

APLICACIÓN DE SENSORES REMOTOS SATELITALES Y AEROTRANSPORTADOS EN IDENTIFICACION DE OIL SEEPS EN EL GOLFO DE MÉXICO NORTE

Guillermo Re Kühl¹, Diego Azcurra¹, Talía Berg¹

1: Alto Américas S.A., Reconquista 672, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

grekuhl@hytec.com.ar, dazcurra@hytec.com.ar, tcb@hytec.com.ar

Palabras clave: Sensores Remotos, oil-seeps, oil-slicks

ABSTRACT

Off-shore Oil seeps detection in the Northern Gulf of Mexico by means of Airborne and Satellite Remote Sensing

The aim of this work is to identify natural oil-seeps in the Northern Gulf of Mexico by means of satellite and airborne imagery. In offshore sedimentary basins, a certain quantity of confined hydrocarbons may migrate from the depth to the sea surface, thus generating oil-slicks. It is possible to identify these slicks by means of Synthetic Aperture Radar (SAR) and multispectral imagery under ambient sun glint. RADARSAT-1, UAVSAR and MODIS imagery from different dates was evaluated, and the data was transferred to a Geographic Information System (GIS), which allowed the identification of oil-slicks due to the low backscatter values on the surface of the sea. The analysis of those oil-slicks identified in one area on different dates made it possible to define the possible location of sixty-three (63) oil-seeps in the surveyed area. SAR and MODIS imagery is an excellent tool to detect oil-slicks, while the use of images of different dates make it possible to identify the possible location of the seeps.

INTRODUCCIÓN

Ciertas cantidades de petróleo confinado en su reservorio natural pueden escapar periódicamente y aparecer en la superficie constituyendo lo que se conoce como manantiales naturales de petróleo *-oil-seeps-*. En cuencas sedimentarias *off-shore*, estas filtraciones alcanzan la superficie del mar, formando delgadas películas (Figura 1). La detección de las mismas constituye un instrumento de suma utilidad en la exploración de reservorios de petróleo en cuencas oceánicas.

La presencia en el mar de capas o películas *-films-* de hidrocarburos, determina que las propiedades físicas y ópticas de la superficie sean diferentes a las del entorno. La teledetección de este tipo de fenómeno puede lograrse mediante la interpretación de imágenes provenientes de satélites o de sensores aerotransportados que operen en el rango de las microondas. A los sensores que tra-

bajan en este rango se los denomina Radares de Apertura Sintética (o SAR, por sus siglas en inglés, *Synthetic Aperture Radar*), los cuales han probado ser una excelente herramienta para la detección de películas de hidrocarburos en la superficie del mar (Espedal y Wahl, 1999; MacDonald *et al.*, 2003).

Para la interpretación de fenómenos oceánicos, el rango de longitudes de onda entre 3 y 6 cm, denominado Banda C, es el más apropiado.

La energía emitida por el radar alcanza la superficie marina y es dispersada. Parte de ésta es recibida por el sensor. A esa fracción de energía se la conoce como retrodispersión *–backscatter–*. La intensidad de *backscatter* está directamente relacionada con la rugosidad de la superficie.

Las superficies relativamente más calmas y lisas, denominadas *slicks*, reflejan las microondas con un ángulo igual y opuesto reduciendo la intensidad de la energía de retorno que es captada por el radar, presentando un coeficiente de *backscatter* -energía recibida / energía emitida- reducido. Las superficies con texturas más heterogéneas o rugosas, poseen coeficientes de *backscatter* más elevados.

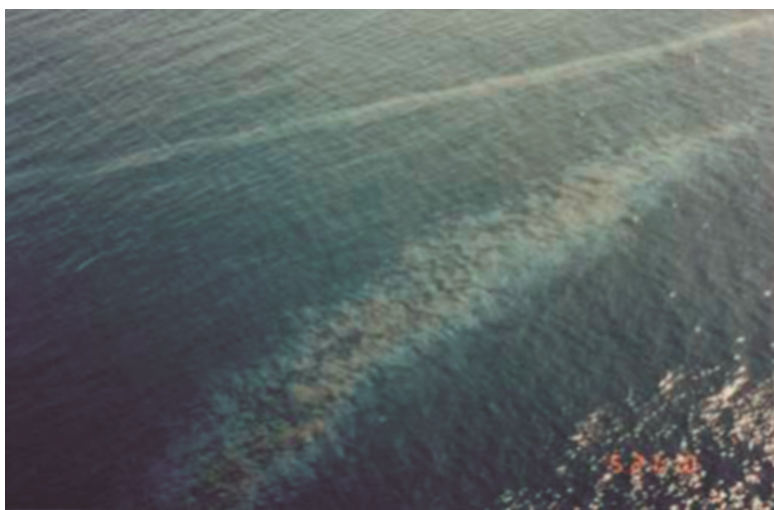


Figura 1. La fotografía aérea muestra una Película o Film de hidrocarburo sobre la superficie del mar.

Las películas de petróleo en suspensión tienen, en ciertas condiciones un efecto amortiguador sobre las olas capilares y las ondas de gravedad cortas y por lo tanto presentan rasgos de rugosidad menores a los del entorno marino.

Los *oil-slicks* pueden variar de 50 a varios cientos de metros de ancho y varios kilómetros de largo (García Pineda *et al.*, 2008). Además los *oil-slicks* son mejor detectados con vientos de entre 2 y 8 m/s y ángulos de incidencia de 20° a 45° (de Beukelaer *et al.*, 2003; Espedal and Wahl, 1999; Fortuny-Guasch, 2003; Pellon de Miranda *et al.*, 2004).

