

Informe final* del Proyecto DQ057
Georreferenciación de imágenes SPOT de la Cuenca de Burgos. Segunda Fase

Responsable: Geóg. María Isabel Cruz López
Institución: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
Dirección: Liga Periférico- Insurgentes Sur # 4903, Parques del Pedregal, Tlalpan,
Distrito Federal, DF, 14010 , México
Correo electrónico: icruz@xolo.conabio.gob.mx
Teléfono/Fax: 5004 5046
Fecha de inicio: Diciembre 15, 2005
Fecha de término: Agosto 15, 2006
Principales resultados: Cartografía, Informe final
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Cruz López, M. I. y S. Cerdeira Estrada, 2006. Georreferenciación de imágenes SPOT de la Cuenca de Burgos. Segunda Fase. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DQ057.** México D. F.

Resumen:

En la primera fase del trabajo (DQ016) fueron georreferenciadas imágenes de satélite SPOT que cubren la cuenca de Burgos, estas imágenes serán utilizadas para la identificación de pozos productores de gas. Al utilizar las imágenes permitirá la actualización de información respecto a infraestructura instalada en el área y definir áreas de concentración de la actividad.

Este proyecto forma parte de un estudio de la cuenca de Burgos, que permitirá, establecer un Sistema de Información Geográfica Basal, que consolidará esfuerzos de otras instituciones como SEMARNAT, PEMEX. Por lo anterior se solicita apoyo para completar el proyecto.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.



Informe Final del Proyecto DQ057

“Georreferenciación de imágenes SPOT de la Cuenca de Burgos: Segunda fase” Identificación de pozos de gas con percepción remota en la Cuenca de Burgos

México, D.F., 24 de julio del 2006

Institución u organización:

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
Av. Liga Periférico – Insurgentes Sur No. 4903 Colonia Parques del Pedregal
Delegación Tlalpan, C.P. 14010 México, D.F.

Datos del responsable del proyecto:

Geóg. María Isabel Cruz López
Coordinadora de Percepción Remota
Dirección de SIG y Percepción Remota
Dirección General de Bioinformática
Telf.: (55) 50044946
Fax: (55) 50044931
E-mail: icruz@conabio.gob.mx

Datos del colaborador del proyecto:

Dr. Sergio Cerdeira Estrada
Analista Experto en Percepción Remota
Coordinación de Percepción Remota
Dirección de SIG y Percepción Remota
Dirección General de Bioinformática
Telf.: (55) 50044946
Fax: (55) 50044931
E-mail: scerdeira@conabio.gob.mx

Línea Temática:

Conservación de actividades de protección y conservación de PROFEPA, CONANP, CONAFOR, INE y CONABIO.

Lista de los principales resultados:

1. Mapa con la localización de los pozos de gas en formato vector, acompañado de su metadato.
2. Informe técnico del trabajo realizado en el cuál se incluyan los siguientes puntos: Introducción, objetivos, materiales, métodos, resultados, y comentarios.

Monto del financiamiento solicitado (IVA incluido):

\$ 170,850.00

Duración del proyecto:

6 meses

Resumen:

A partir de imágenes de satélite SPOT georreferenciadas de la Cuenca de Burgos se generó un mapa de la localización de los pozos de gas en base a la obtención de polígonos que los identifican, permitiendo una actualización de la infraestructura instalada por PEMEX en la zona, y definiendo áreas de concentración de dicha actividad. Se identificaron 1688 polígonos como posibles pozos de gas, los cuales cubren un área de 1,572.44 has. El polígono con mayor área es de 2.2 has. y el polígono menor es de 0.33 has. El tamaño promedio es de 0.9315 has. Para ello se realizó el intercambio de bandas, la corrección del sensor (conversión de radiancia a reflectancia), el cálculo del índice de vegetación normalizado (NDVI), el cálculo del promedio de la reflectancia, el cálculo de la primera componente principal, la segmentación, la clasificación, la unificación y la estadística de los polígonos. Se utilizaron los programas eCognition apoyado con ERDAS IMAGINE y ArcView.

Introducción

La Cuenca de Burgos se ubica en territorio de los Estados Unidos Mexicanos, al sur del estado norteamericano de Texas y en el norte de los estados mexicanos de Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila (Figura 1) (Sitio Web del Gobierno de Tamaulipas, 2004).

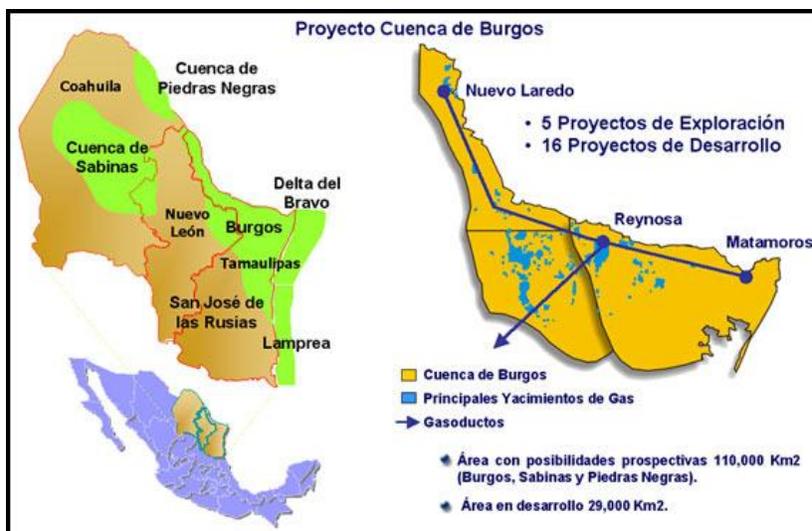
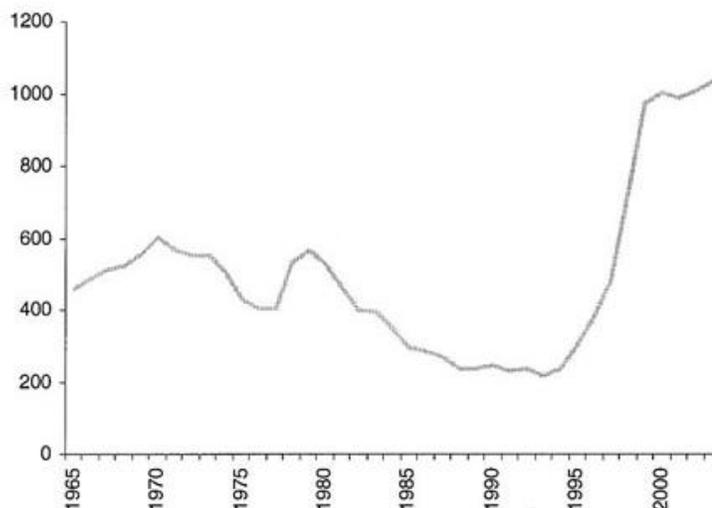


Figura 1. Cuenca de Burgos en el noreste de México (Sitio Web del Gobierno de Tamaulipas, 2004).

Esta región constituye la reserva de gas no asociado al petróleo más importante de México, con una superficie de 50 000 km² y su explotación se inició en 1946. En el 2003, Burgos produjo 1030 millones de pies cúbicos diarios (mmpcd) de gas natural (Gráfica 1), cifra cercana a la cuarta parte de la producción nacional. Su participación en la producción total de gas seco es aún mayor, dado el alto contenido de líquidos del gas producido en asociación al crudo en el sureste (Adrián Lajous, 2004).

Burgos: producción de gas natural, 1965-2003
(millones de pies cúbicos diarios)



Fuente: Pemex, Anuario Estadístico, 2003

Gráfica 1. Producción de gas natural entre 1965-2003 en la Cuenca de Burgos (Adrián Lajous, 2004).

El Servicio Geológico de los EE.UU. (USGS, por sus siglas en inglés) ha estimado que, en promedio, el potencial de gas no asociado que queda por descubrirse en la Cuenca de Burgos, es de 12.9 trillones de pies cúbicos y unos 6.2 billones de barriles de petróleo (incluyendo 7.4 trillones de pies cúbicos de gas asociado) y 0.52 billones de barriles de líquidos de gas natural (Sitio Web de USGS, 2004).

PEMEX y PROFEPA acuerdan la restauración de más de tres mil hectáreas de la Cuenca de Burgos y con ello se cierran los procedimientos administrativos instaurados a la paraestatal con motivo del desarrollo del "Proyecto Integral Cuenca de Burgos 2000-2012", y permite al sector ambiental atender, de manera directa, las necesidades para conservar esta importante zona natural del país, conciliando la producción de esta industria estratégica para el desarrollo de la nación, con la protección de los ecosistemas y su equilibrio natural. En ello Pemex destinará alrededor de 81 millones de pesos para proteger y preservar el ambiente, de los cuales el 50 por ciento será utilizado en la restauración de daños originados principalmente por cambios de uso de suelo y remoción de vegetación natural, obras que son imprescindibles en las tareas que desarrolló Petróleos Mexicanos. El otro 50 por ciento se canalizará al pago de afectaciones al ambiente, a través de obras y acciones concretas. Estos recursos serán depositados en el Fideicomiso Fondo para la Biodiversidad, a cargo de la Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, bajo un esquema que la propia ley ambiental reconoce, y en el cual será también la PROFEPA la encargada de supervisar y dictaminar los avances para la restauración y compensación de daños (Sitio Web de PEMEX, 2003).

