



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

ESTUDIO GEOQUÍMICO DE SUPERFICIE
CUENCAS CESAR - RANCHERÍA

Y

SINÚ – SAN JACINTO

Técnica: Gas en espacio libre

Contrato 81, de Diciembre 26 de 2005

Presentado a: AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS

Por: HIDROGEOLOGÍA, GEOLOGÍA, AMBIENTAL LTDA.

Bogotá, Abril de 2006



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

Presentación

Este estudio de Prospección Geoquímica de Superficie, de muestras de suelo, de las áreas Perijá y Turbaco – Luruaco, de las cuencas Cesar – Ranchería y Sinú – San Jacinto, respectivamente, se presenta en tres informes, así:

Volumen 1: Informe de Adquisición de Muestras de Campo, Abril de 2006.

Volumen 2: Informe de Cromatografía de Gases de Suelo, Junio de 2006.

Volumen 3: Informe de Interpretación de Geoquímica de Superficie, Julio de 2006.



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

INFORME DE ADQUISICIÓN DE MUESTRAS DE CAMPO
ESTUDIO GEOQUÍMICO DE SUPERFICIE ÁREAS PERIJÁ Y
TURBACO- LURUACO

CONTRATO 081. DICIEMBRE 26 DE 2005

DIRIGIDO A:

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS

Volumen 1

Por:

Luís Ernesto Castillo Pardo

Geólogo

Fabio Córdoba

Geólogo MSc.

Omar Wilches

Geólogo MSc.

Bogotá, D.C, Abril de 2006



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Objetivos	8
1.2 Localización	8
1.3 Metodología	16
1.4 Equipo de Muestreo	20
1.5 Modificación Puntos de Muestreo	20
1.6. Muestreo de Rezumaderos	20



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa índice.	9
Figura 2. Polígono área de estudio Perijá	12
Figura 3. Imagen de Satélite Área de estudio Perijá escala 1:100.000	13
Figura 4. Polígono área de estudio Turbaco - Luruaco	15
Figura 5. Imagen de Satélite Área de estudio Turbaco Luruaco escala 1:100.000	16
Figura 6. Horizontes del suelo	19



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Polígono área Perijá	10
Tabla 2. Polígono área Turbaco - Luruaco	10
Tabla 3. Planchas Área Perijá	11
Tabla 4. Planchas Área Turbaco Luruaco	14



LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Mapa con puntos iniciales de muestreo Perijá
- Anexo 2. Mapa con puntos iniciales de muestreo Turbaco- Luruaco
- Anexo 3. Mapa con puntos finales de muestreo Perijá
- Anexo 4. Mapa con puntos finales de muestreo Turbaco- Luruaco
- Anexo 5. Listado de coordenadas iniciales y finales Área Perijá
- Anexo 6. Listado de coordenadas iniciales y finales Área Turbaco- Luruaco
- Anexo 7. Fichas de campo Área Perijá (Copia Digital)
- Anexo 8. Fichas de campo Área Turbaco-Luruaco (Copia Digital)
- Anexo 9. Fichas de rezumaderos Área Turbaco-Luruaco.



1. INTRODUCCIÓN

Este informe presenta las actividades de la etapa de muestreo del Estudio Geoquímico de Superficie de las áreas de Perijá en el Departamento del CESAR y Luruaco-Turbaco, en el Departamento de BOLÍVAR (Figura 1) con fines exploratorios en la búsqueda de petróleo, según el contrato 081 del 26 de diciembre de 2005, firmado entre la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y la compañía Hidrología, Geología, Ambiental, Ltda. (HGA LTDA).

1.1 Objetivos:

Tomar 500 muestras de suelo en el área de Perijá, y 400 muestras en el área de Turbaco –Luruaco, mediante la técnica de muestreo para gas de espacio libre (Head space gas), y su posterior análisis cromatográfico con el propósito de detectar y cuantificar posibles gases livianos presentes en ellas.

1.2 Localización

Las zonas de muestreo del presente estudio están cubiertas por planchas topográficas en escalas 1:100.000 y 1: 25.000 disponibles en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y se encuentran localizadas así (ver coordenadas polígonos en Tablas 1 y 2):

En el área de Perijá se usaron las planchas en escalas: 1:100.000 y 1: 25.000, N^os.: 27, 34 y 41 (Tabla 3). Geográficamente el área de muestreo corresponde a un Valle ondulado limitado al este por el flanco occidental de la serranía de Perijá y al oeste por la Sierra Nevada de Santa Marta. (Figura 2)



Tabla 1. Polígono área Perijá

PUNTOS POLIGONO	NORTE (m)	ESTE (m)
P1	1656000	1097000
P2	1654000	1111000
P3	1624000	1102000
P4	1569000	1102000
P5	1569000	1087000
P6	1628000	1087000

Tabla 2. Polígono área Turbaco - Luruaco

PUNTOS POLIGONO	NORTE (m)	ESTE (m)
P1	1682614	880106
P2	1679321	895556
P3	1642848	886691
P4	1626385	914046
P5	1590165	905434
P6	1613119	841492
P7	1642435	843186
P8	1665648	850935

Geológicamente, la cuenca Cesar- Ranchería (Perijá) es un valle extendido en dirección N 65°E, el cual está relleno de sedimentos mesozoicos y cenozoicos, cubiertos por depósitos aluviales recientes que ocasionalmente conforman terrazas.

El estilo estructural predominante se caracteriza por ser un bloque tectónicamente fallado durante varias etapas de las eras paleozoica y cenozoica. (Cáceres H. *et al.*, "The Geology of the Ranchería Basin", 1980).



Tabla 3. Planchas Área Perijá

1:100000	1:25000
27	27-IV-A
	27-IV-B
	27-IV-C
	27-IV-D
34	34-II-A
	34-II-C
	34-III-B
	34-III-D
	34-IV-A
	34-IV-C
41	41-I-B
	41-I-D
	41-II-A
	41-II-C
	41-III-B
	41-III-D
	41-IV-A
	41-IV-C

En la cuenca Sinú (Luruaco -Turbaco) fueron utilizadas las planchas en escalas 1:100.000 y 1:25.000 N^os. 23 y 30 (Tabla 4) .El área de muestreo corresponde topográficamente a una región muy suave que no excede los 200m de altura s.n.m. (Figura 3).



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

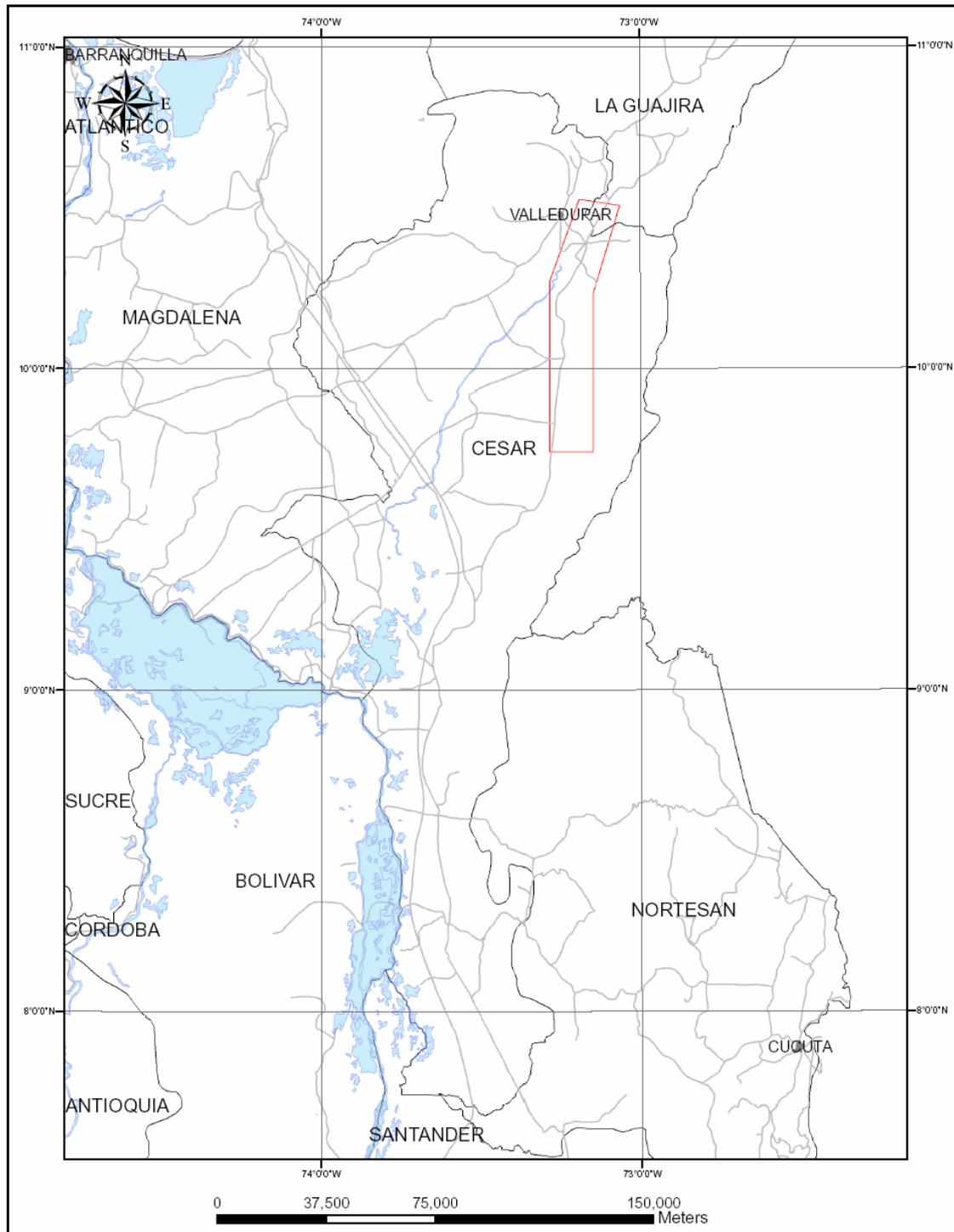


Figura 2. Polígono área de estudio Perijá

(Fuente: Dane, 1999)

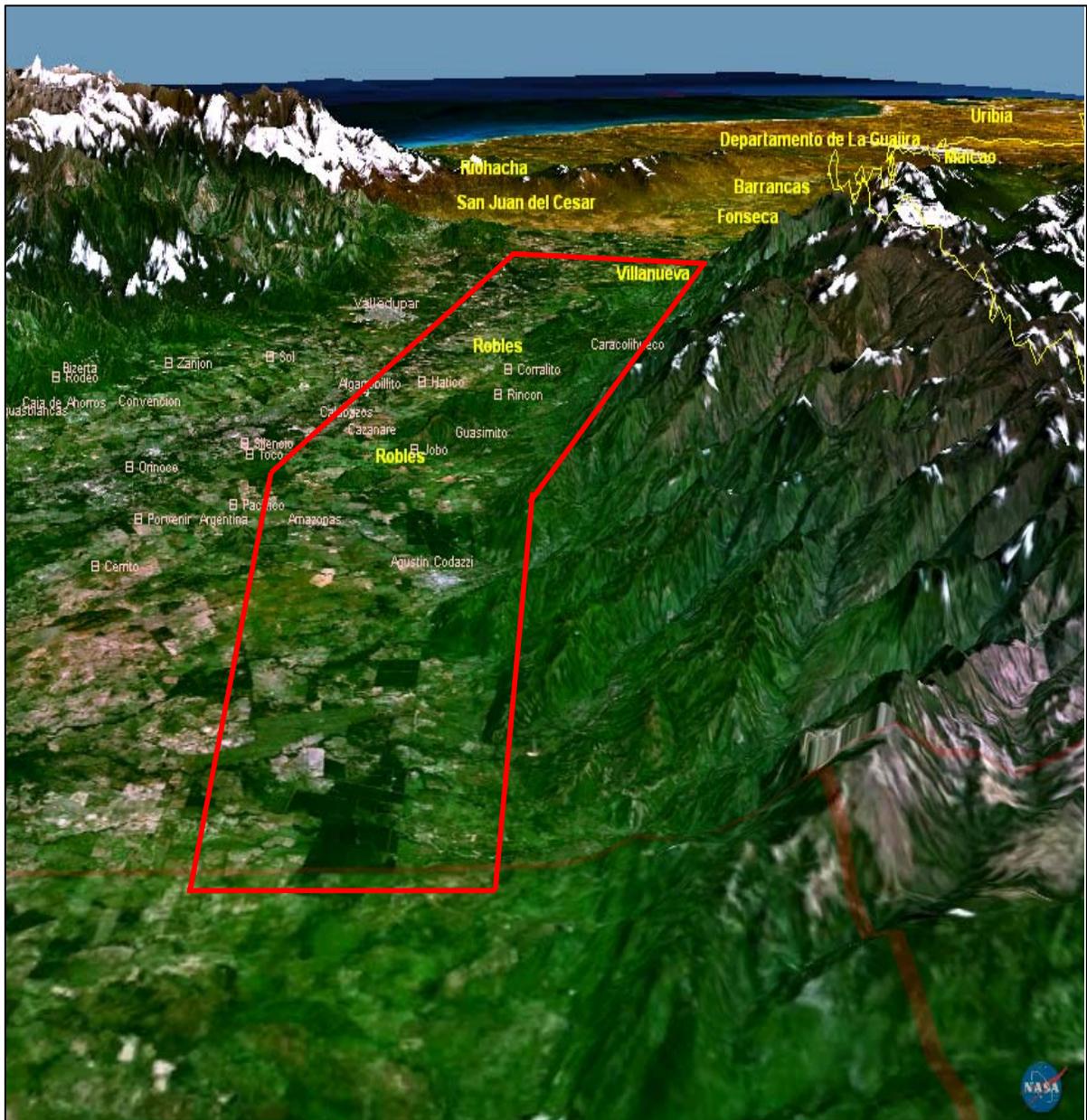


Figura 3. Imagen de Satélite Área de estudio Perijá escala 1:100.000

(Fuente: Nasa World Wind)



Tabla 4. Planchas Área Turbaco Luruaco

1:100000	1:25000
23	23-III-B
	23-III-D
	23-IV-A
	23-IV-C
	23-IV-D
30	30-I-B
	30-I-D
	30-II-A
	30-II-B
	30-II-C
	30-II-D

Geológicamente el área está conformada principalmente por los anticlinorios de Turbaco y Luruaco que se encuentran separados por una falla de contacto y que conservan una dirección suroeste-noreste. Estratigráficamente se presentan afloramientos de rocas sedimentarias con edades terciarias del Oligoceno al Plioceno. En su mayoría son sedimentos marinos, predominando areniscas arcillosas y ocasionalmente conglomerados y calizas.



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

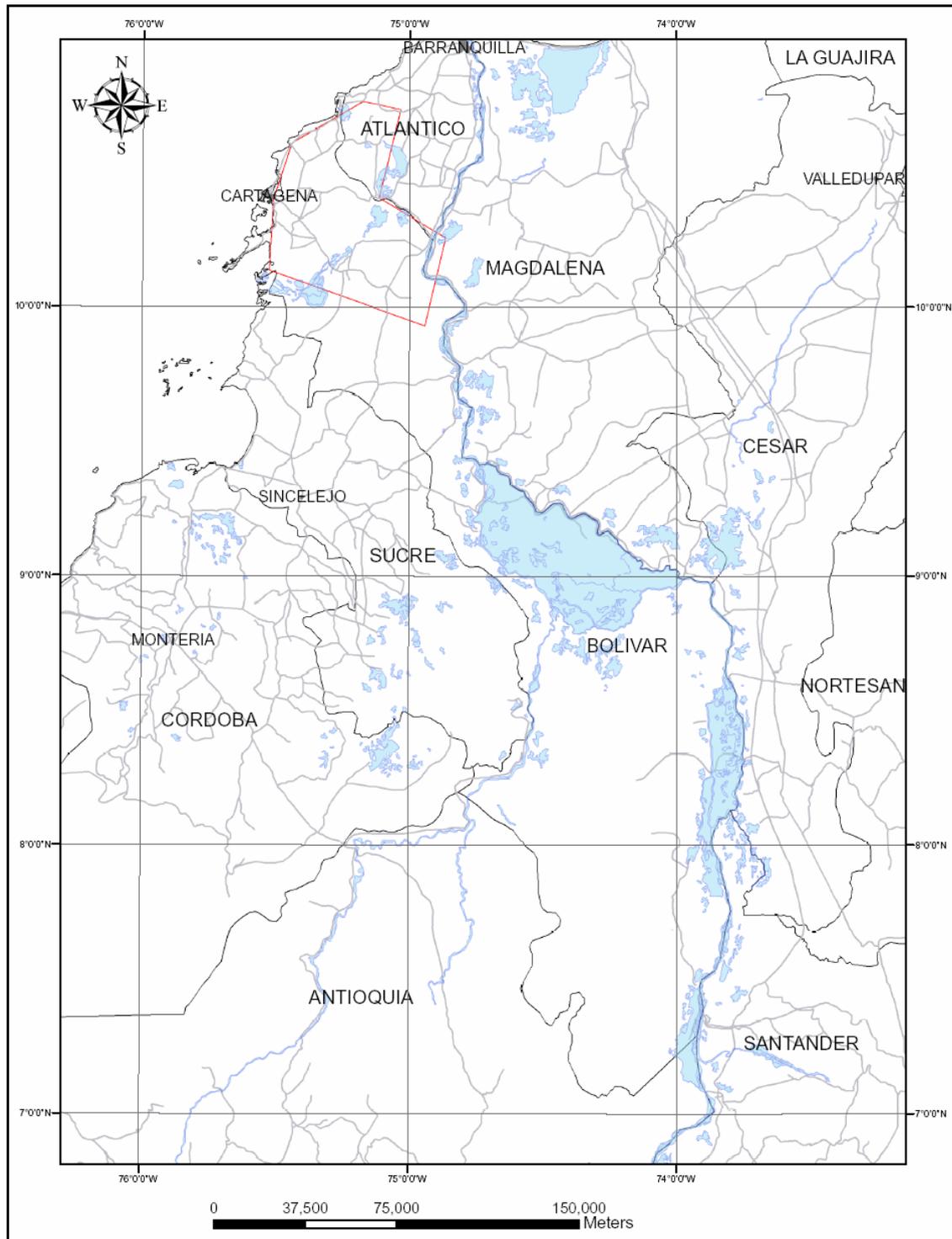


Figura 4. Polígono área de estudio Turbaco - Luruaco

(Fuente: Dane, 1999)