En consecuencia, las zonas marinas con petróleo en superficie presentan, en las imágenes SAR, patrones con formas de pequeñas estrías o marcas de color oscuro (Figura 2). Las superficies con texturas más heterogéneas o rugosas aparecen en la imagen con tonos más brillantes y claros.

Sin embargo, muchos fenómenos en la superficie del mar producen efectos similares a los

generados por los *oil-seeps*. Estos pueden incluir derrames de hidrocarburos provocados por el hombre –*oil-spills*–, películas superficiales de origen animal o vegetal y marcas originadas por la dinámica propia del océano -corrientes marinas, olas internas-, asociadas con fenómenos atmosféricos -frentes y poca intensidad de viento, precipitación y tormentas-.

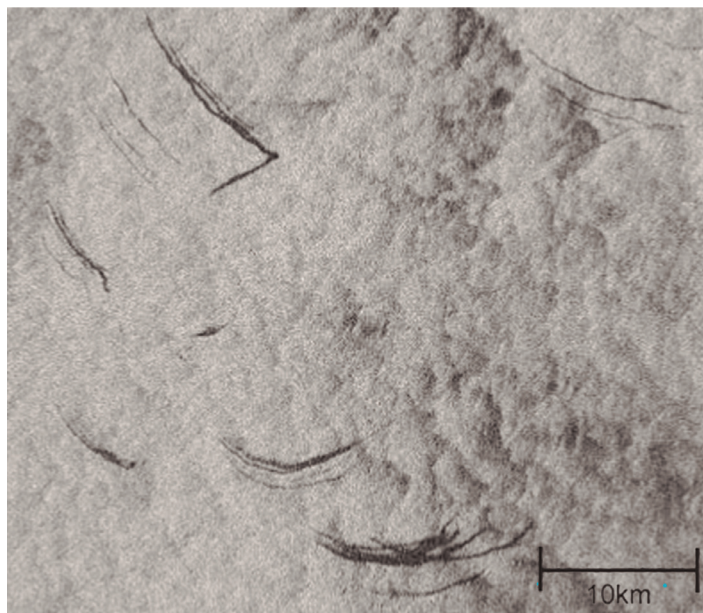


Figura 2. Identificación de *oil-seeps* marinos en imagen SAR RADARSAT banda C.

La identificación de *slicks* y la discriminación de los mismos de acuerdo a los parámetros que definen las características de un *oil-seep* marino y la identificación de otros fenómenos oceánicos, constituyen el marco conceptual utilizado en la interpretación de las imágenes SAR para la detección de áreas de interés prospectivo de hidrocarburos en cuencas marinas.

La visibilidad de los *slicks* en las imágenes SAR depende del contraste entre éstos y la superficie marina circundante, más agitada y heterogénea. Por lo tanto, la misma se encuentra íntimamente asociada a las condiciones de viento específicas del lugar y al estado e intensidad de los fenómenos marinos presentes en el área. Por lo tanto, para seleccionar las imágenes a utilizar, se necesita contar con datos previos acerca de la intensidad y dirección del viento y su historial. Con esta información, es posible controlar los movimientos de un *slick* y estimar su antigüedad a partir de las características geométricas del mismo.

Las rocas generadoras siliciclásticas y carbonáticas de edades mesozoicas y cenozoicas proveen la fuente de hidrocarburos para los rezumaderos naturales de gas y petróleo en la parte norte del talud continental del Golfo de México (Sassen *et al.*, 2001). Los hidrocarburos migran verticalmente hasta reservorios miocenos y pleistocenos, para luego migrar al fondo marino a través de fallas superficiales (Reilly *et al.*, 1996). Estas fallas pueden ser el resultado del movimiento de la capa de sal subsuperficial, y por fallas locales en el talud. La capa de sal subsuperficial es conocida

como la “*Louann Salt*”, y fue deformada por una rápida sedimentación luego de la depositación de la sal durante el Jurásico medio. Las características de la capa de sal continúan siendo alteradas por halokinesis y sus efectos son evidentes en la apariencia “*hummocky*” (Bouma & Roberts, 1990) de la batimetría del fondo marino del talud continental (Bryant *et al.*, 1990, 1991). La migración vertical de gas y petróleo se piensa que está concentrada en los bordes de minicuenas activamente cargadas con intrusión de sal, sobre crestas de sal, y cerca de la Escarpa Sigsbee (Sassen *et al.* 1999), la cual es el borde sur de la “*Louann Salt*”.

El talud continental del norte del Golfo de México, posee alrededor de 90 cuencas intratalud.

Reilly *et al.* (1996) sugieren que solamente fallas antitéticas conectadas a fallas de crecimiento regionales conducen a filtraciones continuas.

Relevamientos exhaustivos a partir de datos de Sensores Remotos indican que hay alrededor de 350 rezumaderos constantes en el Golfo de México que producen escapes continuos de petróleo en localidades consistentes (MacDonald *et al.*, 1993; MacDonald & Leifer, 2002).