En las fotografías 1 y 2 se muestran las obras de exploración, los caminos de acceso, y las áreas destinadas para la perforación de pozos de producción.



1



2

Fotografías 1 y 2. Vista aérea de las obras de exploración, brechas y caminos de acceso a los pozos de gas. Fotos de Mario Manzano Camarillo, responsable del Proyecto de la CONABIO No. CJ070.

En la primera fase del trabajo fueron georreferenciadas 25 imágenes de los satélites SPOT de los años 2003/2004 que cubren la Cuenca de Burgos, las cuáles fueron utilizadas para la identificación de pozos productores de gas; por lo que puede contribuir a la actualización de información respecto a infraestructura instalada en el área y definir áreas de concentración de la actividad.

Justificación

Este proyecto forma parte de un estudio de la Cuenca de Burgos, que permitirá establecer un Sistema de Información Geográfica, que consolidará esfuerzos de otras instituciones como SEMARNAT y PEMEX.

Objetivo general

- Generar un mapa con la localización de los pozos de gas en la Cuenca de Burgos.

Objetivo específico

- Aplicar técnicas de percepción remota para llevar a cabo los proceso de segmentación y clasificación de imágenes satelitales para identificar la localización de los pozos productores de gas en la Cuenca de Burgos.

Para llevar a cabo estos objetivos se concibieron las siguientes **tareas**:

- Aplicar la corrección del sensor (conversión de radiancia a reflectancia).
- Calcular el índice de vegetación normalizado (NDVI).
- Calcular el promedio de la reflectancia.
- Calcular la primera componente principal.
- Realizar la segmentación de las imágenes.
- Llevar a cabo una clasificación en base a características de forma y espectral.
- Agrupar los polígonos en uno solo.
- Calcular la estadística de los polígonos.

Material utilizado

- Imágenes de los satélites SPOT 2, 4 y 5 de la antena de ERMEXS de los años 2003 y 2004 (Tabla 1).
- Software: eCognition, ERDAS IMAGINE y ArcView.

Metodología

En la primera fase las imágenes de satélite SPOT fueron interpretadas y analizadas para la identificación de los pozos productores de gas localizados en la Cuenca de Burgos. Para ello se aplicaron técnicas de percepción remota utilizando los programas ERDAS IMAGINE y “Definiens eCognition” versión 5.0, que permite la clasificación de imágenes orientado a objetos. A continuación se describe cada proceso metodológico empleado.

1. Selección de las Imágenes SPOT de la Cuenca de Burgos.

A través de la antena receptora de SPOT de la estación ERMEXS se adquirieron 25 imágenes de los satélites SPOT 2, 4 y 5 respectivamente en formato GeoTIFF (Nivel 2A) (Tabla 1). Cada imagen fue georreferenciada a partir de ortofotos del INEGI realizado en Proyecto de la CONABIO No. DQ016 “Georreferenciación de imágenes SPOT de la Cuenca de Burgos”, donde a cada archivo de imágenes se le asignó la siguiente nomenclatura: Ej: e040802144755552.tif.

Tabla 1. Imágenes georreferenciadas SPOT de la Cuenca de Burgos, México. En colores se muestran

No.	Nombre de la imagen SPOT *	Nuevo nombre de la imagen SPOT	Satélite	No. de bandas	Res. espacial [m]	K	J	Fecha D/ M/ A	Día del año	Hora	Formato	Elevación del ángulo solar	Cambio del orden de las bandas	Segmentación	Presencia de pozos	No. de polígonos identificados
1	S040730133950021	0021SPOT	SPOT 4	4	20	583	295	7-Ago-04	190	17:14:26	CEOS	69.3	No	Si	Si	59
2	S040729173100570	0570SPOT	SPOT 5	4	10	584	298	13-Abr-04	104	17:41:42	DIMAP	68.333495	Si	Si	Si	22
3	E040802150700678	0678SPOT	SPOT 5	4	10	586	300	14-Abr-04	105	17:22:42	DIMAP	66.688873	Si	Si	Si	16
4	S040224172531596	1596SPOT	SPOT 5	4	10	588	298	17-Feb-04	48	17:18:16	DIMAP	46.326379	Si	Si	No	-
5	S040730161951859	1859SPOT	SPOT 4	4	20	586	298	19-Feb-04	50	17:07:16	CEOS	45.1	No	Si	Si	460
6	S040730162612998	2998SPOT	SPOT 2	3	20	588	299	20-Feb-04	51	17:14:13	CEOS	47.1	No	No	-	-
7	S040730131513359	3359SPOT	SPOT 2	3	20	586	299	20-Feb-04	51	17:14:15	CEOS	46.6	No	Si	Si	191
8	E040802151133365	3365SPOT	SPOT 5	4	10	585	297	4-May-04	125	17:37:54	DIMAP	73.573431	Si	Si	Si	190
9	S040803161103651	3651SPOT	SPOT 2	3	20	587	298	18-Ago-04	170	17:24:33	CEOS	74.2	No	Si	Si	63
10	E040802144755552	5552SPOT	SPOT 5	4	10	584	298	21-Nov-03	325	17:11:10	DIMAP	41.403791	Si	Si	No	25
11	S040224172655677	5677SPOT	SPOT 5	4	10	588	299	17-Feb-04	48	17:18:25	DIMAP	46.708499	Si	Si	No	-
12	S040319195515707	5707SPOT	SPOT 5	4	10	584	297	9-Mar-04	69	17:14:36	DIMAP	51.512	Si	Si	Si	205
13	E040802145555814	5814SPOT	SPOT 5	4	10	589	300	18-Feb-04	49	16:59:17	DIMAP	45.178782	Si	Si	No	-
14	S040719145216045	6045SPOT	SPOT 5	4	10	589	298	18-Feb-04	49	16:59:00	DIMAP	44.470829	Si	Si	No	-
15	S040302144736097	6097SPOT	SPOT 5	4	10	589	299	18-Feb-04	49	16:59:09	DIMAP	44.826334	Si	Si	No	-
16	E040802150507164	7164SPOT	SPOT 5	4	10	586	299	14-Abr-04	105	17:22:33	DIMAP	66.438142	Si	No	-	-
17	E040802150137211	7211SPOT	SPOT 5	4	10	586	298	14-Abr-04	125	17:22:25	DIMAP	66.183354	Si	No	-	-
18	S031224024307533	7533SPOT	SPOT 5	4	10	587	300	22-Dic-03	356	17:15:01	DIMAP	38.200221	Si	Si	Si	22
19	E040802151408201	8201SPOT	SPOT 5	4	10	585	298	4-May-04	125	17:38:02	DIMAP	73.783736	Si	Si	Si	608
20	S040730134158513	8513SPOT	SPOT 4	4	20	583	296	8-Jul-04	190	17:14:35	CEOS	69.3	No	Si	Si	52
21	S040730131908674	8674SPOT	SPOT 4	4	20	586	300	23-Dic-03	357	17:23:01	CEOS	38.7	No	Si	Si	27
22	S040319195418850	8850SPOT	SPOT 5	4	10	584	296	9-Mar-04	69	17:14:27	DIMAP	51.174234	Si	Si	Si	78
23	S040224172839442	9442SPOT	SPOT 5	4	10	588	300	17-Feb-04	48	17:18:33	DIMAP	47.083641	Si	Si PCA (-)	Si	10
24	E040802151649663	9663SPOT	SPOT 5	4	10	585	299	4-May-04	125	17:38:11	DIMAP	73.984495	Si	Si	Si	118
25	S031224024029755	9755SPOT	SPOT 5	4	10	587	299	22-Dic-03	356	17:14:52	DIMAP	37.769074	Si	Si	Si	18

* Todas las imágenes SPOT han sido georreferenciadas y están en: Proyección: UTM - Zona 14 Norte. Esferoide: WGS84. Datum: WGS84 aquellas que solapan entre si.

La figura 2 muestra el mosaico generado por las 25 imágenes de SPOT georreferenciadas dentro del Shapefile correspondiente a la Cuenca de Burgos.