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

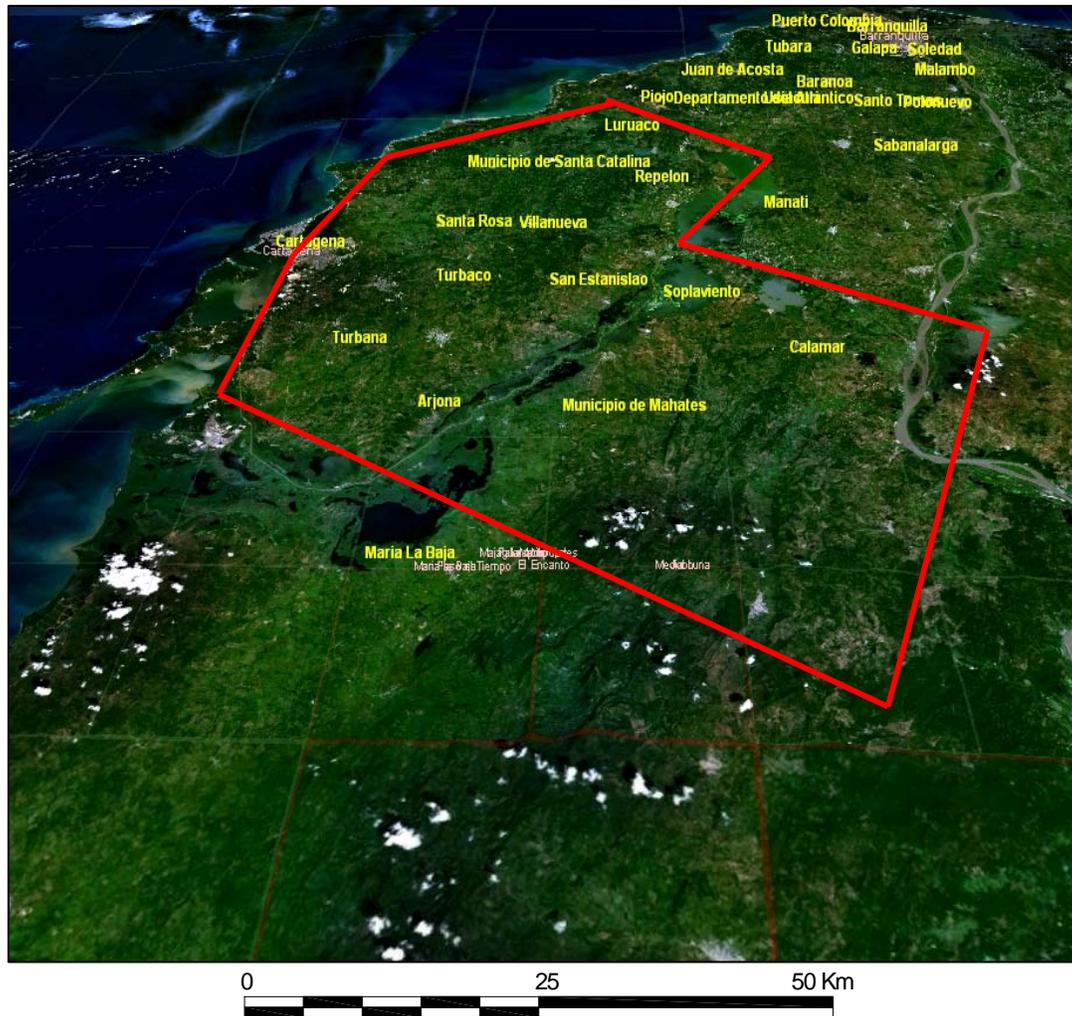


Figura 5. Imagen de Satélite Área de estudio Turbaco Luruaco escala 1:100.000

(Fuente: Nasa World Wind)



1.3 Metodología

- Se inició con mallas de muestreo diseñadas por la **ANH** (Agencia Nacional de Hidrocarburos), teniendo como base, estudios geológicos realizados anteriormente que definen estructuras de posible interés exploratorio y productivo.
- La malla del Área de Perijá se subdividió en dos zonas de muestreo separadas aproximadamente 17 kilómetros, en dirección Norte-Sur quedando 7 líneas en el bloque Norte, 6 con dirección Noroeste-Sureste y 1 Norte-Sur; y en el bloque Sur 12 líneas Este-Oeste y 1 Norte - Sur, para un total de 20 líneas de muestreo (Anexo 1). Iniciando el trabajo de toma de muestras el 18 de febrero /06 y terminando el 14 de marzo /06.
- En el Área Turbaco - Luruaco fueron programadas 10 líneas, 9 en dirección Este-Oeste y 1 dirección Norte- Sur (Anexo 2). Para estas direcciones se tuvo en cuenta su relación con las principales estructuras y fallas geológicas, presentes en la zona y que pueden contribuir con la emisión de gases del subsuelo. El muestreo se inició el día 17 de marzo /06 finalizando el 4 de abril/06.
- La distancia entre las líneas de muestreo se programó aproximadamente cada dos kilómetros y el espaciamiento de los puntos de muestreo de 500 m. En algunos casos fue necesario hacer pequeños movimientos por problemas topográficos o disponibilidad del terreno.
- A partir de la localización de esta malla con los puntos de muestreo, se procedió a enumerar consecutivamente cada uno, desde el punto 1 hasta el último, así: para el área de Perijá, el primero se denominó P-1 continuando ordenadamente hasta el último punto que se llamó P-500. En el área Turbaco-Luruaco se inició con TL-1 hasta TL-400, último punto. Posteriormente se leyeron las coordenadas origen Bogotá para cada punto (Anexos 5 y 6), con las cuales se alimentó diariamente cada GPS, según las líneas asignadas a cada geólogo para muestreo.



- Antes de iniciar el trabajo se llevó a cabo una etapa de reconocimiento de las zonas, con el propósito de diseñar las estrategias para tomar las muestras de acuerdo con la topografía, la gestión de los permisos correspondientes para el ingreso a las diferentes fincas involucradas en el área de muestreo, contratar personal auxiliar conocedor del campo, vehículos y la selección de los sitios base.
- Para la localización, sobre el terreno, de los puntos de muestreo se utilizó un equipo de sistema de posicionamiento global o GPS (Global Positioning System), etrex Summit, marca Garmin, con receptor de 12 canales paralelos, precisión de 15 metros; con brújula incorporada, precisión de 5 grados, resolución de 1 grado, y altímetro de precisión de 10 pies.
- Se utilizó un barreno manual para la perforación de huecos de profundidades hasta aproximadamente 1,50m y 15 cm. de diámetro. (Se tuvo disponible un barreno motorizado, para aquellos posibles suelos mecánicamente duros, pero no fue necesaria su utilización). La profundidad final del hueco está determinada por la llegada a la capa (horizonte C) de suelo fresco (Figura 4) que permita tomar la muestra libre de material contaminante como posible materia orgánica de la parte superior.
- En cada estación de muestreo, se colectaron aproximadamente 250 gramos de suelo, que se colocaron en un tarro de hojalata, provisto de tapa perforable (septo de silicona). Antes de ser cerrado el tarro, la muestra fue diluida en agua limpia y preservada con un bactericida para evitar la degradación microbiana de los gases. Con las mismas características, se tomó una muestra adicional o contramuestra de seguridad, para, en caso de necesidad, repetir el análisis o para análisis especiales. Cada tarro fue marcado con el número correspondiente a la muestra colectada.



Horizonte A: Rico en materia orgánica

Horizonte B: Materiales disueltos y precipitados del horizonte A. Algo de material parietal original

Horizonte C: Lecho rocoso meteorizado

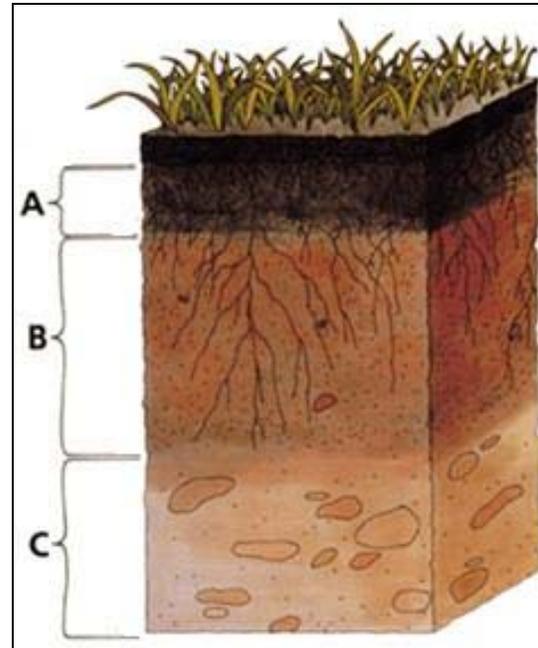


Figura 6. Horizontes del suelo

http://es.wikipedia.org/wiki/Estructura_del_suelo

- Las características pedológicas, topográficas, etc., y las coordenadas definitivas se registraron en una ficha técnica o tarjeta geoquímica de campo, codificada en cada punto de muestreo con el fin de conocer las variables asociadas a la muestra. Adicionalmente se tomaron fotos, una panorámica del sector y otra del sitio donde se tomó la muestra.
- Se generó posteriormente un listado con las coordenadas definitivas, origen Bogotá, y WGS 84, para la elaboración del mapa base definitivo (Anexos 5 y 6). Se elaboraron las fichas de campo y se redactó el presente informe.



1.4 Equipo de Muestreo

El equipo de trabajo en la toma de muestras para las áreas de Perijá y Turbaco -Luruaco se conformó por diez geólogos, así:

Dos Geólogos Coordinadores de los trabajos de campo, para organización, permisos y relaciones con la comunidad, para lo cual fueron encargados: Jorge Chacón (Perijá) y Aura Enidia Niño (Turbaco-Luruaco) y ocho geólogos para toma de muestras, trabajo realizado por : Oscar Mariño, Sergio Nuncira, Gilberto Almeida, Claudio Rincón, Fernando Suárez, Jorge Chacón, Luz Adriana Sánchez y Jorge Eliécer Buitrago.

Dieciséis auxiliares de campo

1.5 Modificación Puntos de Muestreo

En algunos puntos programados para el muestreo, fue necesario su reubicación por problemas ya mencionados anteriormente, por lo tanto varias de las coordenadas originales no coinciden con las coordenadas finales en escasas distancias.

1.6. Muestreo de Rezumaderos

Se colectaron 2 muestras en volcanes de lodo (rezumaderos); localizados 5 kilómetros al Este de la población de Turbaco vía Hacienda Los Robles, en el sitio llamado "Los Volcanes", cuyas numeraciones corresponden a: TL-V001 con coordenadas geográficas Norte: 1'634597 – Este:859772 y TL-V002 con coordenadas : N: 1'634686 – Este: 859751; con fotos: TL-V01-45 y TL-V02-100 , como aparece en sus respectivas fichas.

Las muestras fueron así: la primera en la boca principal del volcán y la segunda en boca secundaria, observándose presencia de crudo y burbujeo constante.



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

INFORME DE ANÁLISIS DE CROMATOGRFÍA DE GASES DE SUELO

ÁREAS PERIJÁ Y TURBACO- LURUACO

Volumen 2

Contrato 81, de Diciembre 26 de 2005

Para: AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS

Por:

Fabio Córdoba
Geólogo MSc.

Omar Wilches
Geólogo MSc.
HGA Ltda.

y

Luís Castillo
Geólogo

Bogotá, Mayo de 2006



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Bloque Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 <i>Objetivo</i>	5
1.2 Marco Teórico	5
1.3 Metodología	7
1.4 Equipo de Análisis	9
1.5 Tiempo de análisis	9
1.6 Selección de Muestras para Análisis Isotópicos	9
1.7 Avances en el análisis de isótopos	10
1.8 Conclusiones	11
1.9 Referencias	12



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Bloque Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

Lista de Figuras

Figura 1. Diagrama de sistema cromatográfico	6
Figura 2. Técnica de espacio libre	7
Figura 3. Cromatógrafo de gases	8



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Bloque Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

Lista de Anexos

Anexo 1: Tablas de Resultados Análisis Cromatográfico Área Perijá.

Anexo 2: Tablas de Resultados Análisis Cromatográfico Área Turbaco – Luruaco.

Anexo 3: Perfiles de concentración de las líneas Área Perijá.

Anexo 4: Perfiles de concentración de las líneas Área Turbaco – Luruaco.



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Bloque Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente informe presenta las actividades de la etapa de análisis de cromatografía de gases del Estudio Geoquímico de Superficie, de las áreas de Perijá y Turbaco - Luruaco, correspondiente al Contrato 81, del 26 de diciembre de 2005, firmado entre la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y la compañía Hidrología, Geología y Ambiental Ltda. (HGA Ltda.).

1.1 Objetivo

- Analizar cromatográficamente 900 muestras de gas enlatado en espacio libre obtenido de muestras de suelo.
- Determinar la composición de dichos gases y cuantificar su concentración.

1.2 Marco Teórico

1.2.1 Cromatografía de Gases

La cromatografía de gases es esencialmente un proceso físico de separación de los componentes de una mezcla, el cual se basa en la diferencia de velocidades de migración de cada componente, lográndose una distribución diferencial entre dos fases: un lecho o fase estacionaria (columna) y una fase móvil o gas inerte (gas portador de la muestra).

Existen dos modalidades de cromatografía de gases: la cromatografía de gas sólido (CGS) en la cual la fase estacionaria es un sólido y el proceso de separación supone equilibrios de absorción gaseosa. En la cromatografía de gas líquido (CGL) la fase estacionaria es un líquido que recubre un soporte sólido inerte y en este caso ocurren equilibrios gas-líquido.



Estudio Geoquímico de Superficie, Bloque Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

El equilibrio durante la distribución diferencial entre las dos fases se puede describir en forma cuantitativa por medio de una constante dependiente de la temperatura: el coeficiente de partición:

$$K = C_e / C_m$$

C_e: concentración total del soluto en la fase estacionaria (la columna)

C_m: concentración del soluto en la fase móvil (gas portador de la muestra).

En el caso ideal, esa razón es constante para una amplia gama de concentraciones; es decir, C_e es proporcional a C_m, pero en algunos casos la relación no es lineal (Rojas, J. H. y De Nigrinis E, 1992).

El proceso esencialmente consiste en transportar una muestra en fase de vapor, con un gas inerte o fase móvil, a una determinada presión y temperatura, desde un sitio de inyección hasta una fase estacionaria (columna). Allí tiene lugar la separación y luego los componentes separados (eluidos) llegan al detector, sitio en el que se origina una señal eléctrica la cual es registrada como un cromatograma, a través de un integrador o programa de computador apropiado. La figura 1 muestra los componentes principales del equipo.

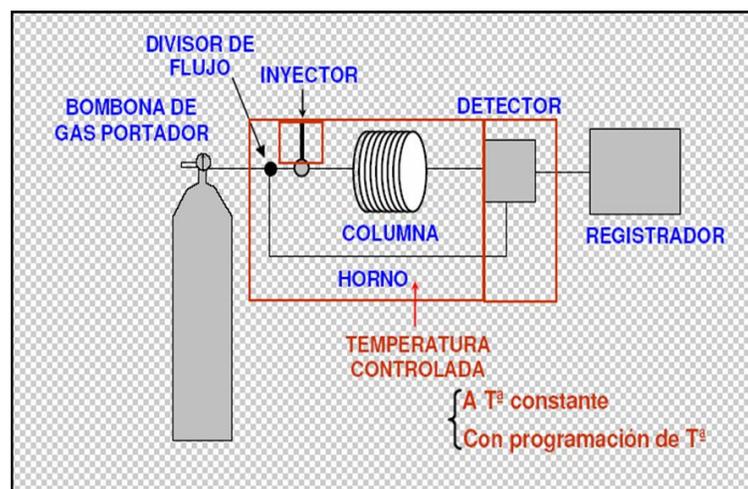


Figura 1. Diagrama de sistema cromatográfico
(Fuente: www.uga.edu)



1.2.1.1 Muestreo de gas enlatado en espacio libre (headspace)

El muestreo de gas enlatado en espacio libre es una forma de analizar compuestos volátiles asociados a una muestra sin el uso de extracción por solventes. El término “headspace” se refiere al espacio libre que queda entre la parte superior del contenido líquido o sólido y la tapa de un tarro (ver Figura 2). Esta técnica suele traducirse en el ámbito farmacéutico como cromatografía de gases por espacio de cabeza y el objetivo es analizar el vapor de la sustancia presente en el espacio comprendido entre el nivel del líquido (o sólido) y la tapa de un tarro.

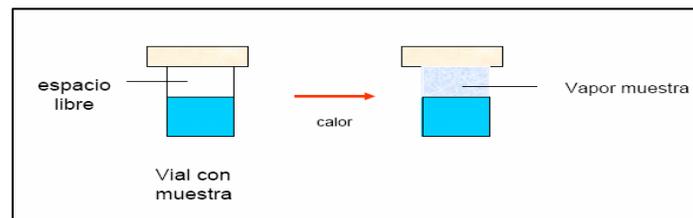


Figura 2. Técnica de espacio libre

(Fuente: www.uga.edu)

1.3 Metodología

1.3.1 Metodología de Laboratorio

a. Preparación de la muestra

Las muestras selladas, debidamente marcadas y codificadas se recibieron en el laboratorio para ser sometidas a un tratamiento previo, netamente mecánico, que consiste en: agitación mecánica; calentamiento en baño de maría; y disgregación por ultrasonido, para separar las partículas del suelo y liberar los gases adsorbidos.