En el presente trabajo se utilizaron datos SAR UAVSAR y RADARSAT e imágenes MODIS. Las imágenes UAVSAR (*Uninhabited Aerial Vehicle Synthetic Aperture Radar*), son datos SAR aerotransportados cuya antena opera en banda L con un ancho de banda de 80 Mhz (Chapman *et al.*, 2011). Las imágenes Radarsat son imágenes SAR tomadas desde el satélite Radarsat de la Agencia espacial Ca-

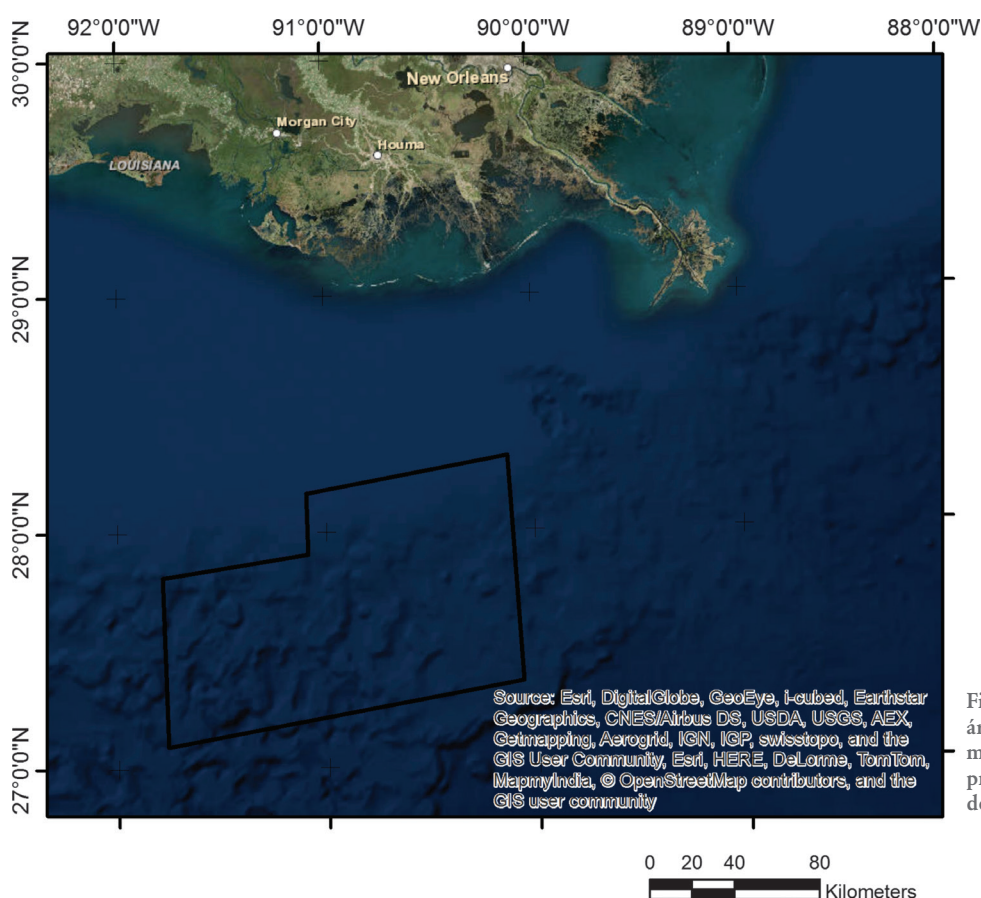


Figura 3. Ubicación del área de estudio sobre mosaico de imágenes provisto por Basemap de ArcGis online.

nadiense que tiene una órbita heliosíncrona y opera a una altura de 800 kilómetros. El satélite toma datos SAR en banda C con frecuencia de 5,3 GHz, polarización HH y tiene acceso a una amplia variedad de observaciones de 45 a 500 kilómetros de ancho de barrido con resoluciones que varían de 10 a 100 metros y ángulos de incidencia de 20 a 50 grados. El sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) es un instrumento que viaja a bordo de los satélites de Terra (EOS a.m.) y del Aqua (EOS p.m.). La órbita de Terra alrededor de la tierra es del norte al sur cruzando el Ecuador por la mañana, mientras que el Aqua viaja del sur al norte cruzando el Ecuador por la tarde. Terra-MODIS y Aqua-MODIS cubren la superficie de la tierra cada 1 a 2 días, adquiriendo datos en 36 bandas espectrales con resoluciones espaciales de 250 metros, 500 metros y 1000 metros.

Área de Estudio

El Golfo de México Norte se caracteriza fisiográficamente por una amplia plataforma continental que se extiende hasta 250 kilómetros desde el litoral, un pronunciado talud continental y una pequeña sección de la gran planicie abisal central del Golfo de México. El Área de Estudio es de 15000 kilómetros cuadrados y se ubica en el mencionado Golfo, aproximadamente a 250 kilómetros al Sur de la ciudad de Nueva Orleans, tal como se muestra en la Figura 3.