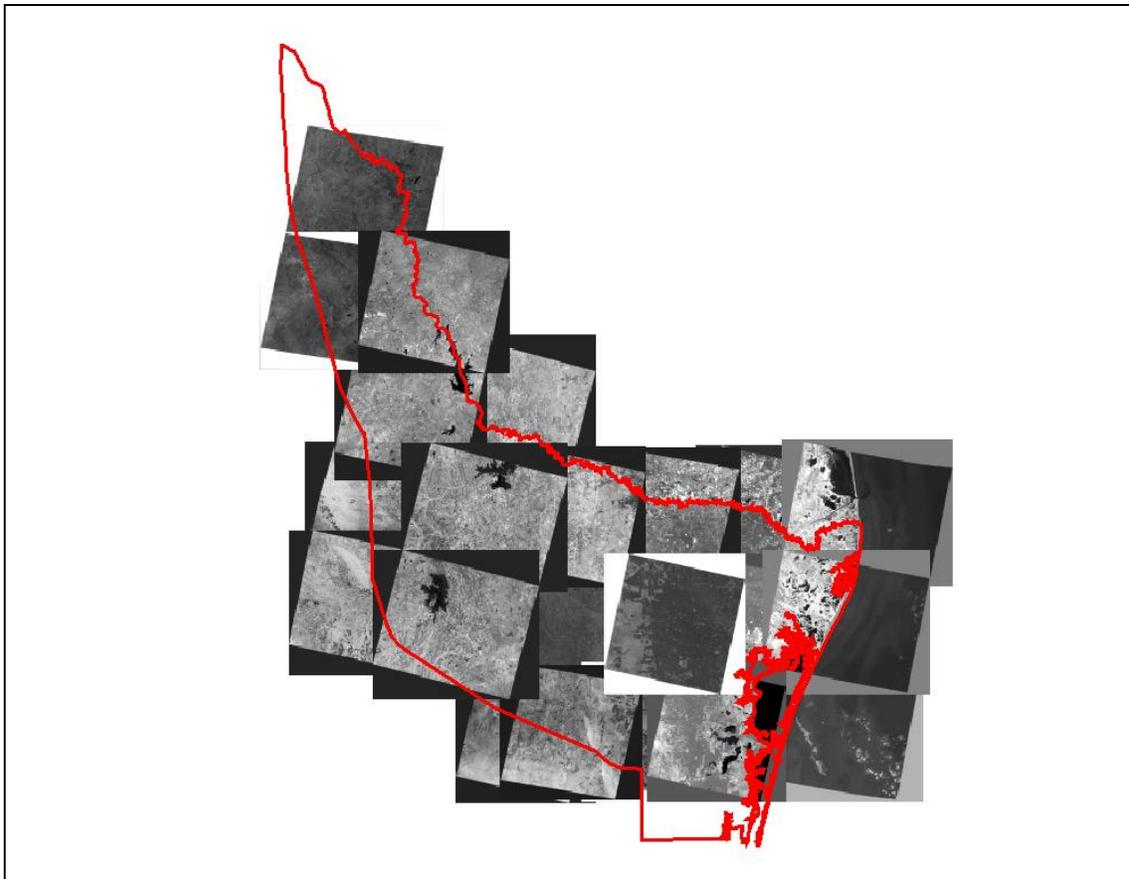


Figura 2. Mosaico de las 25 imágenes de SPOT georreferenciadas dentro del *Shapefile* de la Cuenca de Burgos.

2. Intercambio de las bandas 1 y 3 para las imágenes en formato DIMAP de SPOT 5.

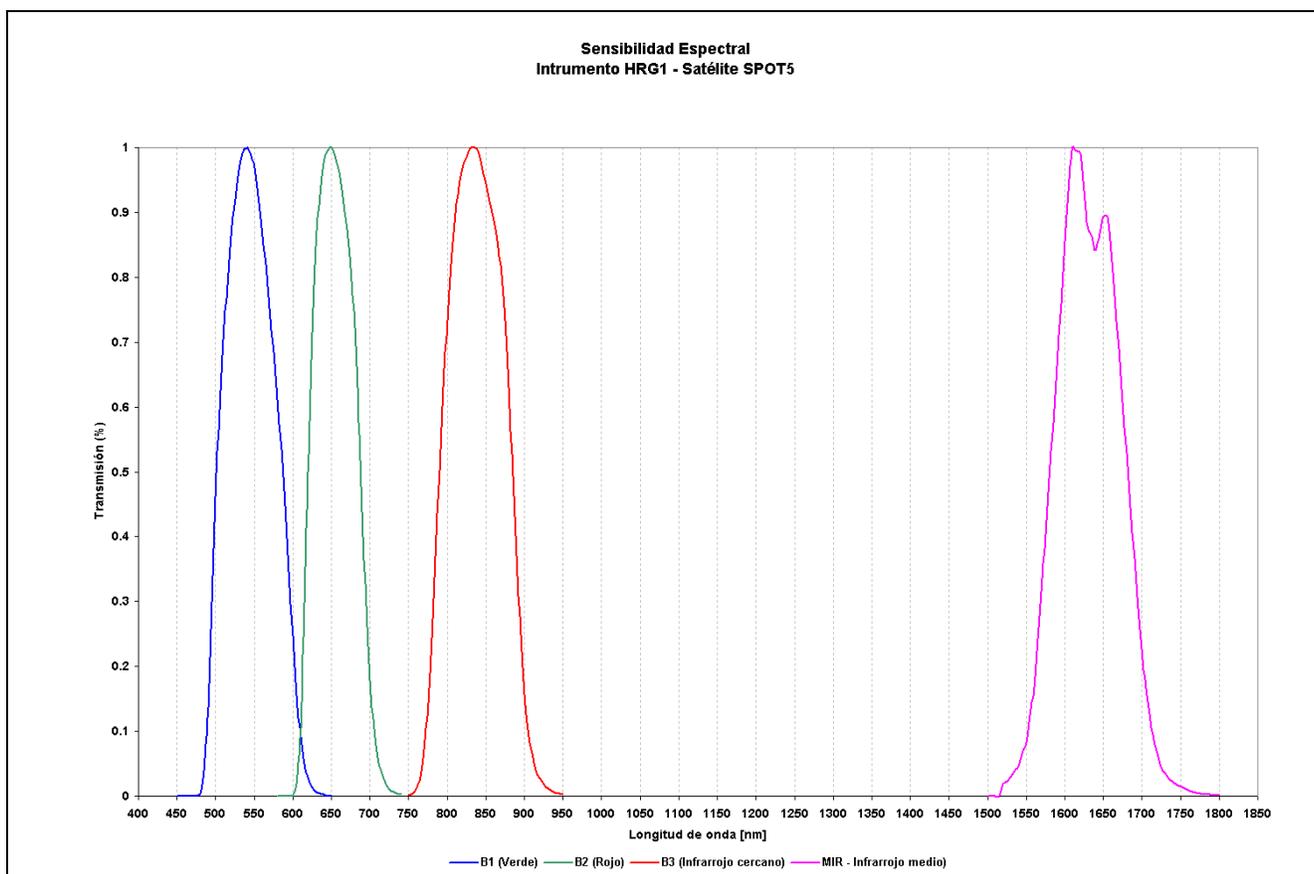
Las imágenes SPOT5 del instrumento HRG1 tienen un procesamiento nivel 2A, lo que implica que la corrección radiométrica es idéntica a la del nivel 1A. La corrección geométrica efectuada utilizando la proyección cartográfica estándar (UTM - WGS84 de origen) sin toma de puntos de apoyo permite combinar, teniendo en cuenta la eventual diferencia en localización, la imagen con informaciones geográficas de diferentes tipos (vectores, mapas raster y otras imágenes satelitales).

Pero las imágenes de SPOT 5 están en formato DIMAP lo que hace que vengan con bandas intercambiadas; es decir, vienen como Banda 1: NIR, Banda 2: Red, Banda 3: Green, y Banda 4: MIR; por lo que se les cambia para el orden correcto: Banda 1: Green (antigua banda 3), Banda 2: Red, Banda 3: NIR (antigua banda 1), y Banda 4: MIR.

En la Tabla 2 se muestra el espectro electromagnético asociado al sensor HRG-1 del SPOT-5 y en la Grafica 2 la sensibilidad espectral de dicho sensor (Sitio web SPOTimage).

Tabla 2. Espectro electromagnético asociado al sensor HRG1 del satélite SPOT 5.

Espectro EM del HRG-1 del SPOT-5	Tamaño del píxel [m]	Rango espectral [nm]
Banda 1: Green (verde)	10	500 – 590
Banda 2: Red (rojo)	10	610 – 680
Banda 3: Near Infrared NIR (infrarrojo cercano)	10	780 – 890
Banda 4: short-wave infrared – SWIR (infrarrojo medio – MIR)	20	1580 – 1750



Gráfica 2. Sensibilidad espectral del sensor HRG1 del satélite SPOT 5 (Sitio web SPOTimage).

El primer paso es el intercambio de las bandas 1 y 3 de las imágenes SPOT-5 en formato DIMAP, que es donde se presentan este intercambio de bandas.

El cambio puede ser hecho en ERDAS IMAGINE con la función “subset” del menú “Data Preparation”. Aplica el orden “3, 2, 1, 4” por la ventana “select layers”. Output format sea Unsigned 8-bit. Dando como resultado las bandas en el siguiente orden 1= Green, 2 = Red, 3 = NIR, 4 = MIR.

En las SPOT-4 y las SPOT-2 no es necesario hacer el intercambio de bandas, dado que tanto SPOT-1, 2, 3 y 4 están en formato CEOS, manteniéndolas con el orden “3, 2, 1, 4” por la ventana “select layers”. Con ERDAS IMAGINE, igual a las SPOT 5, les guardamos en formato TIFF (Tabla 1). Finalmente a cada archivo de imagen SPOT se le modificó su nomenclatura inicial por esta otra reducida que permitió una identificación más rápida: Ej. 7211SPOT.tif (Tabla 1).