Libertad y Orden

Estudio Geoquímico de Superficie, Bloque Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

b. Análisis cromatográfico

Para el análisis se contó con un cromatógrafo Hewlett Packard 5890 serie II (Figura 3), equipado con un detector de ionización de llama (FID) y una columna capilar PLOT, con una fase estacionaria de alúmina, de 50 m de longitud y un diámetro interno de 0,53mm. La inyección de las muestras se realizó de manera directa.



Figura 3. Cromatógrafo de gases (Fuente: HGA Ltda.)

El programa ChemStation recibe e integra la señal enviada desde el cromatógrafo de gases, identifica, cuantifica la concentración y muestra una representación grafica de los resultados (cromatograma).

Los hidrocarburos livianos en la muestra (metano, etano, propano, acetileno, isobutano, butano, isopentano, pentano y hexano) se cuantificaron de acuerdo con el estándar certificado. El equipo se calibro cada 15 muestras y se corrió una muestra en blanco cada 10 análisis.



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Bloque Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

c. Codificación de datos

Los datos obtenidos del análisis cromatográfico se organizaron en tablas (Anexos 1 y 2), las cuales se utilizaron para la elaboración de perfiles (Anexos 3 y 4) e interpretación.

1.4 Equipo de Análisis

El equipo de analistas estuvo integrado por tres ingenieros químicos:

Adriana Milena Robayo

Wilson Rafael Otálora Ramírez

Jaime Andrés Cujabán Senejoa

1.5 Tiempo de análisis

La fase de análisis cromatográfico se desarrolló entre el 20 de Marzo y el 2 de abril de 2006, para el área de Perijá; y entre el 16 y 22 de Abril de 2006 para el área de Turbaco – Luruaco.

1.6 Selección de Muestras para Análisis Isotópicos

El origen genético (biogénico o termogénico) de los hidrocarburos, en general, y particular de los detectados en la superficie puede ser determinado a través, entre otras, a partir de la relación isotópica de carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$).

Teniendo en cuenta que uno de los objetivos del presente estudio es determinar el origen de los hidrocarburos presentes en las anomalías geoquímicas diferenciadas en la faja de gases livianos C_1 a C_5 , se seleccionaron muestras (aproximadamente del 10% de total de las muestras analizadas), para realizar análisis isotópicos de carbono del metano.

En la selección de las muestras se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Bloque Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

- La concentración (ppm) del gas (la concentración mínima requerida, por la mayoría de laboratorios, es de 1000ppm de metano para garantizar la obtención de resultados). En caso de Perijá, debido al poco número de muestras con valores altos, se tomaron algunas por debajo de este rango. Para el área Turbaco – Luruaco todas las muestras enviadas estuvieron por debajo de esta concentración, pues no se obtuvieron valores mayores de 1000ppm.
- Índice de humectabilidad de Bernard $[C_1/(C_2 + C_3)]$. Esta relación permite tener una primera aproximación respecto al origen del hidrocarburo (microbiológico, mezcla, diagenético o termogénico).
- Selección de muestras dentro de las anomalías identificadas

1.7 Avances en el análisis de isótopos

Área Perijá

El 18 y 19 de abril se enviaron al Laboratorio *GMT, Inc – Isotech-Illinois* las muestras que se relacionan a continuación:

PR073, PR145, PR158, PR162, PR178, PR219, PR221, PR243, PR277, PR248, PR289, PR294, PR296, PR303, PR310, PR312, PR321, PR322, PR326, PR329, PR330, PR331, PR332, PR335, PR336, PR337, PR344, PR348, PR356, PR365, PR370, PR374, PR376, PR385, PR397, PR399, PR404, PR413, PR425, PR427, PR428, PR432, PR433, PR448, PR455, PR459, PR 460, PR 461, PR466, PR 493.

El análisis cromatográfico fue realizado a partir del método de acidificación. De estas muestras se obtuvieron 14 con concentraciones de metano mayores de 1000ppm, éstas pasaron a análisis isotópico y se está a la espera de estos resultados.



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Bloque Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

Área Turbaco-Luruaco

El 10 de mayo se enviaron al Laboratorio *Intertek Westport Technology Center* 10 muestras. Por problemas con la aduana, en Florida, las muestras fueron devueltas.

El 9 de junio se enviaron al Laboratorio *High Resolution Technology & Petroleum Ltda, Inc.*, Brasil, las muestras que se relacionan a continuación:

TL227, TL259, TL304, TL326, TL380.

Estas muestras no han podido ser entregadas al laboratorio, por huelga en la aduana de ese país, situación que se estima esté resulta al final de junio.

1.8 Conclusiones

- Se analizaron cromatográficamente 500 y 400 muestras de gas enlatado en espacio libre obtenidas de muestras de suelo las áreas de Perijá y Turbaco-Luruaco, respectivamente, de las cuales se obtuvieron lecturas de C₁ a C₆.
- Se cuantificó la concentración de los siguientes gases: metano, etano, propano, acetileno, isobutano, butano, isopentano, pentano y hexano, estando los resultados dentro de rangos normales.
- Predominan en las concentraciones, lecturas mayores de metano y etano, que la de los otros gases.
- Las concentraciones de los gases de Turbaco - Luruaco fueron más bajas con relación al área de Perijá.



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Bloque Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

1.9 Referencias

1. ROJAS, JAIME HUMBERTO ROJAS. O. DE NIGRINIS, ESTELLA. Introducción al Análisis Instrumental. Parte I. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 1992.
2. MCNAIR, H. M Y BONELLI E. J. Basic Gas Chromatography. Ed. Varian Instrument Division Office. U.S.A., 1968.



Libertad y Orden

Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco



ESTUDIO GEOQUÍMICO DE SUPERFICIE CUENCAS CESAR - RANCHERÍA

Y

SINÚ – SAN JACINTO

Técnica: Gas en espacio libre

Contrato 81, de Diciembre 26 de 2005

Presentado a: AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS

Por: HIDROGEOLOGÍA, GEOLOGÍA, AMBIENTAL LTDA.

Bogotá, Julio de 2006



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

Presentación

Este estudio de Prospección Geoquímica de Superficie, de muestras de suelo, de las áreas Perijá y Turbaco – Luruaco, de las cuencas Cesar – Ranchería y Sinú – San Jacinto, respectivamente, se presenta en tres informes, así:

Volumen 1: Informe de Adquisición de Muestras de Campo. Abril de 2006.

Volumen 2: Informe de Cromatografía de Gases de Suelo. Junio de 2006.

Volumen 3: Informe de Interpretación de Geoquímica de Superficie. Julio de 2006.



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

INFORME DE INTERPRETACIÓN DE
GEOQUÍMICA DE SUPERFICIE

CUENCAS CESAR - RANCHERÍA

Y

SINÚ – SAN JACINTO

Volumen 3

Por:

Luís Ernesto Castillo P.

Geólogo

Fabio Córdoba

Geólogo MSc.

y

Omar Wilches

Geólogo MSc.

Bogotá, Julio de 2006



RESUMEN EJECUTIVO

La exploración geoquímica para petróleo es la búsqueda de manifestaciones, en superficie o cerca de ella, de hidrocarburos que se filtran o emanan en variadas y detectables cantidades hacia la superficie.

Las técnica directa de gas libre analiza pequeñas cantidades de hidrocarburos livianos (C_1 a C_5 , principalmente). Para el área de Perijá, de la cuenca Cesar - Ranchería, 500 muestras de suelo, de 20 líneas, fueron tomadas y analizadas. En esta área se diferencian un sector norte y un sector sur. En el área Turbaco – Luruaco, de la cuenca Sinú – San Jacinto, se tomaron 400 muestras de suelo, distribuidas en 10 líneas.

La interpretación de los datos cromatográficos del área Perijá permite cartografiar 5 grupos de anomalías geoquímicas de superficie, que por su expresión y extensión pueden clasificarse como principales (R, T, U, V y α) y 4 grupos de anomalías secundarias (K, L, S y Σ). Entre todas estas, la anomalía T se visualiza como la de más constante expresión en todos los gases, seguido por la R.

La sobreposición de estas áreas de interés con el mapa geológico de superficie (Área Perijá) permite apreciar que varias de estas zonas anómalas se localizan o se enmarcan geográficamente donde afloran rocas cretácicas, que como se sabe son generadoras de hidrocarburos en Colombia. Estas rocas podrían emitir concentraciones altas de hidrocarburos, en este sector en particular, dado su posible condición de ser ricas en materia orgánica, por lo que se debe tener en cuenta esta circunstancia en la evaluación de estas anomalías.

La interpretación de los datos del área Turbaco – Luruaco, permite identificar 3 sectores de interés que se denominan en este estudio: E, F y G. El mas importante, por su grado de expresión, es la anomalía G, seguida por la F y E, en su orden. En general, estas anomalías son débiles en su expresión áreal (definidos por pocos puntos).



EXECUTIVE SUMMARY

Geochemical exploration for petroleum is the search for near surface indications of hydrocarbons that have migrated to the surface in detectable amounts.

The direct free gas technique analyzes small amounts of light hydrocarbons (C_1 to C_5 , mainly).

For the Perija Area of the Cesar – Rancheria Basin, 500 soil samples of 20 lines were obtained, analyzed and interpreted by gas chromatography. In this area one north and one south sector can be differentiated. In the Turbaco – Luruaco area, of the Sinu – San Jacinto Basin, 400 soil samples were collected, distributed in 10 lines

The interpretation of the chromatographic information of the area Perija allows the mapping of 5 groups of surface geochemical anomalies, that for their expression and extension can be qualified like principal (R, T, U y α) and 4 groups in secondary anomalies (K, L, S and Σ). Among all these, the anomaly T is visualized as the more constant expression all the gases, followed by the R anomalous group.

The matching of these areas of interest with the surface geologic map of this area shows that several of these anomalous areas are, geographically, located where the Cretaceous rocks outcrop, which as it is known to generate hydrocarbons in Colombia. These rocks might express high concentrations of hydrocarbons, in this sector in particular, given their possible condition of being rich in organic matter. For this reason it is necessary to keep in mind these factors in the evaluation of these anomalies.

The interpretation of the information of the Turbaco - Luruaco area allows identification of 3 groups of interest that are named in this study: E, F and G. The most important, for its grade of expression, is the group G, followed by F and E groups, in their order. In general, these anomalies are weak in their expression (defined by few points).



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	3
1. INTRODUCCIÓN	12
1.2 Objetivos	12
1.2.1 Generales	12
1.2.2 Específicos	12
2. METODOLOGÍA	13
3. INTERPRETACIÓN CUENCA CESAR – RANCHERÍA, ÁREA PERIJÁ	14
3.1 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO	14
3.2 Determinación de Anomalías	15
4. CARTOGRAFÍA DE GASES E IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS	17
4.1 Mapa de Metano	18
4.2 Mapa de Etano	18
4.3 Mapa de Propano	19
4.4 Mapa de Isobutano	19
4.5 Mapa de Butano	21
4.6 Mapa de Isopentano	22
4.7 Mapa de Pentano	22
4.8 Mapa de sobreposición de los gases C ₂ a C ₅	23
4.9 Expresión de las Anomalías en los Perfiles Cromatográficos, Área Perijá	24
4.10 Conclusiones Sobre Áreas de Interés, Área Perijá	27
5. ESTIMACIÓN DEL ORIGEN DE LOS HIDROCARBUROS, ÁREA PERIJÁ	30
6. PREDICCIÓN DEL TIPO DE FLUIDO, ÁREA PERIJÁ	31
7. DETERMINACIÓN DEL ORIGEN DE LOS HIDROCARBUROS A PARTIR DE ANÁLISIS ISOTÓPICOS, ÁREA PERIJÁ	35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE EL ÁREA PERIJÁ	37



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

8. INTERPRETACIÓN CUENCA SINÚ–SAN JACINTO, ÁREA TURBACO-LURUACO	39
8.1 Tratamiento Estadístico	39
8.2 Determinación de Anomalías	39
9. CARTOGRAFÍA DE GASES E IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS	42
9.1 Mapa de Metano	42
9.2 Mapa de Etano	42
9.3 Mapa de Propano	43
9.4 Mapa de Isobutano	45
9.5 Mapa de Butano	46
9.6 Mapa de Isopentano	46
9.7 Mapa de Pentano	46
9.8 Mapa de sobreposición de los gases C ₂ a C ₅	46
9.9 Expresión de las Anomalías en los Perfiles Cromatográficos	46
9.10 Conclusiones Sobre Áreas de Interés, Área Turbaco - Luruaco	49
10. ESTIMACIÓN DEL ORIGEN DE LOS HIDROCARBUROS, ÁREA TURBACO – LURUACO	53
11. PREDICCIÓN DEL TIPO DE FLUIDO	54
12. DETERMINACIÓN DEL ORIGEN DE LOS HIDROCARBUROS PRESENTES EN ANOMALÍAS A PARTIR DE ANÁLISIS ISOTÓPICOS	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ÁREA TURBACO - LURUACO	59
BIBLIOGRAFÍA	60



LISTA DE TABLAS, ÁREA PERIJÁ

Tabla 1.a	Valores de las anomalías Sector Norte.	17
Tabla 1.b.	Valores de las anomalías Sector Sur	17
Tabla 2.	Localización de las anomalías	25
Tabla 3.	Concentraciones máximas de gas	26
Tabla 4.	Relación de anomalías geoquímicas	26
Tabla 5.	Grado de expresión de las anomalías en los gases C1 a C5.	26
Tabla 6.	Parámetro de Bernard para determinar el posible origen de los hidrocarburos	30
Tabla 7.	Lista de muestras de posible origen diagenético, y mezclas	34
Tabla 8.	Resultados de análisis isotópicos de muestras.	35

LISTA DE TABLAS, TURBACO – LURUACO

Tabla 9.	Valores de las anomalías	41
Tabla 10.	Localización de las anomalías para los gases C1 y C2.	47
Tabla 11.	Concentraciones máximas de gas	48
Tabla 12.	Grado de expresión de las anomalías en los gases C1 a C5.	52
Tabla 13.	Parámetro de Bernard para determinar el posible origen de los hidrocarburos	53
Tabla 14.	Lista de muestras de posible origen diagenético, y mezclas	53
Tabla 15.	Resultados de análisis isotópicos de muestras.	55



LISTA DE FIGURAS, ÁREA PERIJÁ

Figura 1. Mapa de clases y de contornos metano.	20
Figura 2. Mapa de clases y de contornos etano.	21
Figura 3. Mapa de sobreposición de los gases C2 a C5.	24
Figura 4. Mapa de áreas de interés.	28
Figura 5. Áreas de interés sobre el mapa geológico del área de estudio.	29
Figura 6. Posible tipo de fluido esperado	33
Figura 7. Gráfico de Bernard: $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}(^0/_{00})$ metano vs. $\text{C}_1/(\text{C}_2+\text{C}_3)$	37
Figura 8. Mapa de clases y de contornos de metano.	44
Figura 9. Mapa de clases y de contornos de etano.	45
Figura 10. Mapa de sobreposición de los gases C_2 a C_5 .	48
Figura 11. Mapa de áreas de interés.	50
Figura 12. Áreas de interés sobre el mapa geológico del área de estudio.	51
Figura 13. Gráfico de Bernard: $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}(0/00)$ metano vs. $\text{C}_1/(\text{C}_2+\text{C}_3)$	57
Figura 14. Posible tipo de fluido esperado a partir de las relaciones $\text{C}_2/(\text{C}_3+\text{C}_4)$ vs. $\text{C}_1/(\text{C}_2+\text{C}_3)$	58



LISTA DE ANEXOS, ÁREA PERIJÁ

- ANEXO DIGITAL 1. Estimación del tipo de hidrocarburo a partir del parámetro de humectabilidad de Bernard.
- ANEXO DIGITAL 2. Tratamiento estadístico de los hidrocarburos termógenicos.
- ANEXO 3. Medidas de posición central y de dispersión.
- ANEXO 4. Mapa de clases y de contornos de metano, escala 1:100.000 .
- ANEXO 5. Mapa clases y de contornos de, escala 1:100.000
- ANEXO 6. Mapa clases y de contornos de propano, escala 1:100.000.
- ANEXO 7. Mapa de clases y de contornos de isobutano, escala 1:100.000.
- ANEXO 8. Mapa de clases y de contornos de butano, escala 1:100.000.
- ANEXO 9. Mapa clases y de contornos de isopentano, escala 1:100.000.
- ANEXO 10. Mapa clases y de contornos de pentano, escala 1:100.000.
- ANEXO 11. Mapa de sobreposición de contornos de los gases C₂ a C₅, escala 1:100.000.
- ANEXO 12. Perfiles cromatográficos de las líneas de muestreo.
- ANEXO 13. Mapa de áreas de interés, escala 1:100.000.
- ANEXO 14. Áreas de interés sobre el mapa geológico de superficie del área de estudio, escala 1:100.000.
- ANEXO 15. Relación de muestras de posible origen microbiológico, diagenético y mezclas
- ANEXO DIGITAL 16. Estimación del tipo de fluido a partir de las relaciones de Harworth et al. (1985).
- ANEXO DIGITAL 17. Posible tipo de fluido esperado a partir de las relaciones C₂/(C₃+C₄) vs. C₁/(C₂+C₃).
- ANEXO DIGITAL 18. Resultados de análisis isotópicos de muestras Área Perijá.
- ANEXO 19. Mapa de metano con resultados de isótopos, escala 1:100.000.