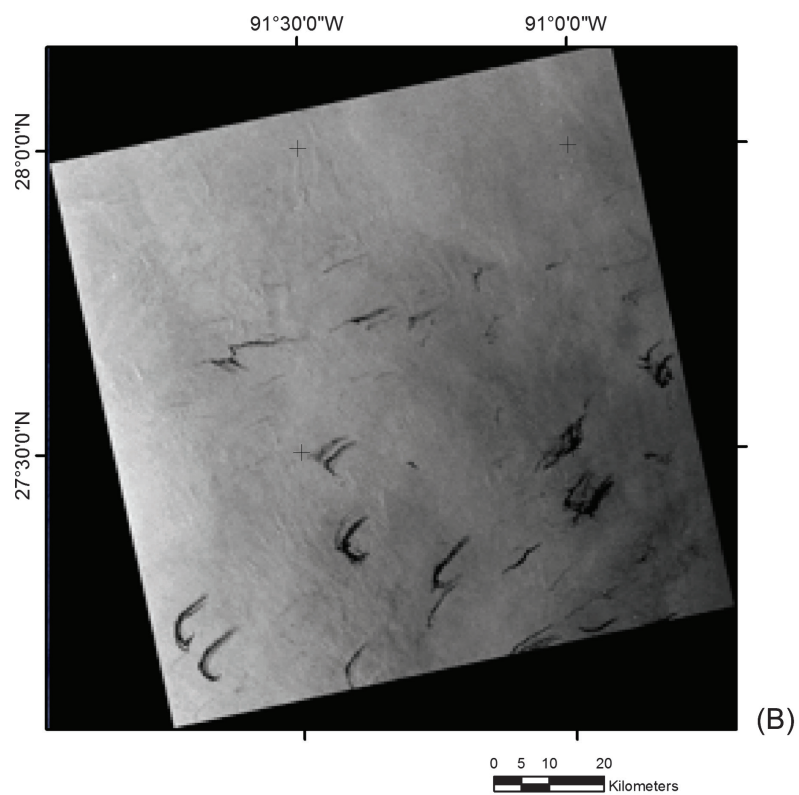
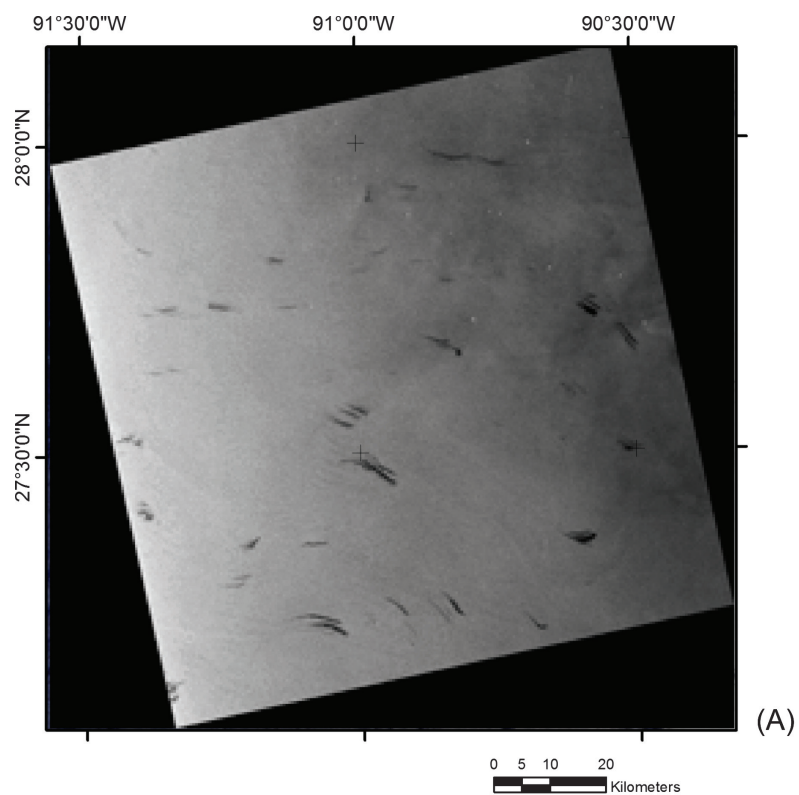
METODOLOGÍA

Para la identificación de los *Oil-slicks* se utilizaron datos a partir de 4 imágenes RADARSAT-1 Standar Bean Mode S3, una imagen MODIS y una imagen UAVSAR. Los datos RADARSAT-1 (Figura 4) fueron provistos por SARsea Ocean Imaging y las fechas de toma de las imágenes son:

- 28/03/2004
- 16/05/2004
- 06/06/2004
- 13/05/2006

Las imágenes radar contienen cierto nivel de ruido o distorsión, producido por la naturaleza misma de las ondas de radar, que provoca interferencias constructivas y destructivas, *speckle*. Esto resulta en la modificación aleatoria de los valores de brillo de los pixels, generando áreas más oscuras o más claras en la imagen. Con el fin de corregir este ruido, se utilizó el filtro adaptativo *Enhanced Lee* con el fin de remover el *speckle* pero preservando la información textural de las imágenes SAR (Eliason *et al.*, 1990).

Según Hu *et al.*, (2009), las imágenes ópticas que presentan reflexión especular del sol sobre la superficie del océano permiten la detección de *oil-slicks*, diferenciándose del agua. El mencionado autor identifica *oil-slicks* en el Golfo de México utilizando una imagen MODIS.