3. Pre-procesamiento de los datos. Conversión de radiancia a reflectancia.

La radiación según lo medido por el sensor es dependiente del irradiancia a esa altura. Para evitar las variaciones de la radiación debido a la variación anual del irradiancia solar se debe normalizar la radiación medida por el satélite a reflectancia de la parte alta de la atmósfera. (energía que recibe el sensor, reflejada por la atmósfera), Estos valores entonces serán comparables de una fecha a la otra, simplificando el trabajo de interpretar imágenes de diferentes fechas. La exactitud obtenida es apenas dependiente en la exactitud de la calibración.

Según el sitio web de la ESA, 2005, la ecuación que se aplica para cada píxel es:

$$\rho = \pi L_{cal}(\lambda) / d^2 E_s(\lambda) \cos \Theta_s$$

with:

ρ : reflectance at the Top Of the Atmosphere
 $L_{cal}(\lambda)$: spectral calibrated radiance at the TOA computed as described in previous section
 $E_s(\lambda)$: spectral solar irradiance at the TOA in $W/m^2/\mu m$ from Markham and Barker, (1988).
 Θ_s : solar zenith angle

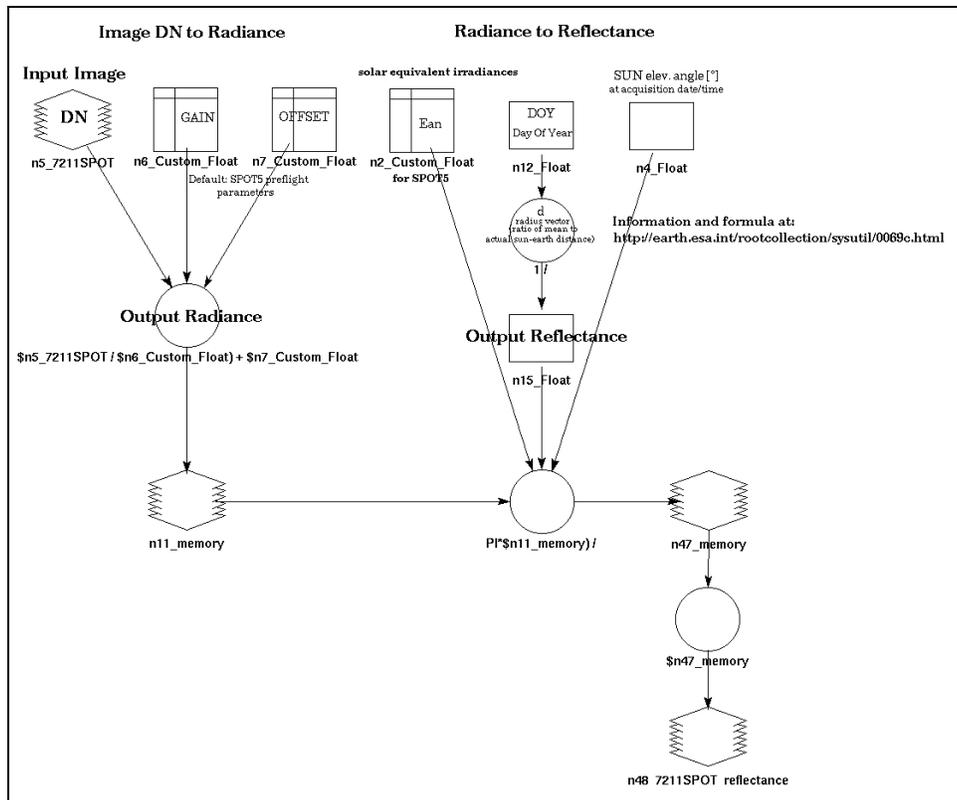
d : radius vector (ratio of mean to actual sun-earth distance)
 $d = 1 / (1 - 0.016729 \cos(0.9856 (DOY - 4)))$
DOY = Day Of Year from 1 to 365-366

$E_{s1} = 1957 W/m^2/\mu m$
 $E_{s2} = 1829 W/m^2/\mu m$
 $E_{s3} = 1557 W/m^2/\mu m$
 $E_{s4} = 1047 W/m^2/\mu m$
 $E_{s5} = 219.3 W/m^2/\mu m$
 $E_{s7} = 74.52 W/m^2/\mu m$

Los coeficientes de la conversión se almacenan en el encabezado de cada imagen.

La corrección atmosférica está aplicada para corregir alteraciones de la sensibilidad del sensor y la influencia de aerosoles y gases de la atmósfera. Como utilizamos varias imágenes SPOT la corrección atmosférica facilitó la clasificación de los datos. Este modelo no elimina efectos atmosféricos, solo los relativos al sensor.

Con el módulo Spatial Modeler del software ERDAS IMAGINE, el archivo "reflectance_spot_erdas.gmd" permitió convertir de valores digitales a radiancia y luego de Radiancia a Reflectancia (Esquema 1). Para este paso se requiere del conocimiento de los parámetros de Gain, Offset, día del año en juliano, y el ángulo de elevación solar, que se encuentran en el archivo "vol_list.pdf", que viene adjunto a cada imagen SPOT.



Esquema 1. Obtención de la radiancia y la reflectancia de SPOT en ERDAS IMAGINE.

Las imágenes de reflectancia resultantes tienen la nomenclatura: XXXXSPOT_reflectance.tif, donde XXXX es el número que identifica a las imágenes SPOT.

4. Cálculo del Índice de Vegetación Normalizado (NDVI)

El NDVI refleja el estado, la densidad de la vegetación y la actividad fotosintética. Está relacionado con la biomasa y correlacionado con la evapo-transpiración (Nemani and Running, 1989; Shin and Sawamoto, 1996; Sawamoto and Shin, 1997). Es calculado por el promedio de la intensidad medida en las bandas espectrales de SPOT en el Red (R) (rojo) (Banda 2) (610 – 680 nm) e infrarrojo cercano (NIR) (Banda 3) (780 – 890 nm) usando la fórmula (Rouse et al., 1973; 1974):

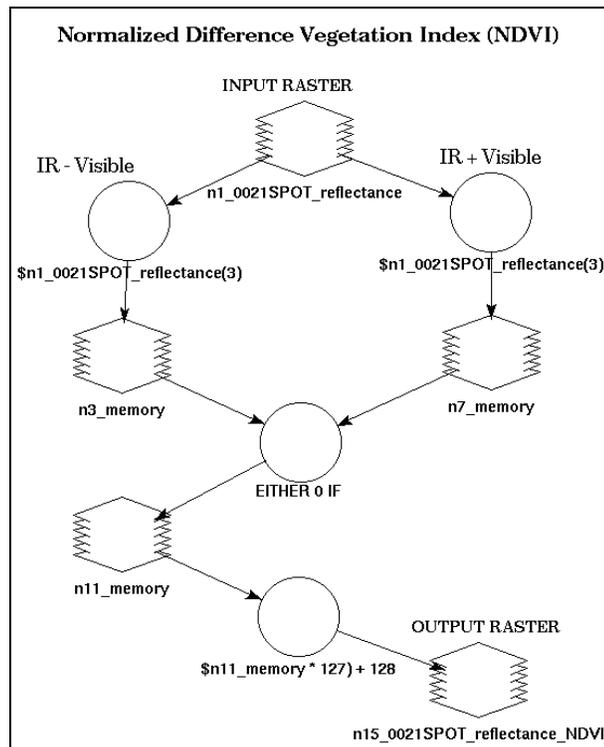
$$NDVI = [(NIR - Red) / (NIR + Red)]$$

El resultado de calcular el NDVI es un valor normalizado que esta en el rango entre (-1) y (+1). Valores cero y negativos significan que el porcentaje de vegetación es bajo o no hay presencia de vegetación, y cercano a +1 (0.8 - 0.9) indica que hay mayores posibilidades de densidad de hojas verdes.

Para llevar dichos valores a un rango entre 0 y 255 (8 bits) multiplicamos el NDVI por 127 y sumamos 128, quedando finalmente la siguiente expresión matemática empleada en nuestro estudio:

$$(SPOT) NDVI = [(Band 3 - Band 2) / (Band 3 + Band 2)] * 127 + 128$$

En la identificación de pozos se utilizó el NDVI para definir áreas sin vegetación. Este índice se calculó con el modelo para ERDAS IMAGINE “NDVI_8bit_normalized.gmd” que aplica un “stretch” de los datos de valores del rango entre -1 y 1, a un rango entre 0 y 255 en el formato de “unsigned 8bit” (Esquema 2). Utiliza como entrada los datos la imagen de reflectancia y genera una imagen con terminación NDVI “XXXXSPOT_reflectance_NDVI”.



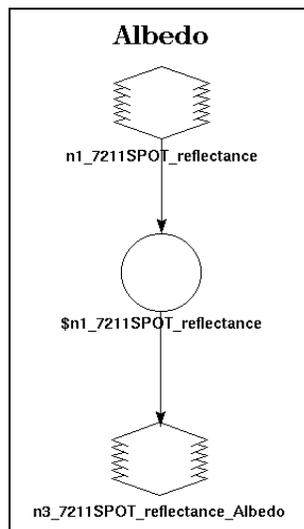
Esquema 2. Obtención del NDVI a partir de la reflectancia en ERDAS IMAGINE

5. Promedio de reflectancias

Con el fin de identificar los cambios bruscos de los valores de reflectancia de los píxeles potenciales a ser identificados pozos y sus vecinos se utilizó el promedio de las reflectancias. Es la sumatoria de todas las bandas espectrales de SPOT dividido por la cantidad de bandas (Esquema 3).