LISTA DE ANEXOS, TURBACO - LURUACO

- ANEXO DIGITAL 20. Estimación del tipo de hidrocarburo a partir del parámetro de humectabilidad de Bernard.
- ANEXO DIGITAL 21. Tratamiento estadístico de los hidrocarburos termógenicos.
- ANEXO 22. Medidas de posición central y de dispersión.
- ANEXO 23. Mapa de clases y de contornos de metano, escala 1:100.000.
- ANEXO 24. Mapa de clases y de contornos de etano, escala 1:100.000.
- ANEXO 25. Mapa de clases y de contornos de propano, escala 1:100.000.
- ANEXO 26. Mapa de clases y de contornos de isobutano, escala 1:100.000.
- ANEXO 27. Mapa de clases y de contornos de butano, escala 1:100.000.
- ANEXO 28. Mapa de clases y de contornos de isopentano, escala 1:100.000.
- ANEXO 29. Mapa de clases y de contornos de pentano, escala 1:100.000.
- ANEXO 30. Mapa de sobreposición de contornos de los gases C₂ a C₅, escala 1:100.000.
- ANEXO 31. Perfiles contornos de las líneas de muestreo.
- ANEXO 32. Mapa de áreas de interés, escala 1:100.000.
- ANEXO 33. Áreas de interés sobre el mapa geológico de superficie del área de estudio, escala 1:100.000.
- ANEXO 34. Relación de muestras de posible origen microbiológico, diagenético y mezclas
- ANEXO DIGITAL 35. Estimación del tipo de fluido a partir de las relaciones de Harworth et al. (1985).
- ANEXO DIGITAL 36. Posible tipo de fluido a partir de las relaciones $C_2/(C_3+C_4)$ vs. $C_1/(C_2+C_3)$.
- ANEXO DIGITAL 37. Resultados de análisis isotópicos de muestras Área Turbaco-Luruaco.
- ANEXO 38. Mapa de metano con resultados de isótopos, escala 1:100.000.



1. INTRODUCCIÓN

El siguiente informe presenta los resultados de la fase de interpretación del Estudio Geoquímico de Superficie, de la cuenca Cesar – Ranchería, Área Perijá, y de la cuenca Sinú – San Jacinto, Área Turbaco – Luruaco, correspondientes al Contrato 81, del 26 de diciembre de 2005, firmado entre la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y la compañía Hidrología, Geología y Ambiental Ltda. (HGA Ltda.).

1.2 Objetivos

1.2.1 Generales

- Interpretar los resultados cromatográficos de 500 muestras de gases de suelo del área de Perijá, y de 400 muestras del área de Turbaco - Luruaco, obtenidos por medio de la técnica de gas en espacio libre.
- Determinar concentraciones altas (anomalías) de hidrocarburos livianos en superficie a partir del estudio gasométrico de muestras de suelo de las áreas mencionadas
- Generar mapas de las anomalías identificadas
- Determinar el origen más probable de los hidrocarburos de las anomalías, basados en relaciones de humectabilidad.
- Diferenciar mediante el análisis de isótopos de metano el origen de los hidrocarburos presentes en las anomalías

1.2.2 Específicos

- Identificar la presencia de microemanaciones de hidrocarburos a partir de los datos obtenidos por la técnica de cromatografía de gases.
- Identificar posibles anomalías entre los valores obtenidos.
- Estimar el posible origen de dichos gases
- Identificar el posible origen de los hidrocarburos relacionados con dichas anomalías a partir del análisis isotópico del carbono del metano



2. METODOLOGÍA

La interpretación abordó los siguientes pasos:

- Revisión de resultados en la tabla de datos
- Elaboración de perfiles cromatográficos
- Determinación del índice de humectabilidad de Bernard y estimación del tipo de gas (microbiológico/mezcla o termogénico)
- Filtración de la tabla de datos
- Tratamiento estadístico
- Determinación de la constante de fondo y de valores anómalos de primero y segundo orden, para cada uno de los gases (C_1 a C_5)
- Cartografía de gases C_1 , C_2 , C_3 , iC_4 , nC_4 , iC_5 y C_5 ; y sobreposición de los gases C_2 - C_5
- Evaluación de perfiles cromatográficos
- Cartografía y descripción de áreas de interés
- Determinación y graficación de diferentes relaciones



3. INTERPRETACIÓN CUENCA CESAR – RANCHERÍA, ÁREA PERIJÁ

3.1 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Para realizar el tratamiento estadístico de los datos, de cada uno de los sectores, se aplicaron varios filtros, así: a partir de la relación de Bernard, se identificaron muestras de origen biogénico, diagenético y mezclas (Anexo digitales 3.1.1), eliminándolas, y dejando únicamente aquellas de origen termogénico.

Seguidamente se eliminaron las muestras por encima del percentil 95,4% (esto únicamente para el tratamiento estadístico, ya que luego el mapeo se hace con todos los datos de gases termogénicos), (Anexo digital 2.), que de acuerdo con *Duchscherer* (1990), corresponderían a muestras anómalas.

Posteriormente se normalizaron los datos (obtención del logaritmo natural de los datos), debido a que estos datos presentan una distribución *Log-Normal* (Krumbein y Graybill, 1965; Isaaks y Srivastava, 1989).

Para el tratamiento estadístico se empleó el programa Past. A partir de éste se generaron histogramas, y se determinaron las medidas de posición central (media, mediana) y las medidas de dispersión (rango, varianza, desviación estándar), etc. (Anexo 3.), para cada uno de los gases, de cada sector. El objetivo principal de este ejercicio es estimar la constante de fondo (background) y los posibles valores anómalos, para cada uno de los sectores.

Teniendo en cuenta la geología de superficie y la distancia de separación del sector norte del sur, en el área de estudio, el tratamiento estadístico de los datos de esta área se analizaron de forma independiente (Bloque norte y bloque sur); además, los valores del bloque sur son mucho mayores en comparación con los del bloque norte, haciendo que los valores de los rangos para las anomalías de segundo y primer orden sean más altos que aquellos valores obtenidos analizando este bloque por separado. Si los datos se tratan conjuntamente, esto hace que en el bloque norte, prácticamente no se presenten anomalías, sino únicamente puntos altos aislados.



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

Los valores, para el metano, analizando todos los datos en conjunto serían los siguientes.

Media = 21

Desviación estándar: 30

Anomalía de segundo orden = 81

Anomalía de primer orden = 111

3.2 Determinación de Anomalías

Como ya se mencionó, la determinación de la constante de fondo y anomalías se realizó a partir del tratamiento estadístico. En el ejercicio del tratamiento estadístico de esta área, por ejemplo, si se toman todos los datos, de posible origen termogénico, se obtienen los siguientes valores:

Bloque Norte:

Media = 24

Desviación estándar: 50

Bloque Sur:

Media = 487

Desviación estándar: 4871

Para el bloque norte, si a partir de estas medidas se determinan las anomalías de segundo y primer orden, aplicando para las anomalía de segundo orden el valor de la media más dos desviaciones estándares, y para las anomalías de primer orden la media más tres desviaciones estándares (*Duchscherer, 1990*), se obtendría que la anomalía de segundo orden estaría por encima de 124 ppm y la anomalía de primer orden por encima de 174 ppm para el metano, es decir, que para los valores de origen termogénico de este bloque sólo habría, en total, 4 valores anómalos (equivalente al 2,5% de estos datos) que corresponden a puntos aislados dentro de la población analizada.



De igual manera, para el bloque sur, basándose en el mismo criterio, la anomalía de segundo orden estaría por encima de 10229 ppm y la anomalía de primer orden por encima de 15101 ppm para el metano, es decir, que para los valores de origen termogénico de este bloque sólo habría, en total, 2 valores anómalos (equivalente al 0,7% de estos datos).

Debido a esto, para realizar el tratamiento estadístico se tomaron los datos correspondientes al percentil 95,4% el cual corresponde, en una curva gaussiana normal, a la media más dos desviaciones estándares, es decir, se eliminan los datos que se encuentran en los extremos o más alejados del promedio. La comparación entre el análisis de datos para los valores completos y para la constante de fondo o valores *background*, para el metano y el etano, se presentan en el Anexo 3..

En general los histogramas y los diagramas de probabilidad normal presentan dos familias de datos, lo cual indica la existencia de una población normal natural y una población anómala.

En conclusión, luego de la aplicación de los filtros descritos arriba se tomaron todos los valores de concentración menores o iguales a la media como constante de fondo; en tanto que las anomalías de segundo orden se estimaron, a partir de la media más dos desviaciones estándares, y para las anomalías de primer orden se tomó la media más tres desviaciones estándares (*Duchscherer*, 1990), para cada uno de los hidrocarburos livianos: metano, etano, propano, isobutano, butano, isopentano y pentano (C_1 , C_2 , C_3 , iC_4 , nC_4 , iC_5 y C_5), para cada uno de los sectores (Tablas 3.2.1a y b).

**4. CARTOGRAFÍA DE GASES E IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS**

A partir de la definición de la constante de fondo y los rangos de las anomalías de segundo y primer orden, se procedió a elaborar mapas de contornos, para todos los gases termógenicos, y de clases, tomando como base el mapa de coordenadas finales de los puntos muestreados. Para esta labor se utilizaron los programas *Surfer*, *Autocad* y *Arcgis*.

Tabla 1.a Valores de las anomalías Sector Norte.

	Media	Desviación Estándar	Anomalia de 2º orden	Anomalia de 1º orden
	μ	σ	$\mu + 2\sigma$	$\mu + 3\sigma$
Metano	15.69	13.08	41.85	54.93
Etano	1.67	1.61	4.89	6.50
Propano	0.56	0.81	2.18	2.99
Acetileno	0.06	0.16	0.38	0.54
Isobutano	0.10	0.74	1.57	2.31
Butano	0.25	0.27	0.79	1.06
Isopentano	0.06	0.10	0.27	0.38
Pentano	0.13	0.14	0.41	0.55
Hexano	0.04	0.06	0.16	0.22

Tabla 1.b. Valores de las anomalías Sector Sur

	Media	Desviación Estándar	Anomalia de 2º orden	Anomalia de 1º orden
	μ	σ	$\mu + 2\sigma$	$\mu + 3\sigma$
Metano	30.14*	70.21	170.56	240.77
Etano	2.02	2.47	6.96	9.43
Propano	0.43	0.37	1.17	1.55
Acetileno	0.04	0.09	0.23	0.32
Isobutano	0.10	0.43	0.96	1.38
Butano	0.27	0.26	0.79	1.06
Isopentano	0.05	0.08	0.21	0.29
Pentano	0.13	0.11	0.36	0.47
Hexano	0.05	0.10	0.26	0.36



4.1 Mapa de Metano

En el sector norte, hacia el costado oriental, el mapa de este gas permite diferenciar cuatro grupos de anomalías, de segundo y primer orden, que de norte a sur se denominarán: K, L, R y S (Figura 1. y Anexo 4.).

El grupo K se ubica en la parte central y extremo occidental de la línea 1. El grupo L se localiza hacia el lado oriental, sobre las líneas 2, 3 y 7. El grupo R se ubica en el extremo suroriental de la línea 4, desplazándose hacia el suroccidente, hasta la línea 5, este - oeste, y la línea 7, de dirección norte – sur. El grupo S se presenta en el sureste del sector norte, en las terminaciones orientales de las líneas 5 y 6.

En el sector sur sobresale el costado oriental, donde se presenta el mayor agrupamiento de anomalías. En este flanco se pueden, convencionalmente, diferenciar los grupos: T, U, V y α .

El grupo T se sitúa en la parte noreste de este sector, en las líneas 9 y 10; mientras que el grupo U se ubica un poco hacia el sur del anterior, sobre las líneas 11, 12 y 13, 14 y 15.

El grupo α se localiza en el extremo sur del área de estudio, sobre las líneas de muestreo 18 y 19.

En el flanco oriental de este sector sur se visualizan cuatro puntos con valores de segundo y primer orden, así: PR-367 sobre la línea 16, PR-455 sobre la línea 20, PR-344 sobre la línea 15, y PR-303 sobre la línea 13.

4.2 Mapa de Etano

En el mapa de contornos del etano, se expresa, aunque con menor extensión, el grupo de anomalías R el sector norte. El grupo S se reduce, y se presenta solamente hacia el sur, en la línea 6. El grupo L presenta remanentes; mientras que, el grupo K no se visualiza en este mapa (Figura 2. y Anexo 5.).



En el sector sur, todos los grupos de anomalías, T, U, V y α ; al igual que los puntos anómalos : PR-367, PR-455, PR-344 y PR-303, descritos en el mapa de metano, mantienen su expresión.

4.3 Mapa de Propano

En el sector norte, este gas se encuentra representado, aunque con menor extensión, únicamente por el grupo R. De los grupos L y S se visualizan solamente remanentes puntuales, y el grupo K tampoco está presente (Anexo 6.).

En el sector sur, los grupos de anomalías, T, U y V, están presentes, aunque reducen un poco su extensión. El grupo de anomalías α , y los puntos anómalos PR-367, PR-455, PR-344 y PR-303, de este sector, no se manifiestan.

4.4 Mapa de Isobutano

En el sector norte, en el mapa de isobutano no se visualizan ninguna de las anomalías descritas para este sector, en los gases anteriores. Aparecen, únicamente, un par de lecturas puntuales, de segundo y primer orden, en las líneas 1 y 3, puntos PR-12 y PR-41, respectivamente, (Anexo 7.).

En el sector sur, como en el norte, igualmente, los grupos de anomalías descritos en los anteriores gases, no se expresan; se tienen solamente lecturas puntuales de segundo y primer orden, en las líneas 11, 13 y 20 en los puntos PR-256, PR- 320, PR-468 y PR- 470.

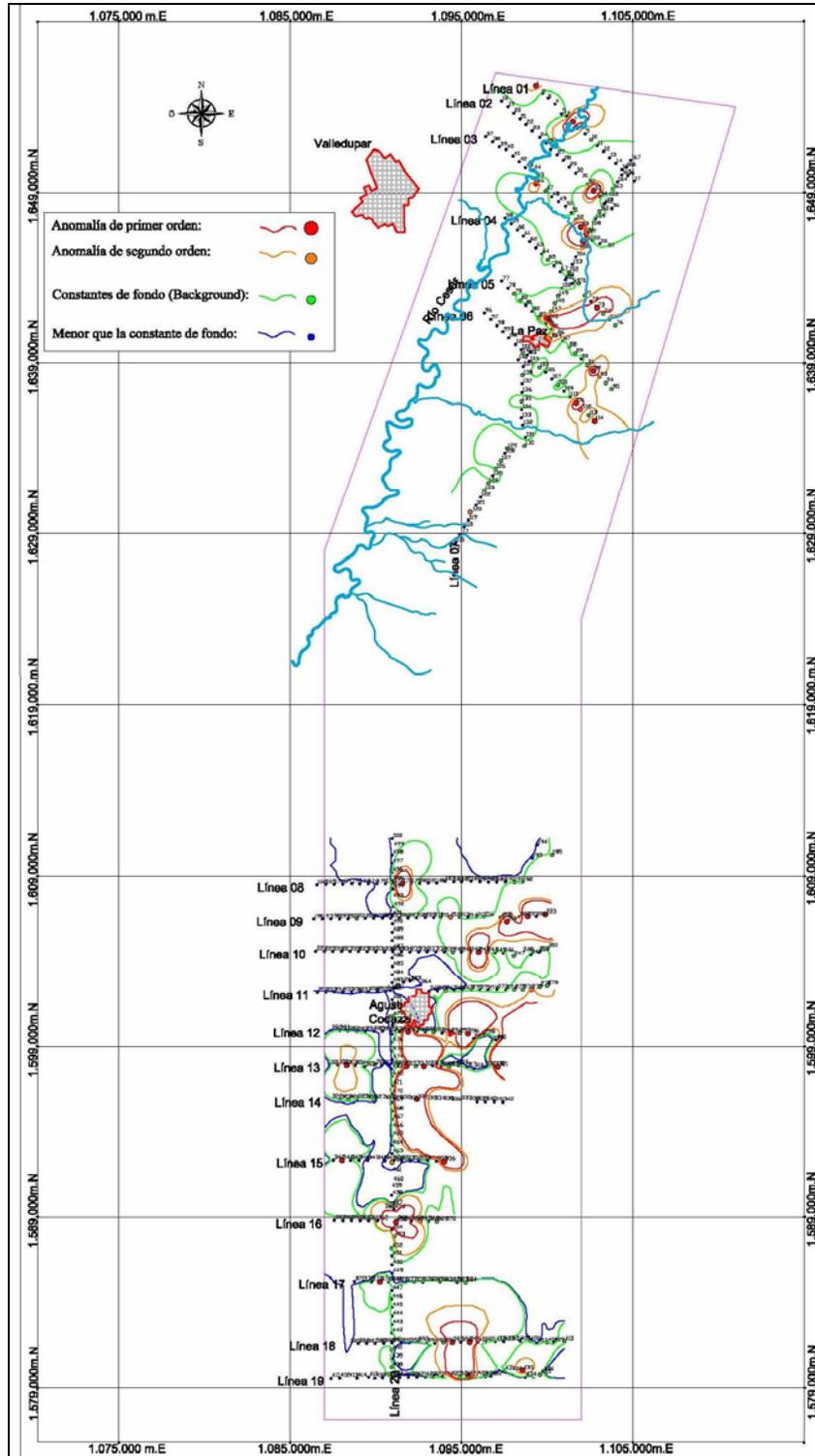


Figura 1. Mapa de clases y de contornos metano.