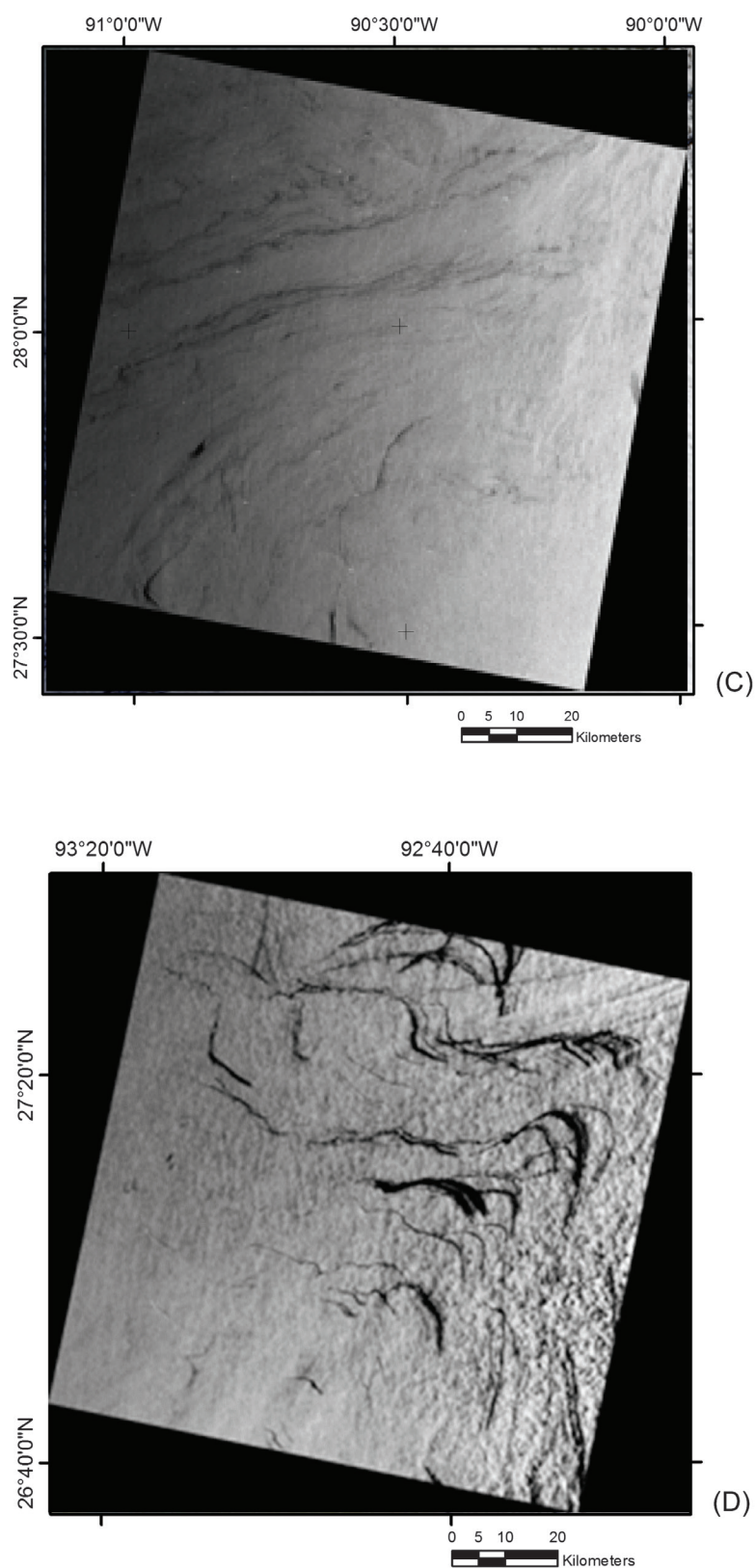


Figura 4. Imágenes RADARSAT 1 de diferentes fechas de adquisición. A) 28/03/2004. B) 16/05/2004. C) 06/06/2004. D) 13/05/2006.

En base a este concepto se procesó una imagen MODIS Nivel 1B (radiancia total calibrada), tomada el 13 de mayo de 2006, la cual presenta reflexión solar especular sobre el océano (*sun glint*). A partir de ésta, se generó una composición color 1, 4, 3 (R, G, B) correspondiente a las longitudes de onda 645-, 555-y 469-nanómetros respectivamente. La banda 1 tiene una resolución espacial de 250 metros, mientras que las bandas 4 y 3 500 metros, es por esto que para combinarlas se realizó un remuestreo de las bandas de menor resolución para llevarlas a los 250 metros. Posteriormente la imagen fue contrastada con el objetivo de resaltar los *oil-slicks* sobre la superficie del mar (Figura 5). Los procesamientos realizados se llevaron a cabo con el *software* Envi.

Además se utilizó una imagen aerotransportada UAVSAR (Figura 6) provista por la *Alaskan Satellite Facility* (ASF). A ésta se le redujo el *speckle* utilizando el filtro *Enhanced Lee* y se realizó una combinación de polarizaciones HH-VV, HV+VH, HH+VV (R, G, B). Los procesamientos se realizaron con el *software* *ASFMapReady*.

Las imágenes procesadas se volcaron en un Sistema de Información Geográfica (SIG) con el fin de poder comparar los datos procesados para poder interpretar la presencia de *oil-seeps*.

Primero se identificaron *oil-slicks*, en base a sus formas elongadas y a sus valores bajos de *backscattering* en el caso de las imágenes SAR y a valores bajos de radiancia en la imagen MODIS (Figura 7). Posteriormente, se interpretó la ubicación de los *oil-seeps* en base a la identificación de los *oil-slicks* y su repetición en las imágenes de diferentes fechas de toma.