En nuestro caso la ecuación sería:

$$\frac{(\text{XXXXSPOT_reflectance}(1) + \text{XXXXSPOT_reflectance}(2) + \text{XXXXSPOT_reflectance}(3) + \text{XXXXSPOT_reflectance}(4))}{4}$$



Esquema 3. Obtención del promedio de la reflectancia o Albedo en ERDAS IMAGINE.

6. Análisis de la primera Componente Principal (Principal Component Analysis – PCA)

También llamada transformación de Hotelling ó Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés), es un procedimiento de estadística multivariado. Su origen está en la redundancia (en datos, no información) que hay muchas veces entre distintas variables. Lo que se pretende es facilitar el estudio de las relaciones existentes entre las variables y facilitar el análisis de la dispersión de las observaciones (poniendo en evidencia posibles agrupamientos, detectando las variables que son responsables de dicha dispersión).

Cada variable está representada por una banda, como muchas de ellas están relacionadas existe información redundante. El PCA define las relaciones entre variables y aíslan la verdadera contribución individual o conjunta de ellas mediante la construcción de nuevas variables independientes, en donde cada componente principal se describe como una función lineal de las variables originales.

7. Segmentación

La segmentación es delimitar las estructuras en una imagen raster. En nuestro caso permitió delinear los pozos de gas por su forma rectangular utilizando las reflectancia de cada banda, el NDVI, el promedio de reflectancia y la primera componente principal.

Extracción de parámetros estructurales

Inicialmente se cargaron todos los productos generados en eCognition con el siguiente orden: Banda 1-Green, Banda 2-Red, Banda 3-NIR, Banda 4-MIR, promedio de la reflectancia o Albedo, NDVI, y PCA1 (Figura 3).

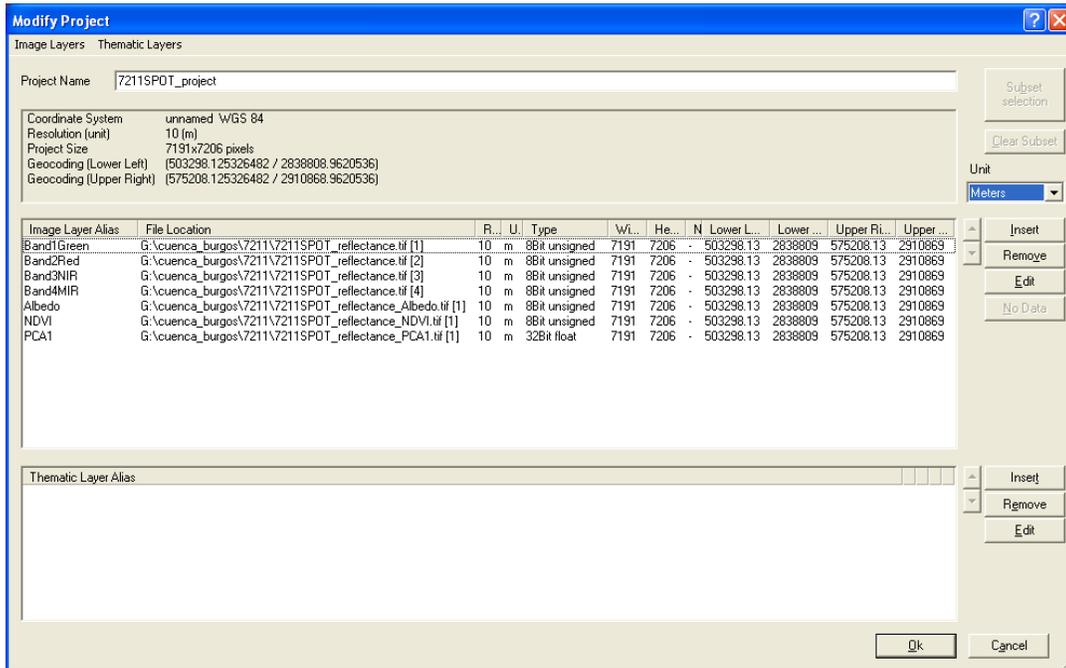


Figura 3. Ventana con las imágenes empleadas para la segmentación y la clasificación en eCognition.

En eCognition los píxeles son agrupados en polígonos cuando sus valores en los diferentes productos empleados son semejantes. El grado de similitud varia con la máxima heterogenidad permitida para un objeto en la imagen, definida por el parámetro *scale factor*. Además se incluye el criterio de homogeneidad que considera el parámetro *Compactness* que es usado para optimizar el objeto en la imagen en relación la compactación en conjunto, y el Shape que ayuda a evitar la alta fragmentación del objeto imagen.

Se realizaron diferentes pruebas para definir los valores de estos parámetros, identificándose para nuestro objetivos los siguientes: Scale parameter: 25, Compactness: 0.8, y 0.2 de valor del Shape (Figura 4). Otros valores provocaban que no se diferenciaban adecuadamente las estructuras referentes a los pozos.

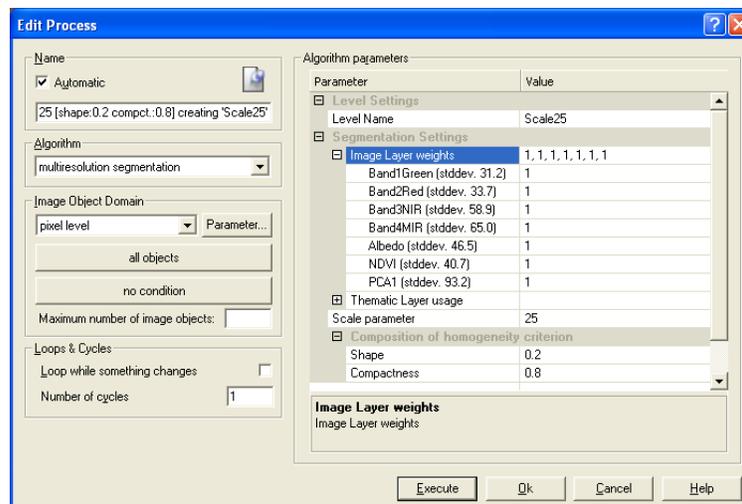


Figura 4. Ventana con el algoritmo para generar la segmentación “multiresolution” en eCognition.

Obtenida la segmentación se procedió a verificar visualmente si cada pozo tiene asociado un polígono, y en caso contrario se corrigieron manualmente.

8. Clasificación textural y espectral .

Una vez realizada la segmentación de los datos se puede calcular varios parámetros espaciales y texturales de los objetos (Object Features – Shape – Shape based on polygons) tal como Area, Perimeter, Number of Edges, etc.

A continuación se explica la función utilizada en eCognition para el trabajo:

Shape (Forma) - Generic (Genérico)

Área

En un dato no georreferenciado el área de un píxel es 1. Consecuentemente, el área de un objeto imagen es el número de píxel que la conforman. Si la imagen-dato está georreferenciada, el área de una imagen objeto es el área cubierta por el número de píxeles que forman la imagen objeto.

Rectangular fit (Ajuste rectangular)

El primer paso para calcular el “rectangular fit” es la creación de un rectángulo de la misma área como lo considera el objeto. En el cálculo del rectángulo la proporción de la longitud del ancho del objeto en sí. Después de éste paso, el área del objeto fuera del rectángulo se compara con el área dentro del rectángulo, que no se llena con el objeto (Figura 5).

Rango: [0,1], **1** = ajusta completamente, mientras que **0** = 0% de ajuste dentro de la aproximación rectangular.

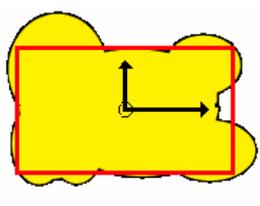


Figura 5. Rectangular fit (Ajuste rectangular)

Length/width (Largo / ancho)

Hay dos maneras de aproximar la relación largo/ancho de una imagen objeto: La relación largo/ancho es idéntica a la relación de los valores propios de la matriz de covarianza con el valor propio más grande que es el numerador de la fracción. La relación entre largo/ancho se puede también aproximar usando la caja de limitación (bounding box). **Definiens Professional** usa ambos métodos para el cálculo y toma el más pequeño de ambos resultados como el valor de la característica.

Rango: [0; ∞]

Shape index (Índice de la forma)

El índice de la forma (**Shape index**) es matemáticamente el largo de la frontera de la imagen objeto dividido por cuatro veces la raíz cuadrada de su área. Se usa el índice como la forma de describir la suavidad de los bordes de la imagen objeto (Figura 6).

Rango: [1,∞], **1**=ideal. Cuanto más fractal es una imagen objeto, más alto es el índice de su forma.

