc. ([www.geosatcom.com](http://www.geosatcom.com)) coordinó la propuesta y los fondos. Este estudio Geosat fue respaldado por T. Rubin de Chevron Information & Technology Co., San Ramón, Calif., M. Little, H. Yang, y O. Podlaha de Shell International Exploration and Production BV, The Netherlands; y J. Helfand de ExxonMobil, Houston. Patrick Caldwell, antes de HJW, desarrollaron los sitios de campo críticos, mientras que Quinn proveía experiencia GPS y apoyo en el procesamiento de imágenes. Jennifer Gebelien, candidata doctoral en University of California Santa Bárbara, proporcionaba observaciones de campo claves sobre la vegetación.

## **Referencias**

1. Kruse, F.A, "Visible and Infrared: Sensors and Case Studies," en Rencz, A.N., ed., "Remote Sensing for the Earth Sciences," 3rd ed., Vol. 3., 1999, pp. 567-612.
2. Van der Meer, F., van Dijk, P., Schetselaar, E., Little, M., Podlaha, O, Yang, H., and Biegert, E., "An integrated geoscience approach for hyperspectral hydrocarbon microseepage

- detection," procedimientos de la conferencia internacional 14° sobre Detección Remota Geológica Aplicada, Las Vegas, Nev., Nov. 6-8, 2000, pp. 81-88.
3. Yang, H., Zhang, J., van der Meer, F., y S. Kroonenberg, "Geochemistry and field spectrometry for detecting hydrocarbon microseepage," Terra Nova, Vol. 10, 1999, pp. 231-235.
  4. Ellis, J.M., Davis, H.H., y Quinn, M.B., "Multiple applications for airborne hyperspectral sensors," 5° conferencia internacional sobre Detección Remota Aérea, San Francisco, Calif., Sept. 12-14, 2001, 8 Págs.
  5. McCoy, R.M., Blake, J.G., y Andrews, K.L., "Detecting hydrocarbon microseepage using hydrocarbon absorption band of reflectance spectra of surface soils," OGI, Mayo 28, 2001, p. 40.

## Los autores



**James Ellis** es director de detección remota y GIS en HJW GeoSpatial Inc., proveyendo soluciones de mapeo y base de datos a clientes de exploración, medio ambiente, ingeniería y del gobierno. Ha trabajado con tecnologías de detección remota y GIS durante 20 años, anteriormente en Gulf Oil Corp. y Chevron Overseas Petroleum Inc. Tiene un grado Ph.D. en geología de la State University of New York en Buffalo. E-mail: [jellis@hjw.com](mailto:jellis@hjw.com)



**Hattie Davis** es un analista de detección remota con HJW GeoSpatial especializado en procesar conjunto de datos globales de detección remota (satélite, fotografía aérea, hiperespectral) e integrar estas imágenes y mapas derivados con soluciones GIS. Ella tiene 12 años de experiencia, previamente con Chevron Overseas Petroleum Inc. Tiene un grado de Bachiller en Ciencias de la University of Connecticut. E-mail: [Davis@globexplorer.com](mailto:Davis@globexplorer.com)



**Joseph Zamudio** es vicepresidente de operaciones tecnológicas en Earth Search Sciences Inc., donde planea y coordina reconocimientos hiperespectrales y desarrolla nuevos métodos de procesamiento y análisis. Ha llevado a cabo investigación, mapeo, y ha enseñado en talleres sobre tecnología hiperespectral durante los últimos 15 años con su enfoque principal en las aplicaciones geológicas y ambientales. Tiene un grado Ph.D. en geología de la University of Colorado. E-mail: [jaz@rmi.net](mailto:jaz@rmi.net)