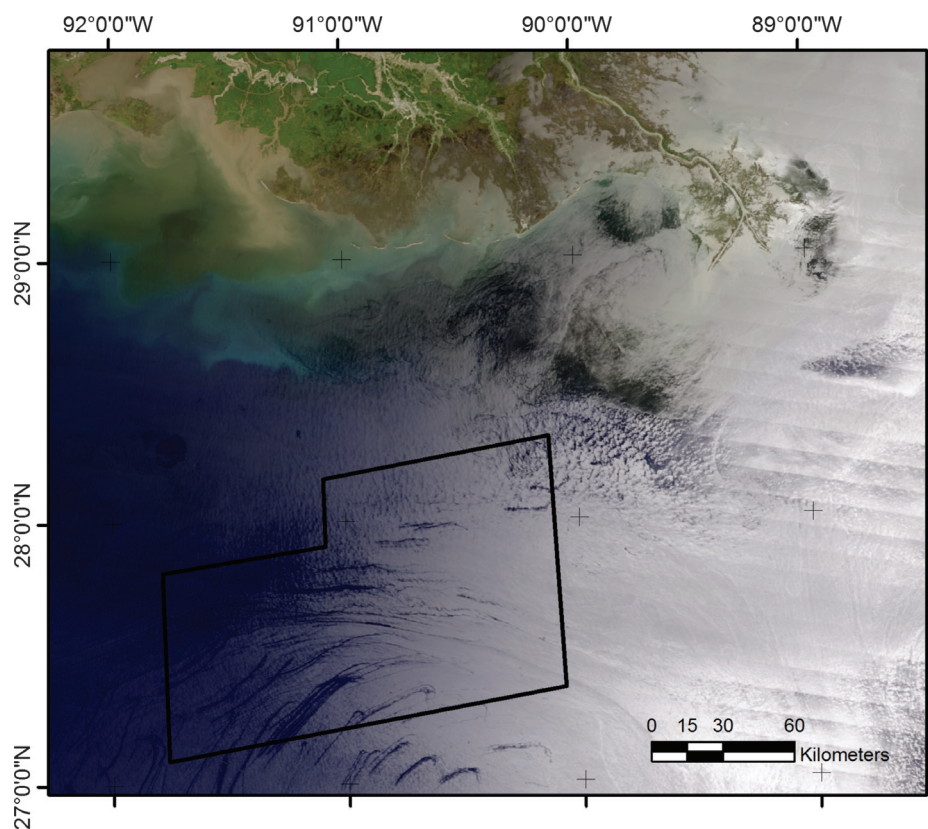


Figura 5. Imagen MODIS, composición color 1, 4, 3 (R, G, B).

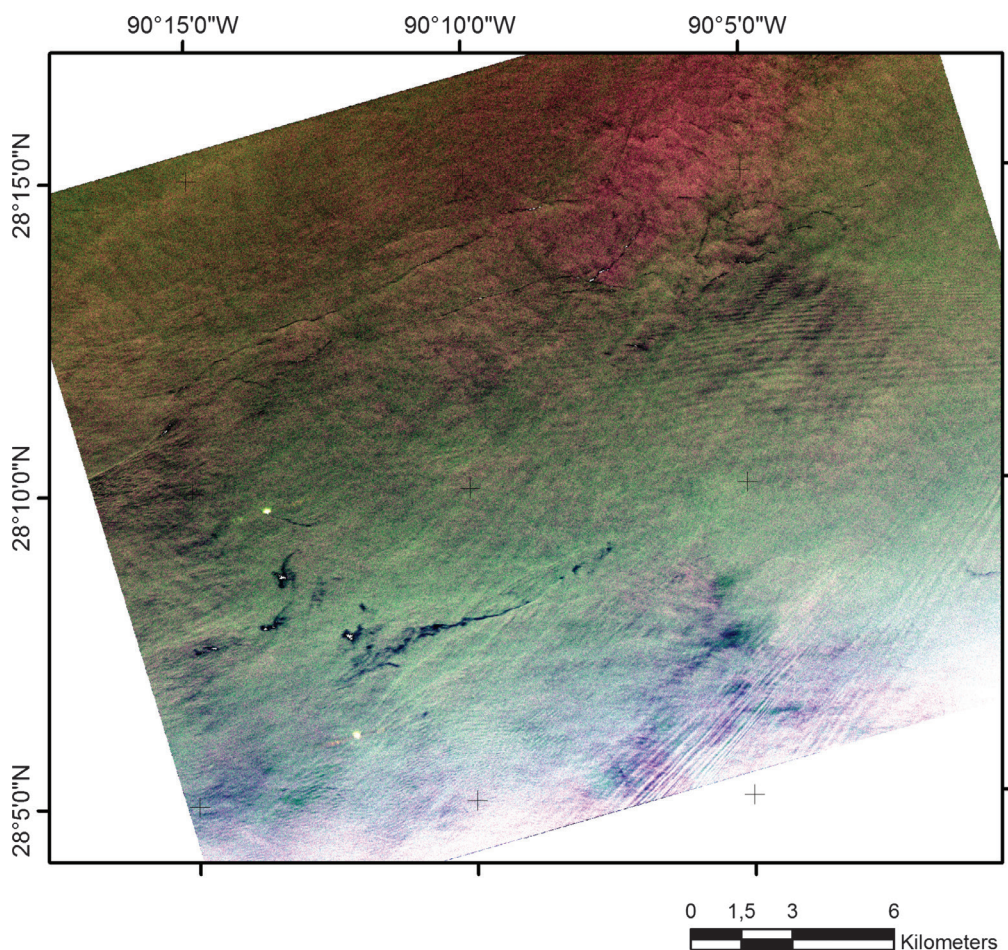


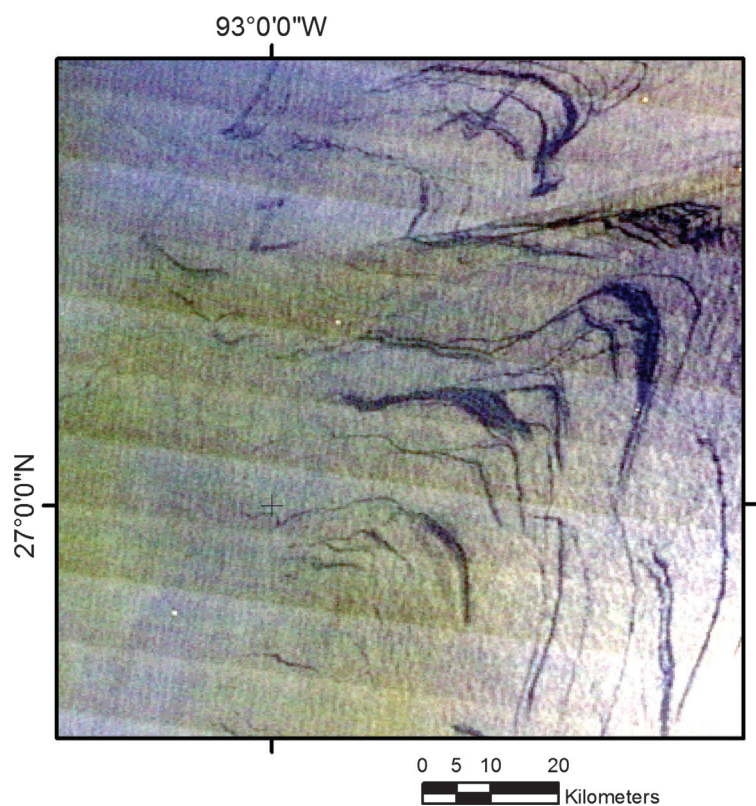
Figura 6. Imagen UAVSAR, combinación de polarizaciones HH-VV, HV+VH, HH+VV (R, G, B).