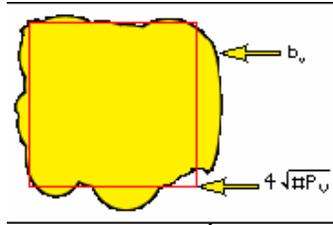


Figura 6. Shape index (Índice de la forma)

Border length (Largo de la frontera)

El largo de la frontera de una imagen objeto se define como la suma de los bordes de la imagen objeto que se comparte con otra imagen objetos o se sitúa en el borde de la escena entera (Figura 7). En datos no-georreferenciados la longitud de un borde del pixel es 1. Rango: $[0, \infty]$

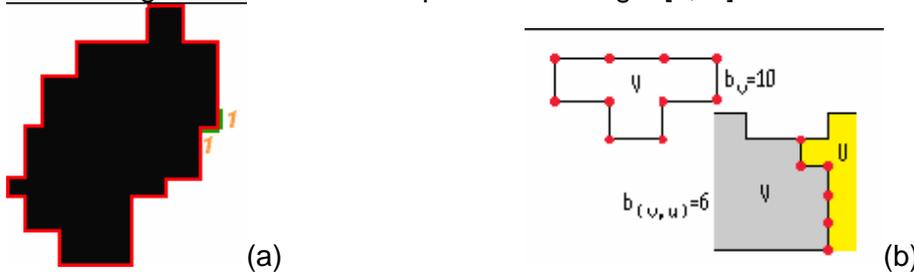


Figura 7 (a) (b). Border length (Largo de la frontera)

Edges longer than ... (Bordes más de largo que...)

Esta característica reporta el número de bordes que tienen longitudes que exceden un valor umbral. El usuario define el valor umbral.

Width (Ancho)

El ancho de una imagen objeto se calcula usando la relación largo / ancho. Rango: $[0, \infty]$

Density (Densidad)

La densidad se puede expresar por el área cubierta la imagen objeto dividido por su radio. **Definiens Professional** implementa lo siguiente, donde n es el número de pixeles que forma la imagen objeto y el radio esta aproximado usando la matriz de la covarianza. La densidad es usada para describir cuan compacta es una imagen objeto. La forma compacta ideal sobre un raster-pixel es el cuadrado. Cuanto más es la forma de una imagen objeto como un cuadrado, más alta es su densidad.

Rango: $[0, \text{depended on shape of image object}]$

Valores de la capa

Brightness (Brillo)

Es la suma de los valores medios de las capas que contienen la información espectral dividido por su cantidad calculada para una imagen objeto (valor medio de los valores medios espectrales del imagen objeto).

Para definir qué capas proporcionan la información espectral en eCognition, se utiliza el dialogo **Define Brightness** (menu item **Classification > Advanced Settings > Select Image Layers for Brightness**).

Puesto que los valores negativos y positivos combinados de los datos crearían un valor erroneo para el brillo, esta característica se calcula solamente con capas de valores positivos.

Condiciones: Solamente disponible para las escenas con más de una capa.

Min. pixel value (Valor mínimo del pixel)

Valor del pixel con el valor mínimo de la intensidad de la imagen objeto (Figura 8).

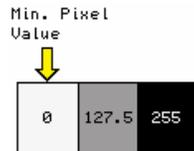


Figura 8. Min. pixel value (Valor mínimo del pixel)

Max. pixel value (Valor máximo del pixel)

Valor del pixel con el valor máximo de la intensidad de la imagen objeto (Figura 9).

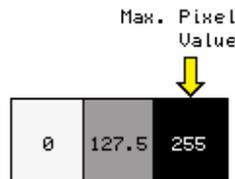


Figura 9. Max. pixel value (Valor máximo del pixel)

Mean diff. to neighbors (promedio de la diferencia con los vecinos)

Para cada objeto vecino se calcula la diferencia del promedio de la capa y cargado con respecto a la longitud de los bordes entre los objetos (si son vecinos directos, la distancia es 0) o el área cubierta por los objetos vecinos (si la vecindad se define dentro de cierto perímetro (en pixeles) alrededor de la imagen objeto en cuestión, la distancia será > 0) (Figura 10).

Condiciones: Si $w=0$ la fórmula es inválida.

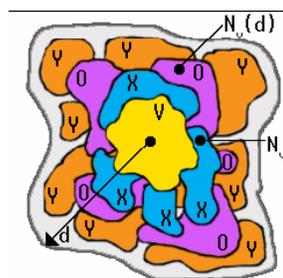
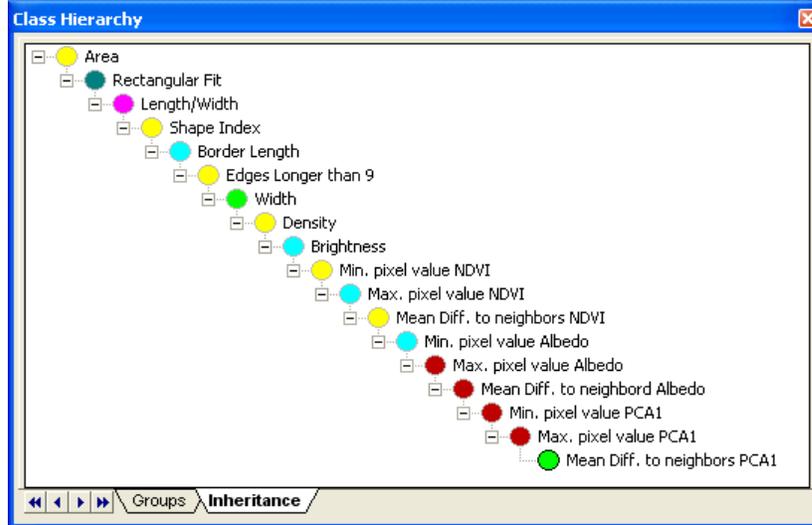


Figura 10. Mean diff. to neighbors (promedio de la diferencia con los vecinos)

La Figura 11 muestra el orden de las clases seleccionadas y la gerarquía entre ellas.

Figura 11. Ventana que muestra la jerarquía de las clases en eCognition.



Para todas las clases se empleó una función del tipo que muestra la Figura 12.

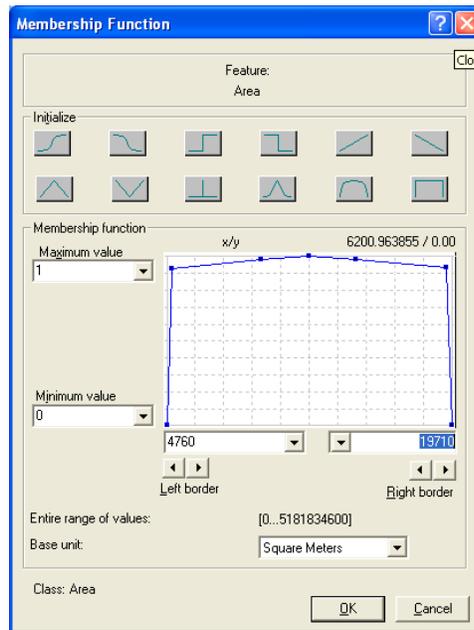


Figura 12. Ventana que muestra la función empleada para cada clase en eCognition.

Los rangos de forma y espectrales que identifican los pozos de gas son mostrados en las tablas 3 y 4 respectivamente.

Tabla 3. Rangos de forma que identifican los pozos de gas.

Características de forma	Min.	Máx.
Area	318	1971
Rectangular Fit	0.77	1.1
Length/Width	0.7	2.1
Shape Index	0.9	1.6
Border Length	200	621

Edges Longer than 9	0	9
Width	50	141
Density	1.3	2.2

Tabla 4. Rangos espectrales que identifican los pozos de gas.

Características espectrales	Min	Máx.
Brightness	91	208
Min. pixel value NDVI	123	165
Max. pixel value NDVI	137	211
Mean Diff. to neighbors NDVI	-50	-0.4
Min. pixel value Prom. Ref.	50	172
Max. pixel value Prom. Ref.	80	200
Mean Diff. to neighbor Prom. Ref.	7	79
Min. pixel value PCA1	98	343
Max. pixel value PCA1	157	396
Mean Diff. to neighbors PCA1	9	169

Una vez que se generan los polígonos automáticamente, se eliminan manualmente aquellos que a simple vista no constituyen un pozo.

Exportar los polígonos

Una vez identificados los pozos a través de los polígonos como se muestra en la Figura 13, se exportaron a formato vector *Shapefile* para que puedan ser analizados.