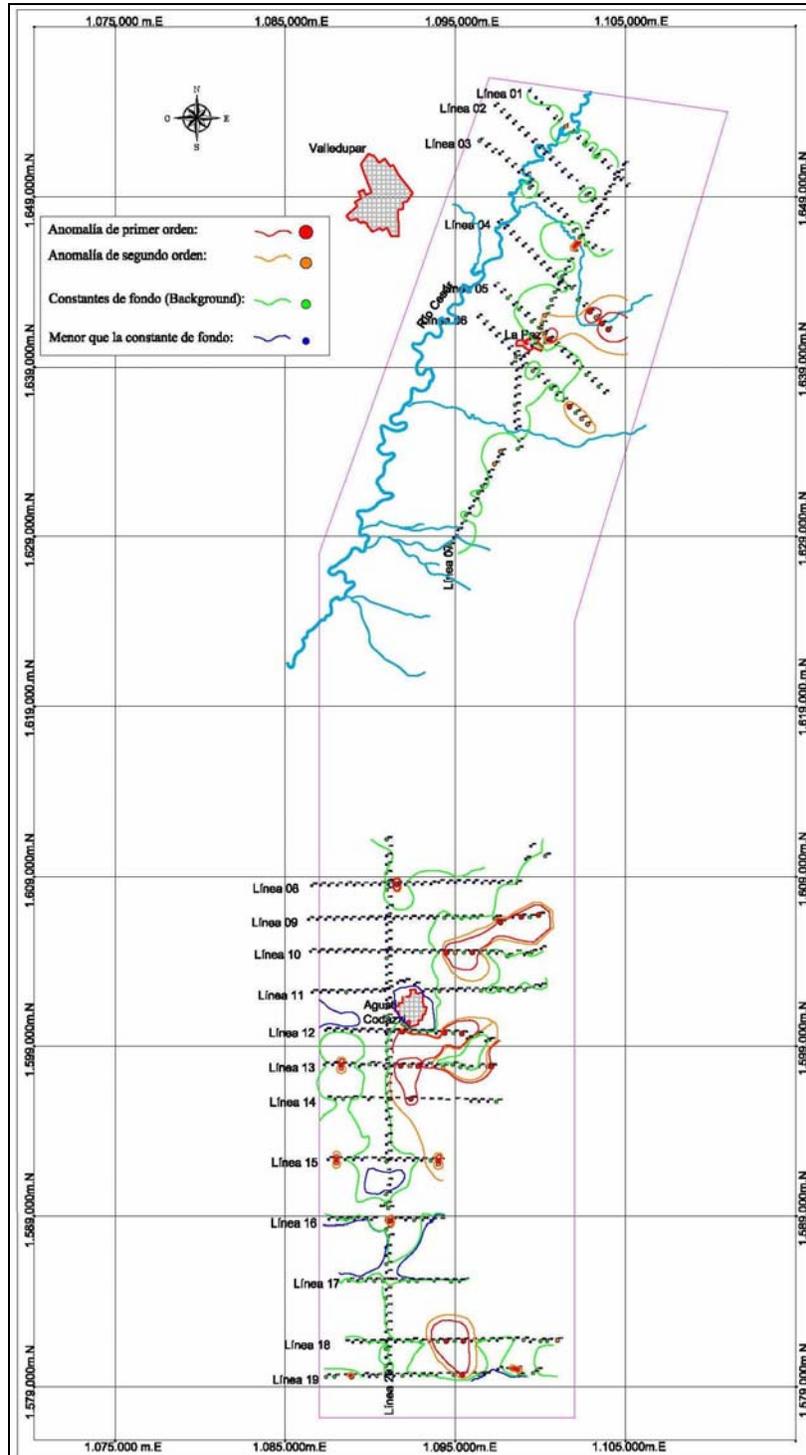


Figura 2. Mapa de clases y de contornos etano.



4.5 Mapa de Butano

De este gas, en el sector norte, solamente se tiene expresión reducida, del grupo R, y algunos puntos remanentes de los grupos L y S (Anexo 8.).

En el sector sur se expresan, en contornos menores, los grupos T y U, y algunas lecturas puntuales del grupo V. Las demás anomalías no se manifiestan.

4.6 Mapa de Isopentano

En el sector norte el isopentano se expresa con valores anómalos, prácticamente sólo a través del grupo R, que mantiene presencia en la línea 4, y hacia el cruce de línea 5 con línea 7 (Anexo 9.).

En el sector sur el isopentano se expresa, con buena extensión, con el grupo de anomalías T, y contornos reducidos en área del grupo U, y con remanentes puntuales de grupo V, únicamente. En la parte sur se tienen remanentes de la anomalía Σ .

4.7 Mapa de Pentano

En el sector norte el pentano expresa contornos de menor extensión que corresponden al grupo R. También se observan algunos datos puntuales de los grupos L y S (Anexo 10.).

En la parte sur se visualiza, con buena expresión, el grupo T, y algunos contornos menores remanentes del grupo U. Los demás grupos o puntos anómalos, descritos anteriormente para otros gases, no se visualizan. Igualmente se tienen remanentes de la anomalía Σ .



4.8 Mapa de sobreposición de los gases C₂ a C₅

La Figura 3. y el Anexo 11. Corresponden al mapa de sobreposición de los gases C₂ a C₅, en el cuales se observan todos los grupos de anomalías (L, R, S del sector norte, y T, U, V α y Σ, del sector sur), con excepción del grupo K, presente solamente en el metano.

4.9 Expresión de las Anomalías en los Perfiles Cromatográficos, Área Perijá

Las concentraciones obtenidas para cada gas en cada una de las muestras se grafican colocando en el eje de las ordenadas estas concentraciones, en escala logarítmica, y el número de la muestra en el eje de las abcisas (perfiles cromatográficos). Las anomalías identificadas a partir de la cartografía, se pueden, igualmente, visualizar en los perfiles cromatográficos (Tabla 2. y Anexo 37.). Las mayores concentraciones de gas (ppm) corresponden al metano, seguidos por las de etano (Tabla 3.).

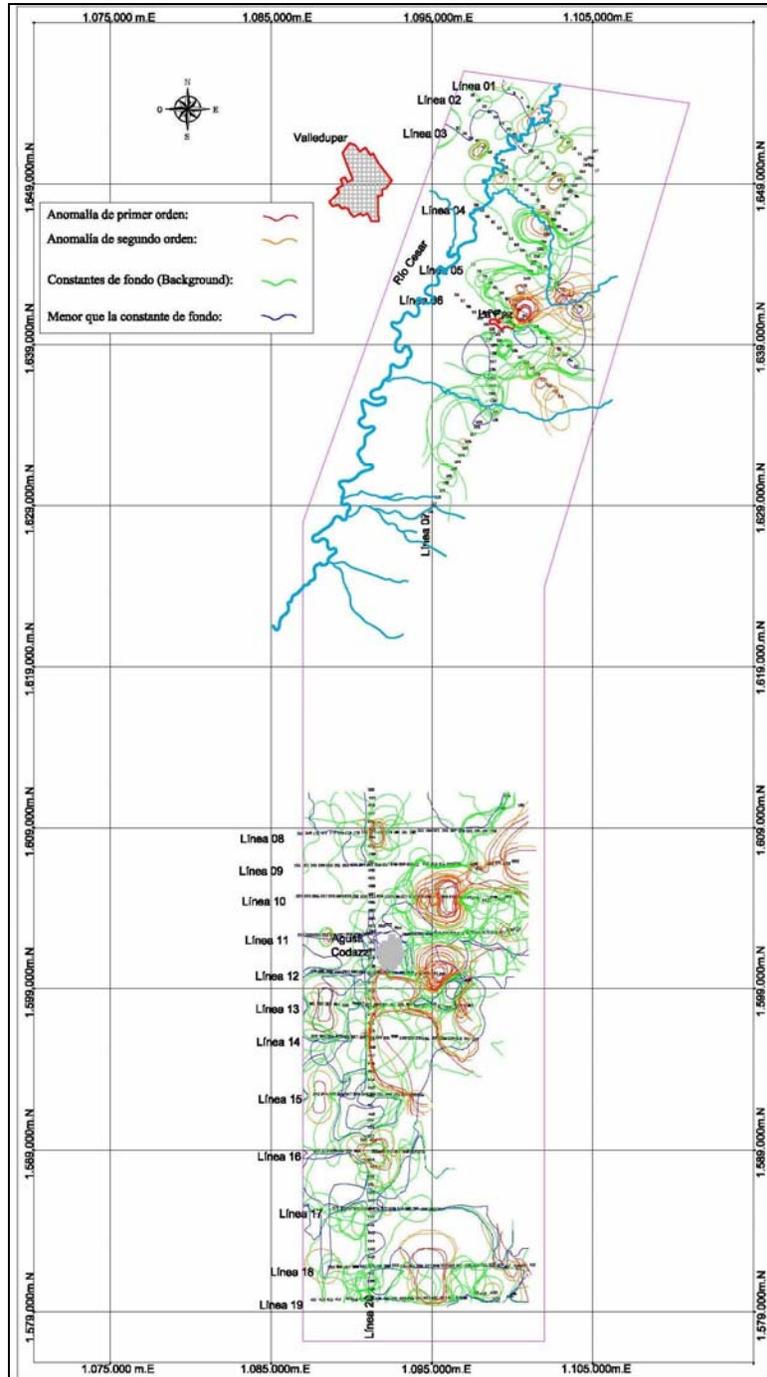


Figura 3. Mapa de sobreposición de los gases C_2 a C_5 .



Tabla 2. Localización de las anomalías

GRUPO/Anomalía	SECTOR	LÍNEA	GAS	MUESTRAS (PR)
T	Sur	9	C ₁ , C ₂ , C ₃ ,	218 a 223
		10		240 a 243
R	Norte	4	nC ₄ , iC ₅ y C ₅	73 a 76
		5		83 a 86
		7		141, 144 a 149
U	Sur	11	C ₁ , C ₂ , C ₃	275 a 278
		12		289, 294 a 296
		13		320, 321
V		12	C ₁ , C ₂ , C ₃	289
		13		310 a 312
		14		330 a 336
		15		356
α		18	C ₁ , C ₂	397, 399
		19		425 a 428, 432, 433
Σ		18	C ₁ , C ₃ , nC ₄	410
	19	433		
K	Norte	1	C ₁	1, 7 a 8, 10
L		2		31, 33
		3		46, 47, 53, 54
		7		155 a 158, 162
S		5		92
		6		111 a 114



Tabla 3. Concentraciones máximas de gas

Tipo de gas	Concentración máxima (ppm)
C ₁	80279
C ₂	1833
C ₃	25
iC ₄	9
nC ₄	7
iC ₅	3
C ₅	3

Tabla 4. Relación de anomalías geoquímicas

Categoría:	Grupo/Anomalía:	Sector:
Principales	R	Norte
	T, V, U y S	Sur
Secundarias	L, K	Norte
	α, Σ	Sur

Tabla 5. Grado de expresión de las anomalías en los gases C1 a C5.

Anomalías	Sector	Gases						
		C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	C ₅
k	Norte	X	R	A	A	A	A	A
L		X	R	R	R	A	R	R
R		X	X	X	A	X	X	X
S		X	X	R	A	R	A	R
T	Sur	X	X	X	A	R	X	X
U		X	X	R	R	R	R	R
V		X	X	X	R	A	R	R
α		X	X	R	A	R	A	A
Σ		R	R	R	A	X	R	R

X: Buena expresión; R: sólo remanentes de la anomalía; A: ausente



4.10 Conclusiones Sobre Áreas de Interés, Área Perijá

En el área Perijá se encuentran 5 grupos de anomalías, que por su expresión y extensión pueden clasificarse como principales (R, T, U, V y α), y 4 grupos de anomalías secundarias (K, L, S y Σ) (Tabla 4., Figura 4. y Anexo 13.). El grado de expresión en los diferentes gases se presenta en la Tabla 5.

Las anomalías R y T se expresan bien en C₁, C₂, C₃, iC₅ y C₅.

El grupo U tiene buena expresión en C₁ y C₂, y presenta remanentes en los demás gases. El grupo V tiene buena definición en C₁, C₂, C₃, con remanentes en iC₄, iC₅ y C₅, pero está ausente en C₄; mientras que el grupo α se manifiesta bien en C₁ y C₂, presenta remanentes de C₃ y C₄, y está ausente en los demás gases.

El grupo S se expresa bien sólo en C₁ y C₂, con remanentes en C₃, C₄ y C₅. El grupo K se diferencia bien sólo en el mapa de C₁, está ausente en C₄, y presenta remanentes en los demás gases.

La anomalía Σ se visualiza bien solamente en nC₄; en los demás gases presenta remanentes. El grupo K se expresa bien en C₁, con remanentes en C₂, y no está presente en los demás gases.

La sobreposición de estas áreas de interés con el mapa geológico de superficie (Área Perijá) permite apreciar que varias de estos grupos de anomalías se localizan o se enmarcan geográficamente donde afloran rocas cretácicas, que como se sabe son generadoras de hidrocarburos en Colombia. Estas rocas podrían emitir concentraciones altas de hidrocarburos, en este sector en particular, dado su posible condición de ser ricas en materia orgánica, por lo que se debe tener en cuenta esta circunstancia en la evaluación de estas anomalías (Figura 5. y Anexo 14.).



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

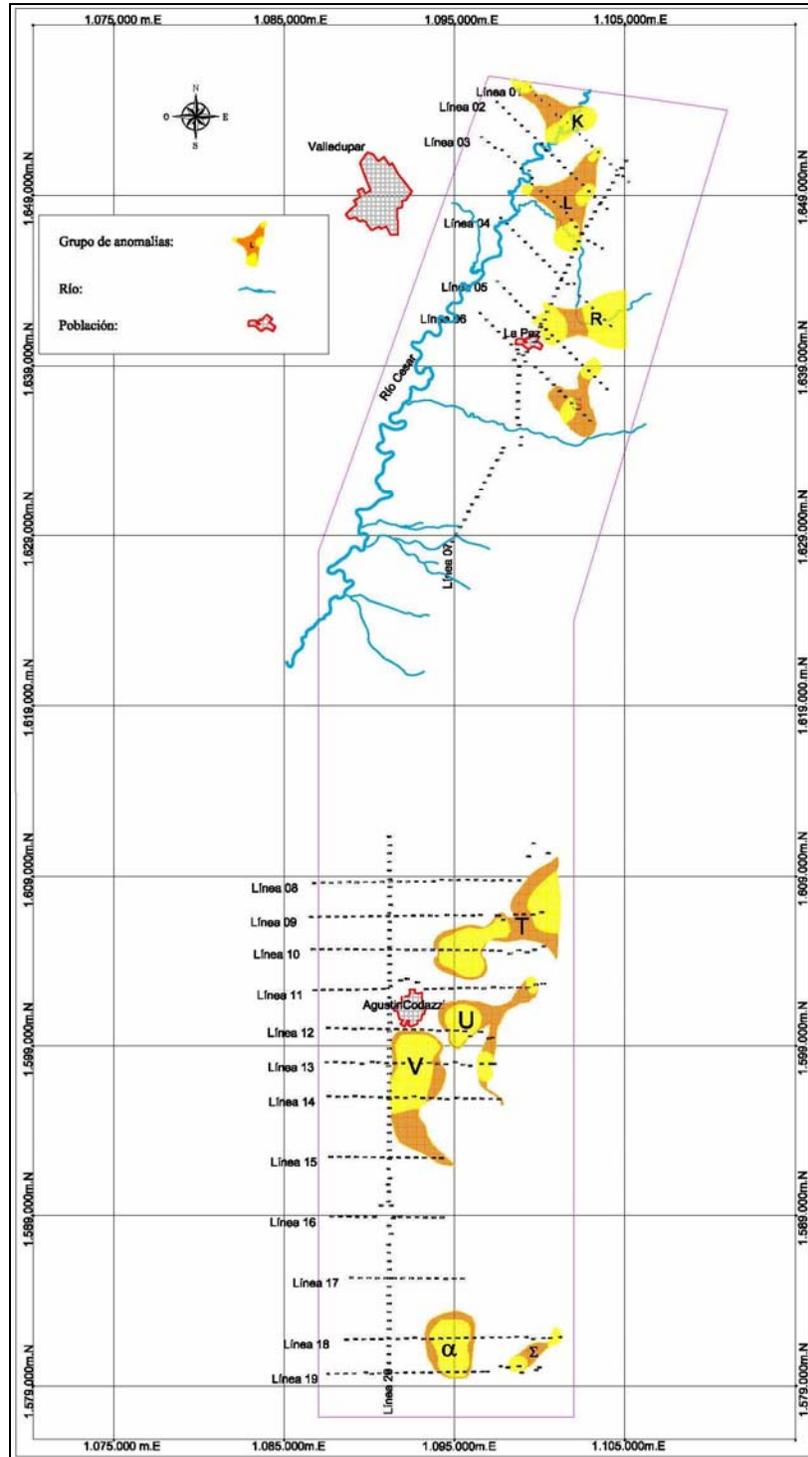


Figura 4. Mapa de áreas de interés.



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

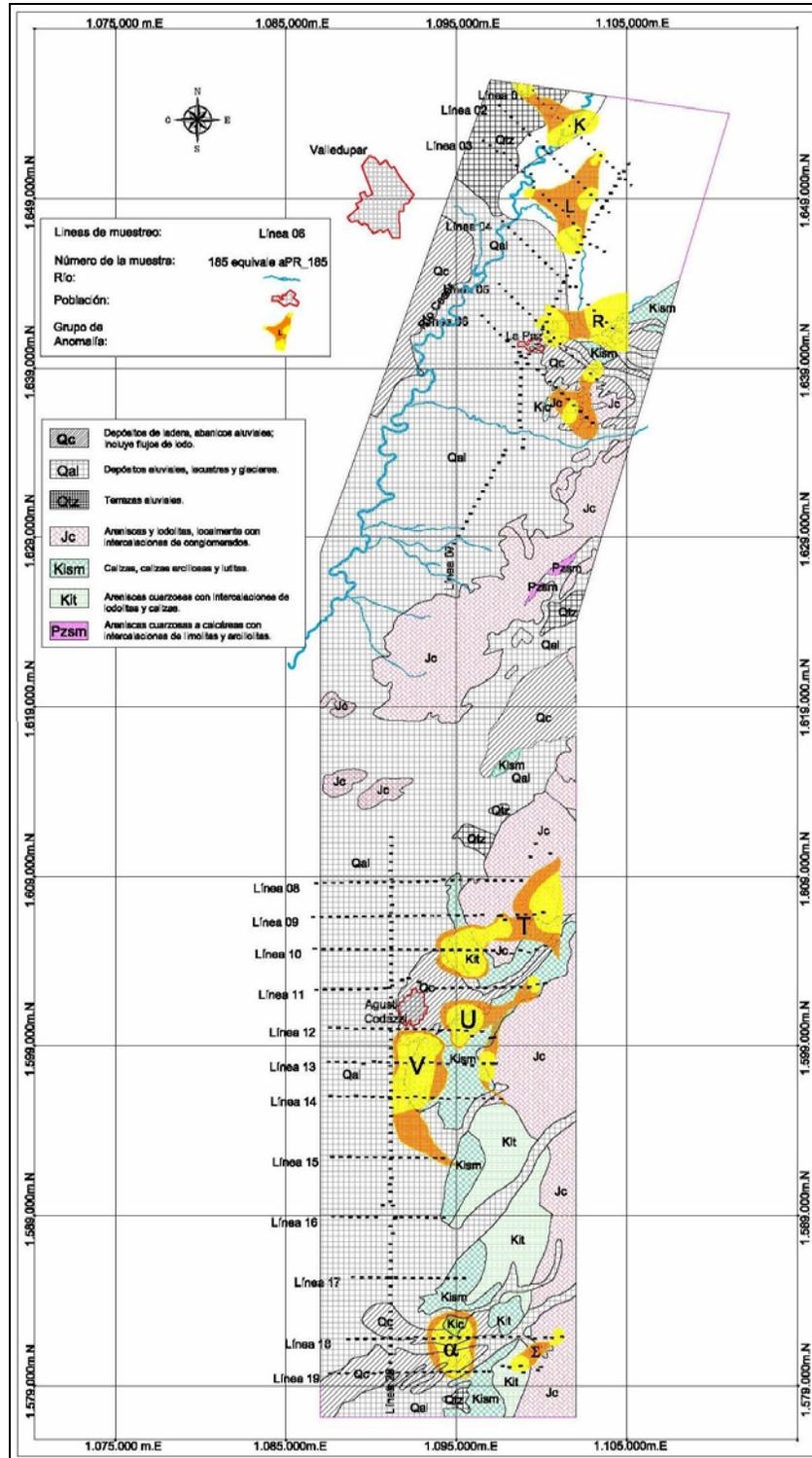


Figura 5. Áreas de interés sobre el mapa geológico del área de estudio.