RESULTADOS

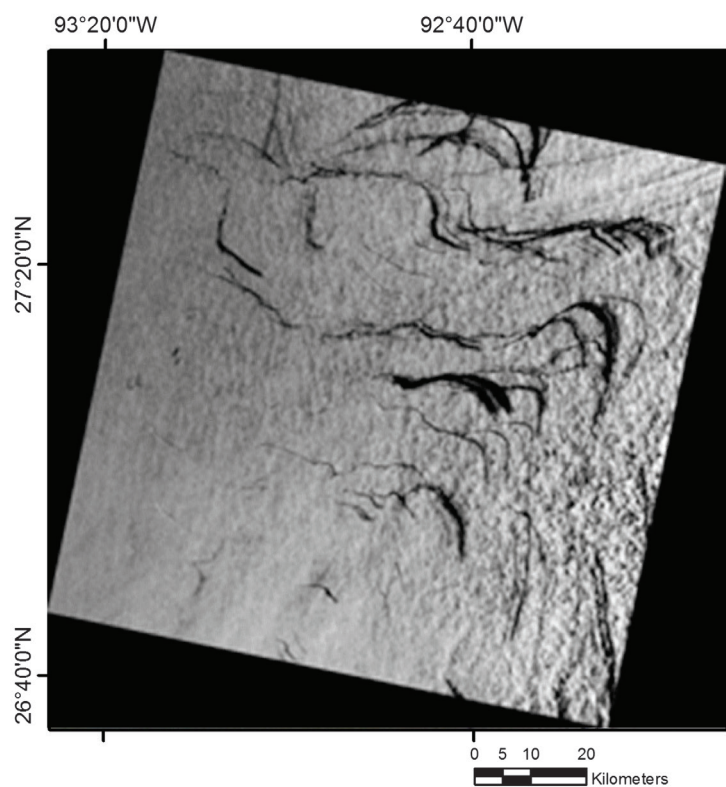
A partir de los procesamientos de las imágenes ópticas y de radar se pudo identificar 63 *oil-seeps* en la región de estudio. Cabe destacar un sector central en donde se identificaron *oil-seeps* por la presencia de *oil-slicks* en todas las imágenes (Figura 8).

CONCLUSIONES

Las imágenes SAR son una excelente herramienta que permite la identificación de *oil-slicks* y a partir de estos se puede inferir la ubicación de los *oil-seeps*. Además las imágenes ópticas MODIS que presentan reflexión especular del sol (*sun glint*) permiten también la identificación de los *oil-slicks*. Por otra parte, la utilización de los datos MODIS podría permitir la identificación a menor costo que las imágenes SAR y son un buen complemento de estas últimas.

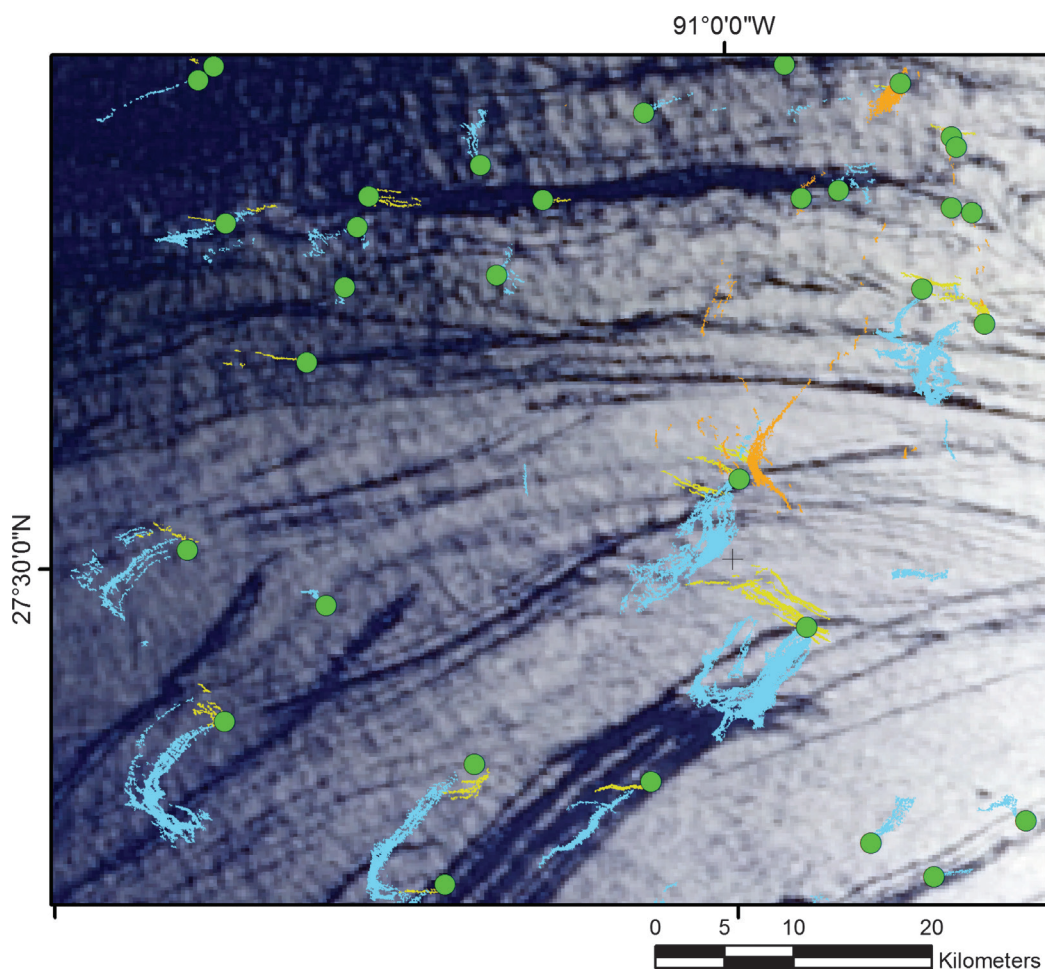


(A)