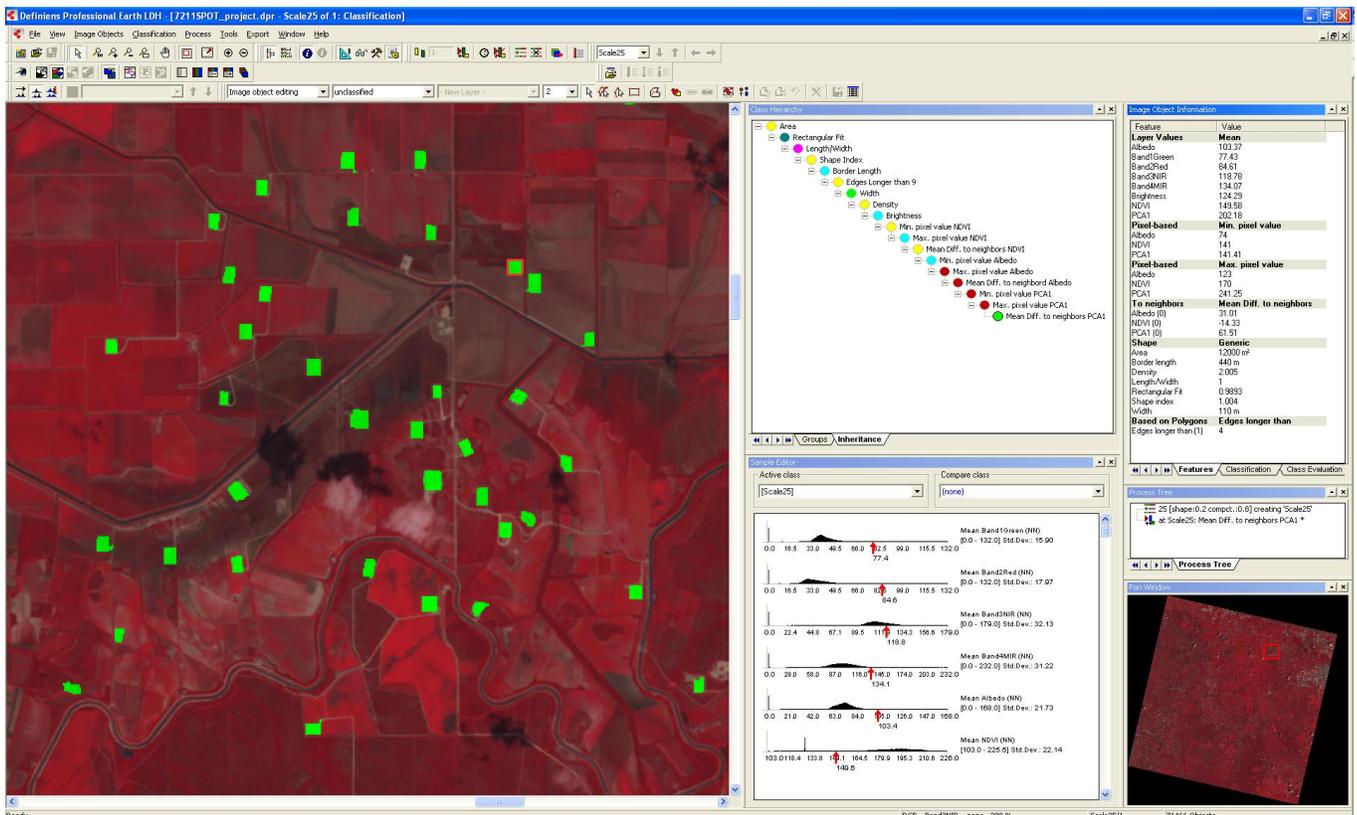


Figura 13. Identificación de los pozos de gas (en color verde) a partir de la generación de archivos vectoriales (*shape file*) en eCognition.

Para exportar los polígonos se elige el contenido tipo „Polygon Raster“ de la clase final „Mean Diff. To neighbors PCA1“ (Figura 14). El resultado siempre está escrito con el nombre XXXXGaswell.shp, donde XXXX es la identificación de la imagen SPOT.

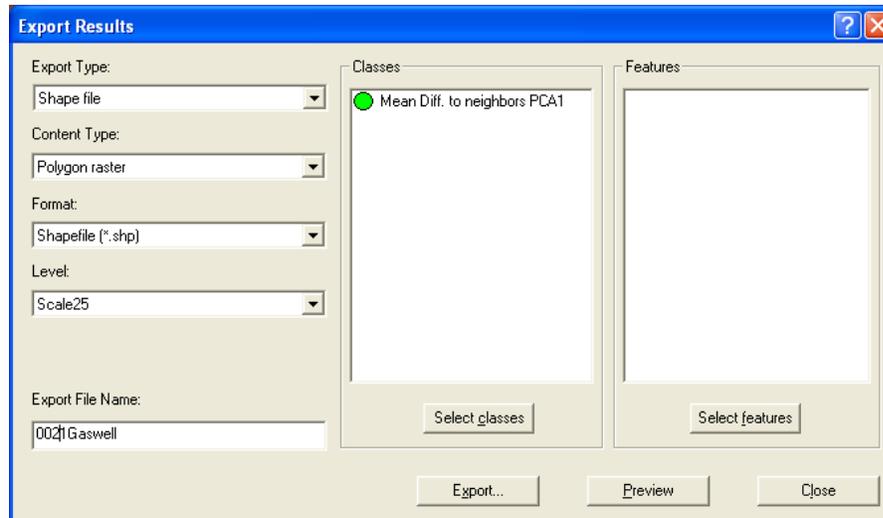


Figura 14. Ventana para exportar a shape file en eCognition.

El resultado no tiene definida una proyección, por lo que se le debe asignar con ArcView, así como adicionar un campo con la información referente a la imagen de satélite SPOT asociada a cada polígono.

Resultados en polígonos

Las imágenes se trabajaron individualmente y a cada una se le generó un archivo vectorial en *shapefile*. Cada imagen presenta un traslape con diferentes proporciones entre las diversas imágenes, por lo que para hacer un conteo final de los pozos identificados fue necesario unir todos los archivos individuales, eliminando los pozos que se repiten como resultado de dicho traslape.

No se generó un mosaico con las imágenes debido al tamaño que resultaría de la unión entre ellas tanto para la reflectancia, como para el NDVI, el promedio de la reflectancia, y la PCA1, que son las entradas que requiere el eCognition. Teniendo en cuenta que una imagen SPOT multiespectral ocupa aproximadamente entre 50 y 250 Mbytes, el mosaico sería un archivo poco manejable de varios Gbytes.

Se trabajó inicialmente con las imágenes individuales completas porque no se conocía la distribución de los pozos, y esto ayudó a no eliminar información que por presencia de nubes, sombras, u otro motivo, pudiera eliminar en un imagen pero en la continua no.

Criterios de unión y eliminación de polígonos duplicados

Con el objeto de disminuir la posibilidad de errores se unieron los archivos de dos en dos, iniciando con aquellos archivos con mayor número de polígonos: la imagen 8201SPOT (con resolución de 10 m) y la 1858SPOT (con resolución de 20 m). A partir de esta primer unión se establecieron los siguientes criterios:

1. Dar prioridad a los polígonos resultado de imágenes de 10 m.

2. Cuando los polígonos provengan de la misma resolución se dará prioridad a la imagen que presente mayor número de polígonos para evitar disminuir la eliminación de polígonos.
3. Se dará prioridad a los polígonos que ya sean resultado de uniones anteriores.

Se identificaron individualmente para cada imagen 2164 polígonos, de los cuales 476 fueron eliminados por duplicarse. En la Tabla 5 se presenta el número de polígonos originales y finales por imagen SPOT.

Tabla 5. Número de polígonos identificados original y finalmente por imagen SPOT.

No.	Nombre de la imagen SPOT	Res. espacial [m]	K	J	Número de polígonos identificados	Número de polígonos finales
1	0021SPOT	20	583	295	59	27
2	0570SPOT	10	584	298	22	15
3	0678SPOT	10	586	300	16	12
5	1859SPOT	20	586	298	460	337
7	3359SPOT	20	586	299	191	152
8	3365SPOT	10	585	297	190	70
9	3651SPOT	20	587	298	63	34
10	5552SPOT	10	584	298	25	24
12	5707SPOT	10	584	297	205	203
18	7533SPOT	10	587	300	22	21
19	8201SPOT	10	585	298	608	599
20	8513SPOT	20	583	296	52	26
21	8674SPOT	20	586	300	27	25
22	8850SPOT	10	584	296	78	78
23	9442SPOT	10	588	300	10	5
24	9663SPOT	10	585	299	118	43
25	9755SPOT	10	587	299	18	17

Finalmente se identificaron 1688 polígonos como posibles pozos de gas, los cuales cubren un área de 1,572.44 has. El polígono con mayor área es de 2.2 has. y el polígono menor es de 0.33 has. El tamaño promedio es de 0.9315 has. La moda es de 0.96 has.

En la Tabla 6 se presenta el total de polígonos por tamaño.

Tabla 6. Total de polígonos identificados por imagen SPOT.

No. de Clases	Clase de tamaño	Total de polígonos	Porcentaje
1	Mayor a 1.5 ha.	121	7.17
2	De 1 a 1.5 has.	485	28.73
3	De 0.70 a 1 has	639	37.86
4	De 0.5 a 0.7	315	18.66
5	Menor a 0.5	128	7.58

Conforme a esta clasificación podemos observar que las clases 2 y 3 suman más del 60 % de los polígonos identificados. Este tamaño se aproxima al área requerida para un pozo de producción de 1.5 has. y con 0.5 has. de inicio (Comunicación personal de Juan M. Labougle, en su presentación de Proyecto Ambiental Cuenca de Burgos).