5. ESTIMACIÓN DEL ORIGEN DE LOS HIDROCARBUROS, ÁREA PERIJÁ

De acuerdo con Whiticar (1994), la proporción relativa de los alcanos saturados C₁ – C₄, en una muestra de gas proporciona una clasificación inicial del origen del gas. Bernard (1978) utiliza la relación C₁/(C₂+C₃) para describir la relación de humectabilidad, entre otros, de los gases de emanaciones de superficie y sedimentos, y estimar su origen (Tabla 6.).

Tabla 6. Parámetro de Bernard para determinar el posible origen de los hidrocarburos.

Relación (Parámetro de Bernard)	ORIGEN:			
	Biogénico	Mezcla	Diagenético	Termogénico
C ₁ /(C ₂ + C ₃)	>1000	100 -1000	50 - 100	0 - 50

Aplicando esta relación, se identificaron 40 (8%) muestras, distribuidas así: 2, que corresponden al 0,4%, de posible origen microbiológico; 21 de origen diagenético, que corresponden al 4,2 %; y 17, que corresponden al 3,4%, que se relacionarían con mezcla (Tabla 7.), entre el total de las 500, siendo las demás (92%) de las muestras, de origen termogénico. Esta primera estimación que debe ser complementada con otros análisis, por ejemplo, isótopos de carbono e hidrógeno.



6. PREDICCIÓN DEL TIPO DE FLUIDO, ÁREA PERIJÁ

En un intento inicial por evaluar el posible tipo de fluido que podría estar relacionado con estos hidrocarburos termógenicos, se aplica a estos gases termógenicos, las consideraciones presentadas por Harworth *et al.* (1985), para la interpretación de manifestaciones de hidrocarburos livianos ($C_1 - C_5$), de datos de pozo. Estos autores determinan varios índices, a partir de los cuales estiman el tipo de fluido esperado, así:

Relación o tasa de humectabilidad de los hidrocarburos:

$$Hh = [(C_2 + C_3 + \dots + C_5) / (C_1 + C_2 + \dots + C_5)] \times 100$$

Índice o tasa de balance:

$$Bh = (C_1 + C_2) / (C_3 + iC_4 + nC_4 + C_5)$$

Relación de carácter:

$$Ch = (iC_4 + nC_4 + C_5) / C_3$$

Los intervalos establecidos, empíricamente, de acuerdo con la experiencia de los resultados, para Hh son:

< 0,5 = gas muy seco;

0,5 - 17,5: gas, la densidad se incrementa en la medida en que Hh se incrementa;

17,5 – 40: aceite, la densidad se incrementa en la medida en que Hh se incrementa;

y > 40: aceite residual

La relación Bh se utiliza por dos razones: 1) Calcula casi lo contrario a la relación Hh. 2) Colocando tanto el C_1 como C_2 en el numerador, las anomalías de mantos de carbón se distinguen de las manifestaciones de aceite, porque el gas del carbón es rico en C_1 y C_2 .

Cuando se grafican conjuntamente, Hh y Bh dan una interpretación del carácter del fluido.



- 1) Si Bh es > 100 , la zona corresponde a gas muy seco
- 2) Si Hh indica fase de gas y Bh $> Hh$, entonces se tiene gas
- 3) Si Hh indica una fase de gas y Bh es $< Hh$, se tiene entonces gas/aceite o gas/condensado
- 4) Si Hh está en fase de aceite y Bh es $< Hh$, corresponde a aceite
- 5) Cuando Hh es > 40 , Bh será mucho menor que Hh, indicando aceite residual.

El Ch se interpreta de la siguiente manera (esta relación es usada únicamente para clarificar Hh y Bh cuando indican gas):

- 1) Si Ch es $< 0,5$, la interpretación de Hh y Bh de gas es correcta
- 2) Si Ch es $>$ que $0,5$, el carácter gaseoso indicado por las relaciones Hh y Bh está asociado con aceite

La aplicación de estas relaciones a las muestras de gas del Área Perijá, permite estimar que el tipo de fluido esperado para esta área sería predominantemente hidrocarburo líquido, con alguna cantidad menor de condensado y gas (Anexo digital 16).

De otra parte, la graficación de las relaciones de $C_2/(C_3+C_4)$ vs. $C_1/(C_2+C_3)$, (Figura 6. y Anexo digital 17), permite estimar que los hidrocarburos esperados serían, predominantemente condensado e hidrocarburo líquido en menor proporción.

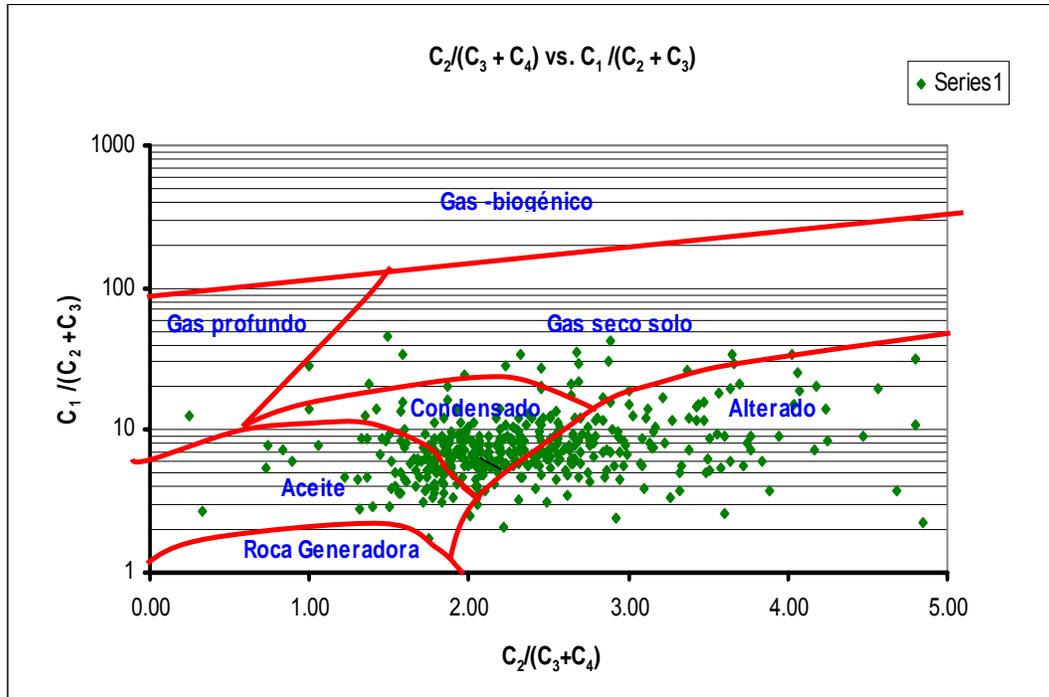


Figura 6. Posible tipo de fluido esperado (Fuente. Modificado de AAPG Memoria 60)



Tabla 7. Lista de muestras de posible origen diagenético, y mezclas

Sector Norte			Continuación Sector Sur		
Mezcla			Diagenético		
Consecutivo	Nº de muestra	Nº de Línea	Consecutivo	Nº de muestra	Nº de Línea
1	PR-158	Línea 7	1	PR-248	Línea 10
2	PR-162	Línea 7	2	PR-322	Línea 14
Diagenético			3	PR-326	Línea 14
1	PR-31	Línea 2	4	PR-328	Línea 14
2	PR-57	Línea 3	5	PR-330	Línea 14
3	PR-145	Línea 7	6	PR-331	Línea 14
4	PR-155	Línea 7	7	PR-333	Línea 14
Sector Sur			8	PR-334	Línea 14
Microbiológico			9	PR-337	Línea 14
1	PR-413	Línea 19	10	PR-338	Línea 14
2	PR-432	Línea 19	11	PR-376	Línea 17
Mezcla			12	PR-380	Línea 17
1	PR-329	Línea 14	13	PR-404	Línea 18
2	PR-335	Línea 14	14	PR-448	Línea 20
3	PR-336	Línea 14	15	PR-459	Línea 20
4	PR-348	Línea 15	16	PR-466	Línea 20
5	PR-363	Línea 16	17	PR-493	Línea 20
6	PR-364	Línea 16			
7	PR-365	Línea 16			
8	PR-370	Línea 16			
9	PR-382	Línea 17			
0	PR-385	Línea 18			
11	PR-425	Línea 19			
12	PR-428	Línea 19			
13	PR-460	Línea 20			
14	PR-461	Línea 20			
15	PR-499	Línea 20			



7. DETERMINACIÓN DEL ORIGEN DE LOS HIDROCARBUROS A PARTIR DE ANÁLISIS ISOTÓPICOS, ÁREA PERIJÁ

Además de utilizar el método de humectabilidad (numeral 5), para determinar la génesis del metano mediante una fórmula empírica, se envió al laboratorio las muestras con alta concentración de metano para determinar la relación de carbono 12 / 13 mediante espectrometría de masas. En algunos casos se presenta diferencias del origen del metano entre los dos métodos, por lo que es recomendable utilizar el diagrama de Bernard (Figura 7) donde se complementan y dan un resultado más confiable, ya que relacionan los resultados de Isótopos de laboratorio con la fórmula empírica de los hidrocarburos livianos C_1 , C_2 y C_3 .

Los rangos de valores de isótopos tenidos en cuenta para la interpretación son:

Origen termogénico valores mayores de -55

Origen mezclas valores entre - 65 a - 55

Origen Biogénico valores menores de -65

50 muestras fueron seleccionadas para análisis isotópicos, pero solamente 14 de ellas, dieron concentraciones suficientes de gas para realizar dicho análisis (Anexo digital 18 y Anexo 19, Tabla 8.).

Tabla 8. Resultados de análisis isotópicos de muestras.

Nº de muestra	$\delta^{13}C_1$ ‰	C_1 / C_2+C_3
PR-145	-39.68*	93.38
PR-219	-37.99	30.54
PR-243	-41.2	8.31
PR-248	-36.7	83.34
PR-277	-31.9	45.34
PR-294	-38.6	25.63
PR-296	-35.45	23.65
PR-332	-34.5	~1
PR-335	-32.7	119.21
PR-336	-32.4	142.35
PR-337	-34.99	80.85
PR-356	-35.32	27.90
PR-370	-30.55	779.27
PR-427	-46.57	23.26

*Análisis realizados por el Lab. Isotech, E.U.



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

Los resultados isotópicos de las muestras analizadas presentan valores mayores de -55 ‰ (relativamente más positivos) de $\delta^{13}\text{C}_1$, indicando la influencia termogénica en el origen de estos gases, sin que haya gases de origen microbiológico propiamente dicho.

Generalmente las muestras están localizadas al oriente del bloque sobre rocas cretácicas. Las muestras PR: 219, 243, 294, 296, 332, 356 y 427, relacionadas con los grupos de anomalías T, U, V y α confirman el carácter termogénico de gas seco (Figura 7.), como se determinó inicialmente a partir del parámetro de humectabilidad de Bernard.

Las muestras PR-248 y PR-337, clasificadas de origen diagenético por la humectabilidad, se determinan en la graficación de isótopos vs. humectabilidad en el área cercana al área de kerógeno tipo II, posiblemente de gas profundo.

Las muestras PR-145, 294, y 332 localizadas en el sector central del área sobre sedimentos cuaternarios muestran origen profundo termogénico de acuerdo con la lectura del isótopo de carbono.

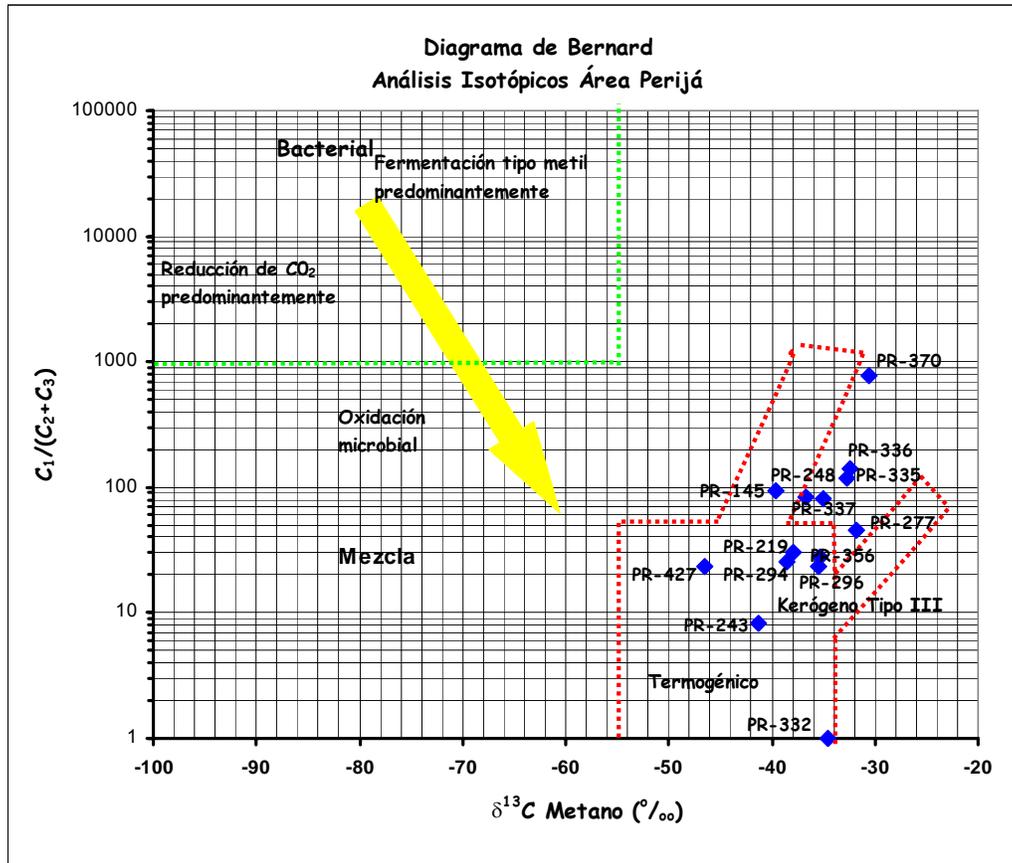


Figura 7. Gráfico de Bernard: $^{13}C/^{12}C_{(0/00)}$ metano vs. $C_1/(C_2+C_3)$.
(Fuente. Modificado de AAPG Memoria 60)



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

CONCLUSIONES SOBRE EL ÁREA PERIJÁ

En el área Perijá se encuentran 5 anomalías, que por su expresión y extensión pueden clasificarse como principales (R, T, U, V y α), y secundarias (K,L,S y Σ) .

Las anomalías U y V, en el sector sur, al oriente de la población de Codazzi, presentan mejor expresión.

Se estima que el 92%, de las 500 muestras analizadas, es de origen termogénico.

En particular, los resultados de análisis de isótopos de las muestras PR- 219, 296, 356, y 427, relacionadas con las anomalías T, U, V y α , confirman el carácter termogénico de estos gases.

Los resultados de los análisis isotópicos de la muestra PR-145, la relacionan con kerógeno tipo II, posiblemente diagenético, dado que en el sitio donde se tomó la muestra afloran rocas cretácicas.

En general las anomalías del sector oriental del bloque parecen estar relacionadas con presencia de rocas cretácicas (roca fuente) que afloran en el flanco occidental de la serrana de Perijá. Además, los lineamientos insinuados en este flanco por el mapa geológico, tienen anomalías asociadas.

RECOMENDACIONES

Analizar con la geología del subsuelo las anomalías registradas en el flanco occidental de la serranía de Perijá, debido a que estas parecen estar ligadas a la presencia de roca fuente.



8. INTERPRETACIÓN CUENCA SINÚ–SAN JACINTO, ÁREA TURBACO-LURUACO

8.1 Tratamiento Estadístico

Para realizar el tratamiento estadístico de los datos, se aplicaron varios filtros, así: a partir de la relación de Bernard, se identificaron muestras de origen biogénico, diagenético y mezclas (Anexo digitales 8.1.1), eliminándolas, y dejando únicamente aquellas de origen termogénico.

Seguidamente se eliminaron las muestras por encima del percentil 95,4% (esto únicamente para el tratamiento estadístico, ya que luego el mapeo se hace con todos los datos de gases termogénicos), (Anexo digital 21.), que de acuerdo con *Duchscherer* (1990), corresponderían a muestras anómalas.

Seguidamente se normalizaron los datos (obtención del logaritmo natural de los datos), debido a que estos datos presentan una distribución *Log-Normal* (Krumbein y Graybill, 1965; Isaaks y Srivastava, 1989).