(B)

Figura 7. Comparación de imagen *modis* combinación de bandas 1,4,3 (R, G, B) con realce de histograma (A) con imagen Radarsat 1 (B). Ambas imágenes fueron tomadas el 13 de mayo de 2006.



Referencias

- Oil-seeps
- Oil-Slick a partir de RADARSAT-1 tomada el 06/06/2004
- Oil-Slick a partir de RADARSAT-1 tomada el 16/05/2004
- Oil-Slick a partir de RADARSAT-1 tomada el 28/03/2004

Imagen de fondo: MODIS 1,4,3 (R,G,B) tomada el 13/05/2006

Figura 8. Detección de *oil-seeps* a partir de la interpretación de *oil-slicks* en imágenes RADARSAT-1 y MODIS de diferentes fechas.

REFERENCIAS CITADAS

Bouma A.H., Roberts H.H., 1990. Northern Gulf of Mexico Continental Slope. *Geo-Marine Letters* 10:177-181.

Bryant W.R., Bryant J.R., Feeley M.H., Simmons

G.R., 1990. Physiographic and Bathymetric Characteristics of the Continental Slope, Northwest Gulf of Mexico. *Geo-Marine Letters* 10:182-199.

- Bryant W.R., Simmons G.R., Grim P., 1991. The Morphology and Evolution of Basins on the Continental Slope Northwest Gulf of Mexico. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* 41:73-82.
- Chapman, B., S. Hensley, and Y. Lou, 2011. "The JPL UAVSAR," *ASF News and Notes*, vol. 7, no. 1.
- De Beukelaer, S.M., MacDonald, I., Guinasso, J., Murray, J.A., 2003. Distinct side-scan sonar, RADARSAT SAR, and acoustic profiler signatures of gas and oil-seeps on the Gulf of Mexico slope. *Geo-Marine Letters* 23, 177–186.
- Eliason, Eric M. and McEwen, Alfred S., 1990. "Adaptive Box Filters for Removal of Random Noise from Digital Images", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, April, 1990, V56 No. 4, p. 453.
- Espedal, H., Wahl, T., 1999. Satellite SAR oil spill detection using wind history information. *International Journal of Remote Sensing* 20 (1), 49–65.
- Fortuny-Guasch, J., 2003. Improved oil slick detection and classification with polarimetric SAR. In: *Proceedings of the Workshop on POLinSAR—Applications of SAR Polarimetry and Polarimetric Interferometry*. ESASP-529, Frascati, Italy.
- Hu, C., X. Li, W. G. Pichel, and F. E. Muller-Karger, 2009. Detection of natural oil-slicks in the NW Gulf of Mexico using MODIS imagery, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L01604, doi:10.1029/2008GL036119.
- MacDonald I.R., Guinasso N.L., Ackleson S.G., Amos J.F., Duckworth R., Sassen R., Brooks J.M., 1993. Natural Oil-slicks in the Gulf of Mexico Visible from Space. *Journal of Geophysical Research* 98(C9):16351-16364.
- MacDonald I.R., Leifer I., Sassen R., Stine P., Mitchell R., Guinasso N., 2002. Transfer of Hydrocarbons from Natural Seeps to the Water Column and Atmosphere. *Geofluids* 2:95-107.
- MacDonald, I., Sager, W., Peccini, M., 2003. Association of gas hydrate and chemosynthetic fauna in mounded bathymetry at mid-slope hydrocarbon seeps: northern Gulf of Mexico. *Marine Geology* 198, 133–158.
- Pellon de Miranda, F., Quintero Marmol, A.M., Campos Pedroso, E., Henrique Beisl, C., Welgan, P., Medrano, L., 2004. Analysis of RADARSAT-1 data for offshore monitoring activities in the Cantarell Complex, Gulf of Mexico, using the unsupervised semivariogram textural classifier (UTSC). *Canadian Journal of Remote Sensing* 30 (3), 424–436.
- Reilly J.F., MacDonald I.R., Biegert E.K., Brooks J.M., 1996. Geologic controls on the Distribution of Chemosynthetic Communities in the Gulf of Mexico. *Hydrocarbon Migration and its Near-Surface Expression*. D. Schumacher and M. A. Abrams. Tulsa, Oklahoma, American Association Petroleum Geology 66: 38-61.
- Sassen R., Roberts H.H., Milkov A.V., DeFreitas D.A., 2001. Sea Floor Vents, Seeps, and Gas Hydrate: Relation to Flux Rate from the Deep Gulf of Mexico Petroleum System, GCSSEPM foundation 21st Annual Research Conference. *Petroleum Systems of Deep-Water Basins*, Houston, Texas, Dec. 2-5.
- Sassen R., Sweet S.T., Milkov A.V., DeFreitas D.A., Salata G.G., McDade E.C., 1999. Geology and Geochemistry of Gas Hydrates, Central Gulf of Mexico Continental Slope. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* 49:462-468.