La distribución de los pozos identificados muestra un patrón de concentración y dispersión, observando una mayor concentración de pozos en la parte media de la Cuenca de Burgos en los municipios de Guerrero, Miguel Alemán, Mier y Reynosa del estado de Tamaulipas; General Bravo y Dr. Coss del estado de Nuevo León; presentando una mayor dispersión hacia los extremos del área señalada.

Por otra parte se identificaron pozos de gas fuera del límite oficial de la Cuenca de Burgos, en los municipios de Burgos y Crujillas en el estado de Tamaulipas, General Terán, Cadereyta Jiménez, Los Ramones, Dr. González, Pesquería, entre otros, en el estado de Nuevo León.

Por la resolución de las imágenes los polígonos se podrán imprimir a una escala cartográfica menor o igual a 1:50 000.

Finalmente los polígonos que representan los pozos de gas quedó en el archivo "pozogas.shp" y son mostrados en un mapa titulado "Pozos de gas en la Cuenca de Burgos identificados con imágenes de satélite SPOT" (Figura 15).

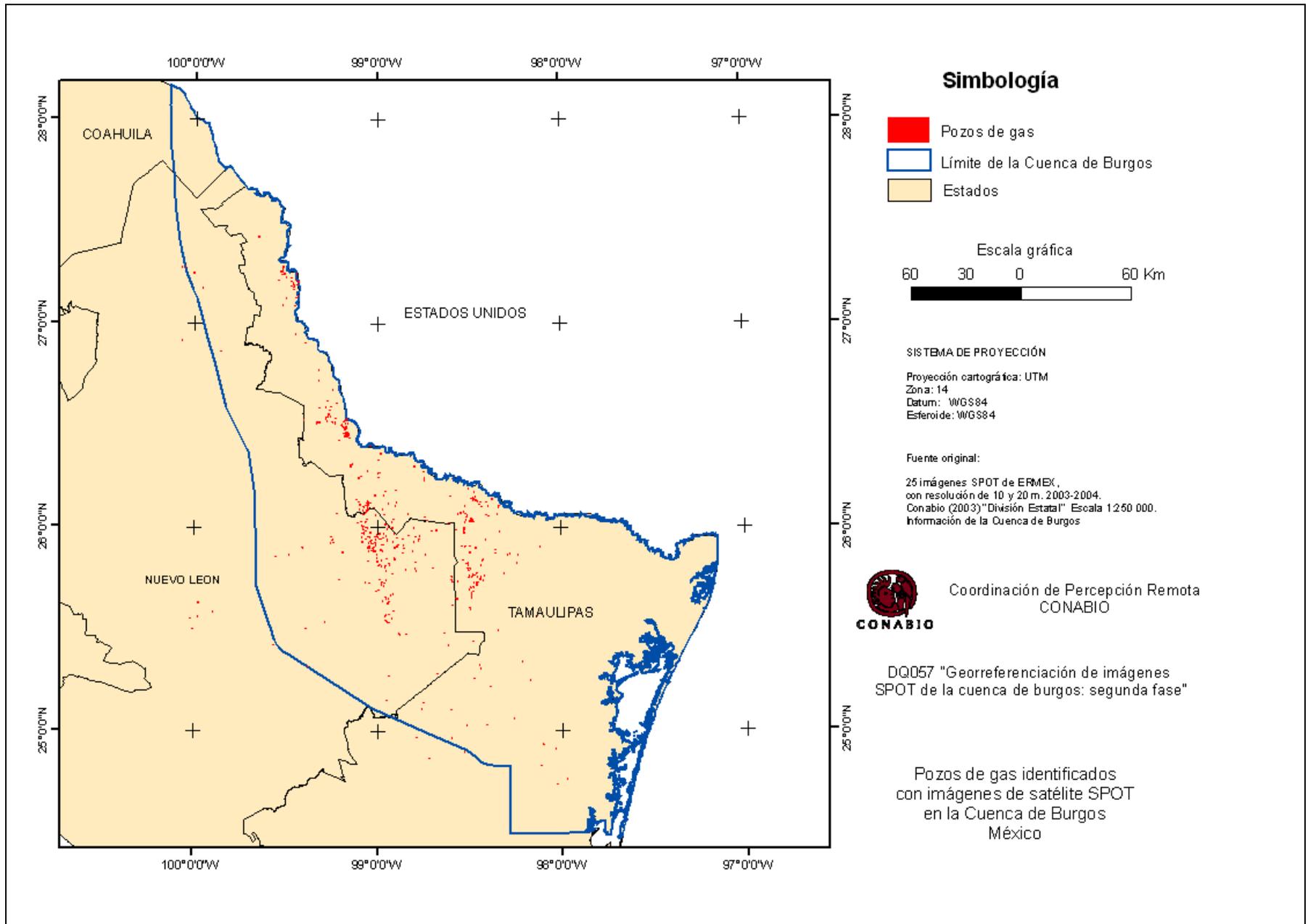


Figura 15. Mapa con los pozos de gas en la Cuenca de Burgos identificados con imágenes de satélite SPOT.

Conclusiones

Utilizando los programas eCognition, ERDAS IMAGINE y ArcView se realizó la corrección del error del sensor (conversión de radiancia a reflectancia), el cálculo del índice de vegetación normalizado (NDVI), el cálculo del promedio de la reflectancia, el cálculo de la primera componente principal, la segmentación, la clasificación, la unificación y la estadística de los polígonos, a partir de imágenes georreferenciadas del satélite SPOT que cubren la Cuenca de Burgos entre el 21 de noviembre del 2003 y el 18 de agosto del 2004. Con ello se generaron los polígonos que identifican los pozos productores de gas, generándose finalmente un mapa con la localización de ellos en la región. Se identificaron 1688 polígonos como posibles pozos de gas, los cuales cubren un área de 1,572.44 has. El polígono con mayor área es de 2.2 has. y el polígono menor es de 0.33 has. El tamaño promedio es de 0.9315 has.

Para una actualización de la distribución de los pozos se recomienda la utilización de imágenes SPOT-5 (de la Antena de ERMEXS) del 2006 y con resolución homogénea de 10 m en todas sus imágenes multiespectrales.

Considerando que los trabajos de establecimiento de un pozo requieren aproximadamente de 1.5 hectáreas y la forma generalmente es rectangular, en la cual se elimina la vegetación, se pudieron identificar 1688 polígonos con la ayuda del software eCognition, mediante el cual se pudo considerar el área y la forma.

Los polígonos con área mayor a 1.5 has. se puede deber a una ampliación del área, como se aprecia en la fotografía 2, o por la existencia de otro tipo de instalaciones, asociadas a la explotación de gas, con dimensiones y requerimientos de espacio mas grandes que los pozos.

La presencia de los polígonos pequeños se puede deber a la presencia de pozos inactivos donde la vegetación pudiera haberse regenerado.

Referencias

Adrián Lajous, 2004: La cuenca de Burgos y los contrato de servicios múltiples. Sitio web: <http://www.jornada.unam.mx/2004/03/17/per-cuenca.html>. Marzo 2004.

Nemani, R.R. and Running, S.W. 1989. "Estimation f Regionalsurface resistance to evaportanspiration from NDVI and thermal -IR AVHRRR data", Journal of Applied Meteorology, 28, 276-284.

Rouse, J.W. Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering J.A. 1973. "Monitoring vegetatin systems in the Great Plains with ERTS", Third Symposium on Significant Results Obtained with ERTS -1, NASA, SP-351, 309-317.

Sawamoto, M. and Shin, S. 1997. "Water balance evaluation in the Korean Peninsula through vegetation monitoring", Journal of the Remote Sensing Society of Japan, 17, 3, 220-231.

Shin, S. and M. Sawamoto. 1996. "Evaluation of the annual water balance through vegetation monitoring", International Conference on Water Resources & Environment Research: Towards the 21th Century (Volume I), Water Resources Research Center, Kyouto University, Japan, 635-641.

Sitio Web de la ESA, 2005: Conversion coefficients radiance-reflectance. <http://earth.esa.int/rootcollection/sysutil/0069c.html>. Enero 2005.

Sitio Web de PEMEX, 2003: Boletín de la Sala de Prensa: Pemex y Profepa acuerdan la restauración de más de tres mil hectáreas de la Cuenca de Burgos. <http://www.pemex.com.mx/index.cfm?action=content§ionID=8&catID=40&subcatID=1449>. 14 de Diciembre de 2003.

Sitio Web de USGS, 2004: Hoja Informativa del Proyecto Evaluativo de la Energía Mundial: Evaluación de los Recursos Potenciales de Petróleo y Gas en la Provincia de la Cuenca de Burgos, México Nororiental, 2003. http://walrus.wr.usgs.gov/infobank/programs/html/factsheets/pdfs/2004_3007_esp.pdf. Febrero 2004.

Sitio Web del Gobierno de Tamaulipas, 2004: La Competitividad de las regiones, el reto del siglo XXI. <http://elretodelsiglo21.tamaulipas.gob.mx/gasnatural.htm>. Octubre 2004.

Sitio web SPOTimage:

http://www.spotimage.fr/automne_modules_files/standard/public/p554_fileLINKEDFILE_spectral-sens.xls