Para el tratamiento estadístico se empleó el programa Past. A partir de éste se generaron histogramas, y se determinaron las medidas de posición central (media, mediana) y las medidas de dispersión (rango, varianza, desviación estándar), etc. (Anexo 22.), para cada uno de los gases, de cada sector. El objetivo principal de este ejercicio es estimar la constante de fondo (background) y los posibles valores anómalos, para cada uno de los sectores.

8.2 Determinación de Anomalías

Como ya se mencionó, la determinación de la constante de fondo y anomalías se realizó a partir del tratamiento estadístico.

En el ejercicio del tratamiento estadístico de esta área, por ejemplo, si se toman todos los datos, de posible origen termogénico, se obtienen los siguientes valores:



Media = 29

Desviación estándar: 194

Si a partir de estas medidas se determinan las anomalías de segundo y primer orden, aplicando para las anomalía de segundo orden el valor de la media más dos desviaciones estándares, y para las anomalías de primer orden la media más tres desviaciones estándares (*Duchscherer*, 1990), se obtendría que la anomalía de segundo orden estaría por encima de 416 ppm y la anomalía de primer orden por encima de 610 ppm para el metano, es decir, que para los valores de origen termogénico sólo habría, en total, 3 valores anómalos (equivalente al 0,7% de estos datos) que corresponden a puntos aislados dentro de la población analizada.

Debido a esto, para realizar el tratamiento estadístico se tomaron los datos correspondientes al percentil 95,4% el cual corresponde, en una curva gaussiana normal, a la media más dos desviaciones estándares, es decir, se eliminan los datos que se encuentran en los extremos o más alejados del promedio. La comparación entre el análisis de datos para los valores completos y para la constante de fondo o valores *background*, para el metano y el etano, se presentan en el Anexo 22.

Para la constante de fondo se tomaron todos los valores de concentración menores o iguales a la media; en tanto que las anomalías de segundo orden se tomaron, a partir de la media más dos desviaciones estándares, y para las anomalías de primer orden se tomó la media más tres desviaciones estándares (*Duchscherer*, 1990), para cada uno de los hidrocarburos livianos: metano, etano, propano, isobutano, butano, isopentano y pentano (C_1 , C_2 , C_3 , iC_4 , nC_4 , iC_5 y C_5), para cada uno de los sectores (Tabla 9.).



Tabla 9. Valores de las anomalías

	Media	Desviación Estándar	Anomalía de 2º orden	Anomalía de 1º orden
	μ	σ	$\mu + 2\sigma$	$\mu + 3\sigma$
Metano	13.65	7.16	27.97	35.13
Etano	1.67	1.10	3.87	4.97
Propano	0.44	0.38	1.19	1.57
Acetileno	0.04	0.14	0.33	0.47
Isobutano	0.18	0.71	1.61	2.33
Butano	0.41	0.39	1.19	1.58
Isopentano	0.06	0.18	0.41	0.59
Pentano	0.13	0.20	0.54	0.75
Hexano	0.07	0.35	0.78	1.13



9. CARTOGRAFÍA DE GASES E IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS

Una vez definidos la constante de fondo y los rangos de las anomalías de segundo y primer orden, se procedió a elaborar mapas de contornos y clases para todos los gases termógenicos, tomando como base el mapa de coordenadas finales de los puntos muestreados. En esta tarea se utilizaron, igualmente, los programas *Surfer*, *Autocad* y *Arcgis*.

9.1 Mapa de Metano

La expresión de anomalías débiles de segundo y primer orden, en este mapa se agrupa en tres sectores, así: noreste, medio central y suroeste, que se denominarán, en este caso: E, F y G, respectivamente (Figura 8. y Anexo 23.). El grupo E se localiza en o hacia el extremo occidental de las líneas 1, 2,3 y 4; el grupo F se ubica hacia la parte central de la líneas 4 y 10, y hacia el extremo oeste de las líneas 5 y 6.

El grupo G, comprende dos subgrupos, uno, ubicado hacia el norte del extremo sur de la línea 10, con el cruce de ésta con la línea 7; y otro subgrupo desplazado hacia el sur, en el extremo occidental de la línea 9 y el cruce de ésta con el extremo sur de la línea 10. Hacia este último grupo de anomalías se ubican los volcanes de lodo TL -V01 y TL-V02, muestreados en el presente estudio.

Se visualiza una expresión débil (2 muestras) al oriente del pozo Turbaco-6. En general las anomalías de este gas se localizan al occidente del área de estudio. El C₁ no presenta expresión cerca de los pozos Turbaco-1 y Turbaco-2.

9.2 Mapa de Etano

En este mapa, los grupos de anomalías E y F, expresados por el metano, desaparecen (Figura 9. y Anexo 24.); sin embargo, aunque con menor extensión, se mantiene la expresión de los subgrupos del grupo G.



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

Hacia el noreste, sobre el extremo oriental de la línea 3, se destaca el punto TL-119, con contornos de anomalías de segundo y primer orden, no expresados en el mapa de metano.

Las anomalías de C_2 las cuales son débiles se localizan en la zona suroccidental del área. Al oriente del pozo Turbaco-6 se repite la anomalía débil mostrada por C_1 .

9.3 Mapa de Propano

En este mapa, sólo se expresan remanentes del grupo de anomalías G; las demás, descritas en los anteriores mapas mencionados, desaparecen. Sobre la línea 8, hacia el sureste, las muestras TL- 308 y 312 presentan contornos de anomalías de segundo y primer orden, los cuales se insinúan, pero levemente en los anteriores mapas (Anexo 25.).



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

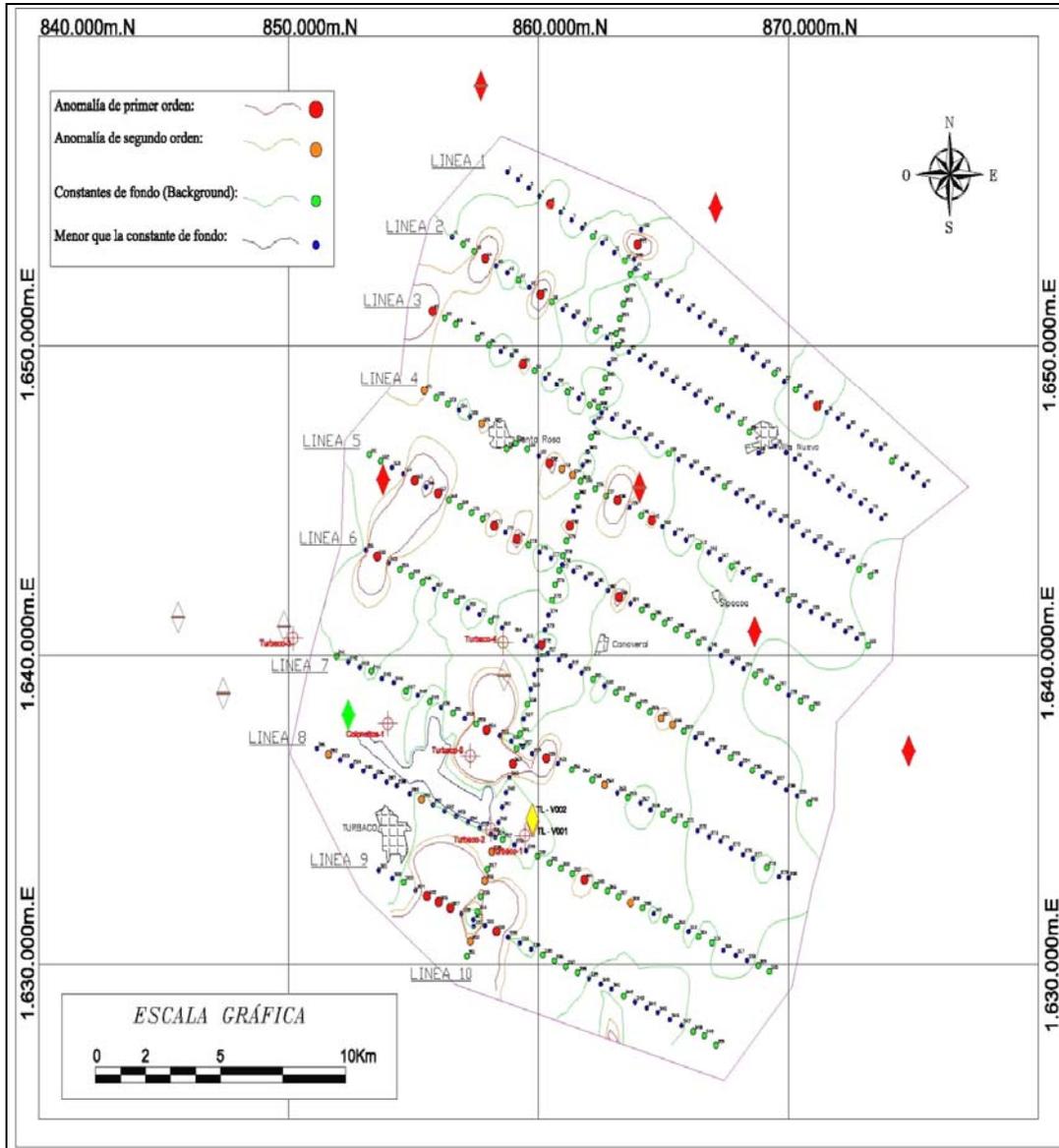


Figura 8. Mapa de clases y de contornos de metano.

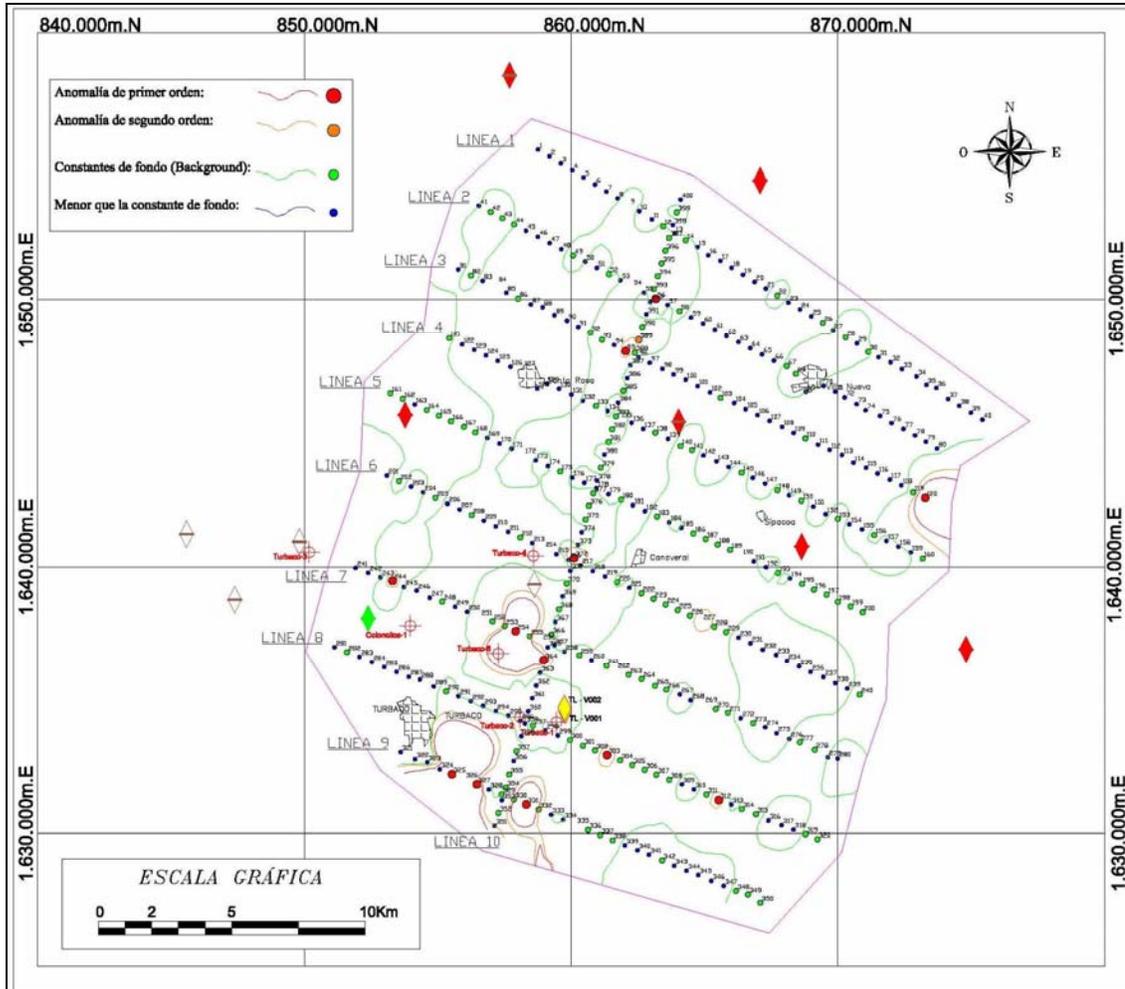


Figura 9. Mapa de clases y de contornos de etano.

9.4 Mapa de Isobutano

En este mapa solamente se observan remanentes de las anomalías E y F (Anexo 26.). Otros grupos de anomalías, expresadas en los mapas anteriores, no se visualizan. En la parte suroeste, sobre la línea 7 se tiene el punto, TL- 244, que presenta contornos de valores anómalos, los cuales se expresan también levemente en el mapa de etano.



9.5 Mapa de Butano

En el mapa de este gas, prácticamente todas las anomalías mencionadas atrás no se observan, con excepción de algunos remantes relacionados posiblemente con las anomalías E, F y G, o localizados cerca de su localización geográfica (Anexo 27.). En el extremo oriental, dos muestras de las líneas 5 y 6, los puntos TL-200 y 240, respectivamente, presentan lecturas de anomalía de segundo orden.

9.6 Mapa de Isopentano

Este mapa presenta contornos anómalos menores, de poca extensión areal, geográficamente relacionados con las anomalías E, F y G (Anexo 28.), otras anomalías no están presentes.

9.7 Mapa de Pentano

En este gas únicamente tienen expresión algunos contornos relacionados con la anomalía F, pero un poco desplazada hacia el norte, hacia el cruce de la línea 6 con la 10. No se tiene ninguna otra expresión anómala, con excepción de dos muestras aisladas, la TL-111 sobre la línea, y la TL-151, en la línea 4, que presentan valores anómalos de segundo y primer, y de segundo orden, respectivamente (Anexo 29.).

9.8 Mapa de sobreposición de los gases C₂ a C₅

La Figura 10. y el Anexo 30., presentan la sobreposición de estos gases C₂ a C₅. En este mapa no se observa el grupo de anomalías E localizado noroeste del área, el cual está presente sólo en el mapa de metano. Se destaca en el suroeste el grupo G que presenta la mejor y mayor expresión en el área.

9.9 Expresión de las Anomalías en los Perfiles Cromatográficos

Las concentraciones obtenidas para cada gas en cada una de las muestras se grafican colocando en el eje de las ordenadas estas concentraciones, en escala



logarítmica, y el número de la muestra en el eje de las abcisas (perfiles cromatográficos). Las anomalías identificadas a partir de la cartografía, se pueden, igualmente, visualizar en los perfiles cromatográficos (Tabla 10. y Anexo 31.). Las mayores concentraciones de gas (ppm) corresponden al metano, seguidos por las de etano (Tabla 11.).

Tabla 10. Localización de las anomalías para los gases C₁ y C₂.

ANOMALÍA	SECTOR	LÍNEA	GAS	MUESTRAS
E	NOROESTE	1	C ₁	5, 9, 399 a 400
		2		42 a 44 y 49 a 50
		3		81,89
		4		121
F	NOROESTE	4	C ₁	126,132 a 133 y 138 a 141
		5		165 a 168; 172; 174 a 175; 183
		6		201, 204 a 205
		10		380
G	SUROESTE	7	C ₁	254, 259, 262
		8	C ₂	304
		9		325 a 327; 331
		10		351; 352; 354 a 358; 364 a 365

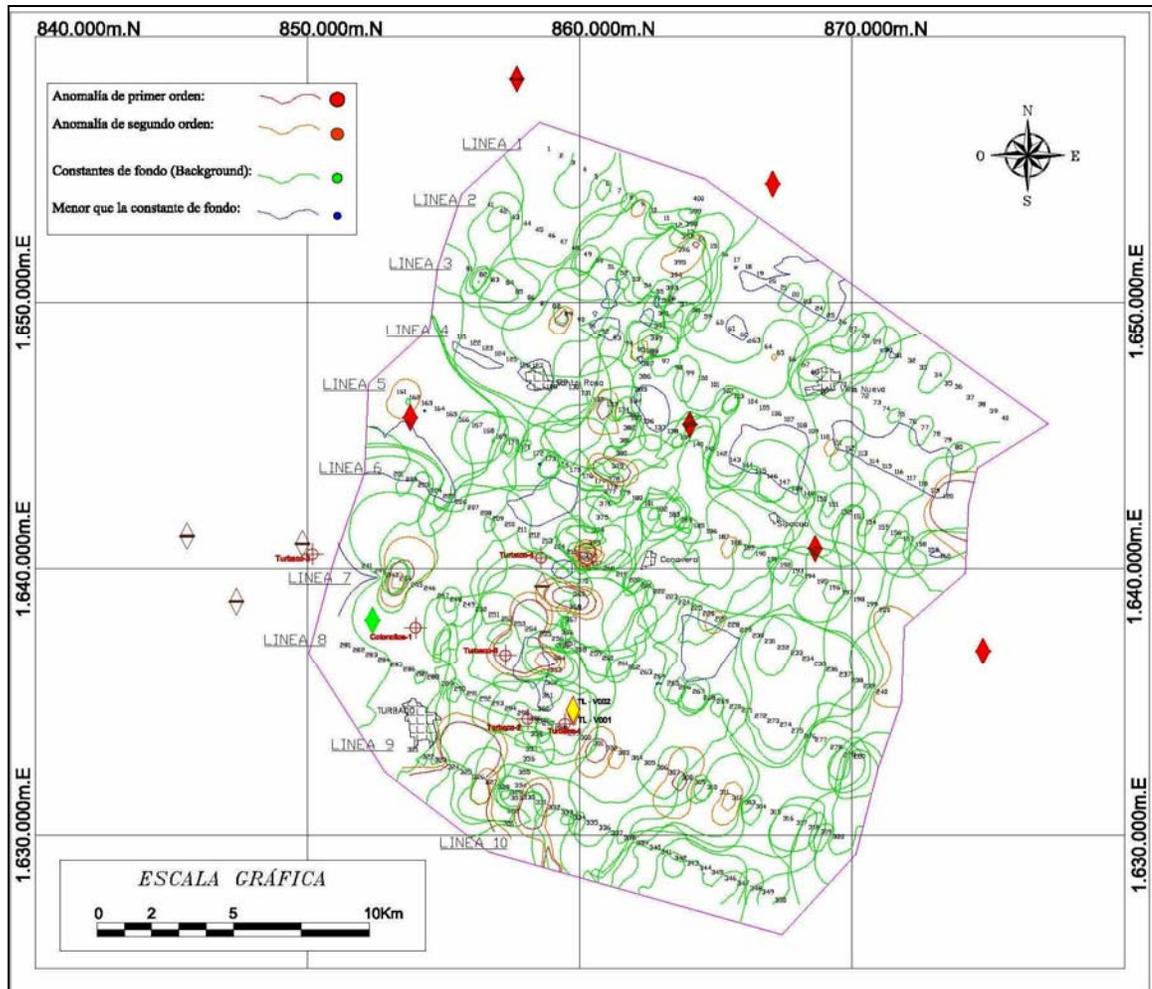


Figura 10. Mapa de sobreposición de los gases C₂ a C₅.

Tabla 11. Concentraciones máximas de gas

Tipo de gas	Concentración máxima (ppm)*
C ₁	3776
C ₂	173
C ₃	9
iC ₄	10
nC ₄	3
iC ₅	2
C ₅	3

*partes por millón



9.10 Conclusiones Sobre Áreas de Interés, Área Turbaco - Luruaco

En el área Turbaco – Luruaco, se pueden identificar 3 sectores de interés en cuanto a presencia de grupos de anomalías geoquímicas de gases, de segundo y primer orden, que como se mencionó anteriormente, se denominan en este estudio: E, F y G (Figura 11. y Anexo 32.) y entre ellos el grupo G tiene ligeramente más expresión (Tabla 12.). La Figura 12. y el Anexo 33. Presentan las áreas de interés sobre el mapa geológico del área de estudio. Estas anomalías están, en su mayoría, localizadas sobre rocas cuaternarias y en menor proporción sobre rocas del Terciario.

En general, por su expresión en los distintos gases analizados, estos grupos de anomalías son débiles. Los pozos no productores perforados en el sector suroccidental del área no presentan anomalía. La anomalía al sur de estos pozos perforados es débil (tres datos).



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

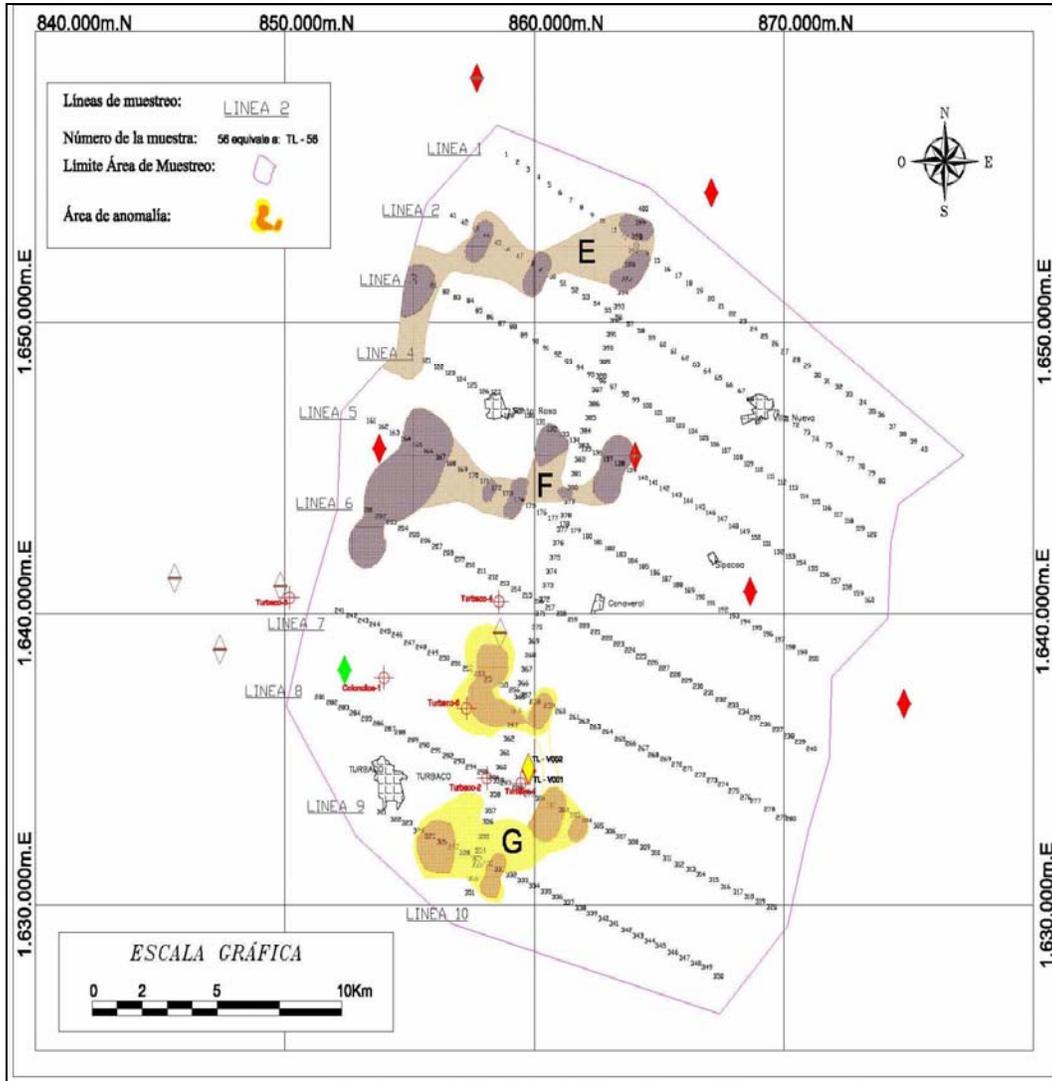


Figura 11. Mapa de áreas de interés.

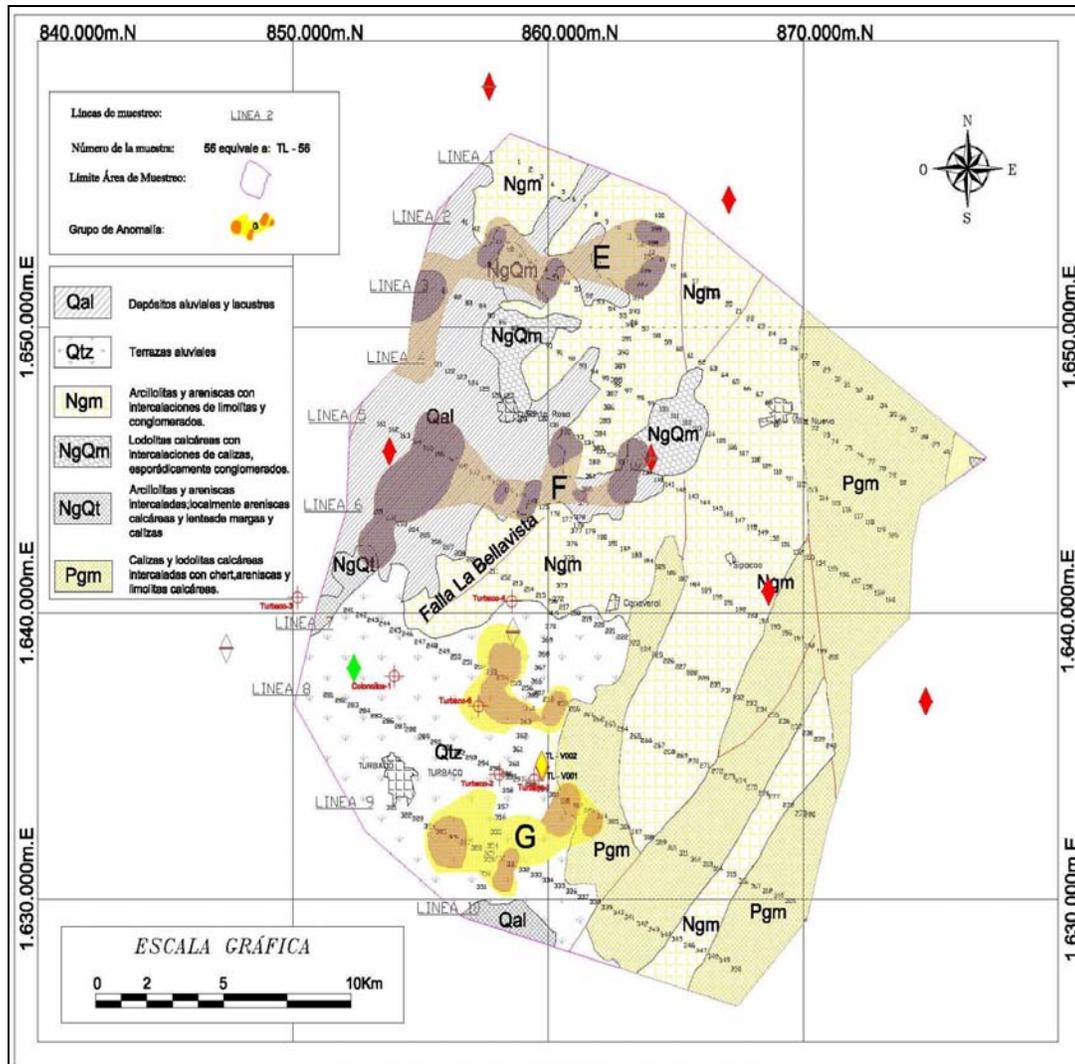


Figura 12. Áreas de interés sobre el mapa geológico del área de estudio.

Los grupos de anomalías E y F se localizan en el sector noroccidental del área evaluada, y tienen buena expresión, únicamente en el mapa de metano. El grupo E presenta remanentes en iC_4 y nC_4 , y no está presente en C_3 , iC_5 y C_5 . El grupo F presenta remanentes en iC_4 , nC_4 y iC_5 , y no está presente en C_2 , C_3 y C_5 .

El grupo G, se ubica hacia el suroeste del área estudiada. Este grupo tiene buena expresión en el mapa del metano y etano, pero se manifiesta con remanentes de poca extensión en los gases C_3 y C_4 , pero no está presente en C_5 , y no presenta en el mapa del iC_4 , iC_5 y C_5 .

**Tabla 12.** Grado de expresión de las anomalías en los gases C₁ a C₅.

Grupo de anomalías	Gases						
	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	C ₅
E	X	A	A	R	R	A	A
F	X	A	A	R	R	R	A
G	X	X	R	A	R	A	A

X: Buena expresión; R: sólo remanentes de la anomalía; A: ausente

Hacia el noreste, sobre el extremo oriental de la línea 3, se destaca el punto TL-119, con contornos de anomalías de segundo y primer orden, que se expresan solamente en el mapa de etano.

Sobre la línea 8, hacia el sureste, las muestras TL- 308 y 312 presentan contornos de anomalías de segundo y primer orden, únicamente con buena expresión en el mapa de propano.

En la parte suroeste, sobre la línea 7 se tiene el punto, TL- 244, que presenta contornos de valores anómalos, los cuales se expresan bien solamente en el isobutano. En los mapas de iC₅ y C₅, en la línea 10, sobresalen los puntos TL-369, 372 y 373.

De acuerdo con lo anterior, en el área evaluada Turbaco – Luruaco, se pueden categorizar en orden descendiente, los grupos anómalos identificados, así: G, bien o con remantes, en algunos gases; E, F, bien en C₁, con remantes o no se visualizan en algunos gases; y los puntos TL-119; TL-308 y 312; y TL-244, únicamente en un gas, C₂, C₃ e iC₄, respectivamente. También los puntos TL-369, 372 y 373, en los gases iC₅ y C₅.



10. ESTIMACIÓN DEL ORIGEN DE LOS HIDROCARBUROS, TURBACO – LURUACO

De acuerdo con Whiticar (1994), la proporción relativa de los alcanos saturados C₁ – C₄, en una muestra de gas proporciona una clasificación inicial del origen del gas. Bernard (1978) utiliza la relación C₁/(C₂+C₃) para describir la relación de humectabilidad, entre otros, de los gases de emanaciones de superficie y sedimentos, y estimar su origen (Tabla 13.).

Tabla 13. Parámetro de Bernard para determinar el posible origen de los hidrocarburos

Relación (Parámetro de Bernard)	Origen:		
	Biogénico	Mezcla /diagenético	Termogénico
C ₁ /(C ₂ + C ₃)	>1000	50 - 1000	0 - 50

Aplicando esta relación, se identificaron 5 (1,5%) muestras, que corresponden: 2, que representan el 0,5%, posiblemente relacionadas con mezclas; 3 de origen diagenético, que corresponden al 0,75 % (Tabla 14.), entre el total de las 400, siendo el resto de gas (98,75%) de las muestras, de origen termogénico. Este planteamiento de estimación, en cuanto al tipo de gases presentes, debe ser complementado con otros análisis, por ejemplo, isótopos de carbono e hidrógeno.

Tabla 14. Lista de muestras de posible origen diagenético, y mezclas

Mezcla		
Consecutivo	Nº de muestra	Nº de Línea
1	TL - 214	6
2	TL - 262	7
Diagenético		
Consecutivo	Nº de muestra	Nº de Línea
1	TL - 84	3
2	TL - 127	4
3	TL - 135	4



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

11. PREDICCIÓN DEL TIPO DE FLUIDO

La aplicación, igualmente, de las consideraciones presentadas por Harworth *et al.* (1985), para la interpretación de manifestaciones de hidrocarburos livianos ($C_1 - C_5$) a las muestras del área Turbaco - Luruaco (Anexo digital 35), permite estimar que el tipo de fluido a esperar sería, en su mayoría, hidrocarburo líquido, y en menor proporción condensado.

De otra parte, la graficación de las relaciones de $C_2/(C_3+C_4)$ vs. $C_1/(C_2+C_3)$, (Figura 13. y Anexo digital 36) permite estimar que los hidrocarburos esperados serían, serían condensado e hidrocarburo líquido y gas en menor proporción.



12. DETERMINACIÓN DEL ORIGEN DE LOS HIDROCARBUROS PRESENTES EN ANOMALÍAS A PARTIR DE ANÁLISIS ISOTÓPICOS

Además de utilizar el método de humectabilidad (numeral 10), para determinar la génesis del metano mediante una fórmula empírica, se envió al laboratorio las muestras con alta concentración de metano para determinar la relación de carbono 12 / 13 mediante espectrometría de masas. En algunos casos se presenta diferencias del origen del metano entre los dos métodos, por lo que es recomendable utilizar el diagrama de Bernard (Figura 13) donde se complementan y dan un resultado más confiable, ya que relacionan los resultados de Isótopos de laboratorio con la fórmula empírica de los hidrocarburos livianos C_1 , C_2 y C_3 .

Los rangos de valores de isótopos tenidos en cuenta para la interpretación son:

Origen termogénico valores mayores de -55

Origen mezclas valores entre - 65 a - 55

Origen Biogénico valores menores de -65

De esta área, 40 muestras fueron seleccionadas para análisis isotópicos, pero solamente 31 de ellas, dieron concentraciones suficientes de gas para realizar dicho análisis (Anexo digital 37 y Anexo 38, Tabla 15.).

Los resultados isotópicos de las muestras analizadas presentan valores menores de -55 ‰ (relativamente más negativos) de $\delta^{13}C_1$, indicando la influencia biogénica en el origen de estos gases.

Tabla 15. Resultados de análisis isotópicos de muestras.

Nº de muestra	$\delta^{13}C_1$	$C_1 / C_2 + C_3$	Laboratorio
TL-05	-67.60	30.94	Baseline Resolution
TL-30	-43.44	16.10	Intertek
TL-44	-85.72	46.00	Intertek
TL-49	-79.00	20.40	Intertek
TL-81	-93.10	31.34	Baseline Resolution
TL-127	-79.57	79.42	Intertek



TL132	-52.00	21.37	Baseline Resolution
TL-134	-61.42	48.04	Intertek
TL-135	-63.35	93.53	Intertek
TL-141	-41.21	10.83	Intertek
TL-167	-67.74	16.78	Intertek
TL-172	-76.57	8.05	Intertek
TL-174	-67.96	32.12	Intertek
TL183	-64.91	16.21	Intertek
TL-202	-38.00	47.68	Intertek
TL-214	-79.67	146.45	Intertek
TL-254	-38.27	13.43	Intertek
TL-259	-56.10	31.15	H.R.T.P. (Brasil)
TL-262	-85.47	178.60	Intertek
TL-264	-39.93	9.58	Intertek
TL-282	-57.77	14.68	Intertek
TL-304	-62.50	9.52	H.R.T.P. (Brasil)
TL-308	-72.17	4.33	Intertek
TL-319	-46.04	5.99	Intertek
TL-325	-37.85	21.64	Intertek
TL-326	-59.30	18.16	H.R.T.P. (Brasil)
TL-327	-80.25	15.50	Intertek
TL-331	-26.52	34.79	Intertek
TL-352	-66.91	8.48	Intertek
TL-358	-48.34	31.67	Intertek
TL-364	-39.52	8.23	Intertek

Al confirmar con las anomalías presentadas en el Anexo 38 Mapa de metano con resultados de isótopos se puede concluir que la anomalía del norte tiene un origen predominantemente biogénico mientras que las anomalías del sur son termogénicas hacia gas seco y mezcla.

En particular los resultados de análisis de isótopos de las muestras TL: 202, 254, 254, 325, 331, 358 y 364, relacionadas con la anomalía G confirman el carácter termogénico y sugieren gases secos, muy maduro. Esta anomalía se localiza en el sector de los pozos de Turbaco.

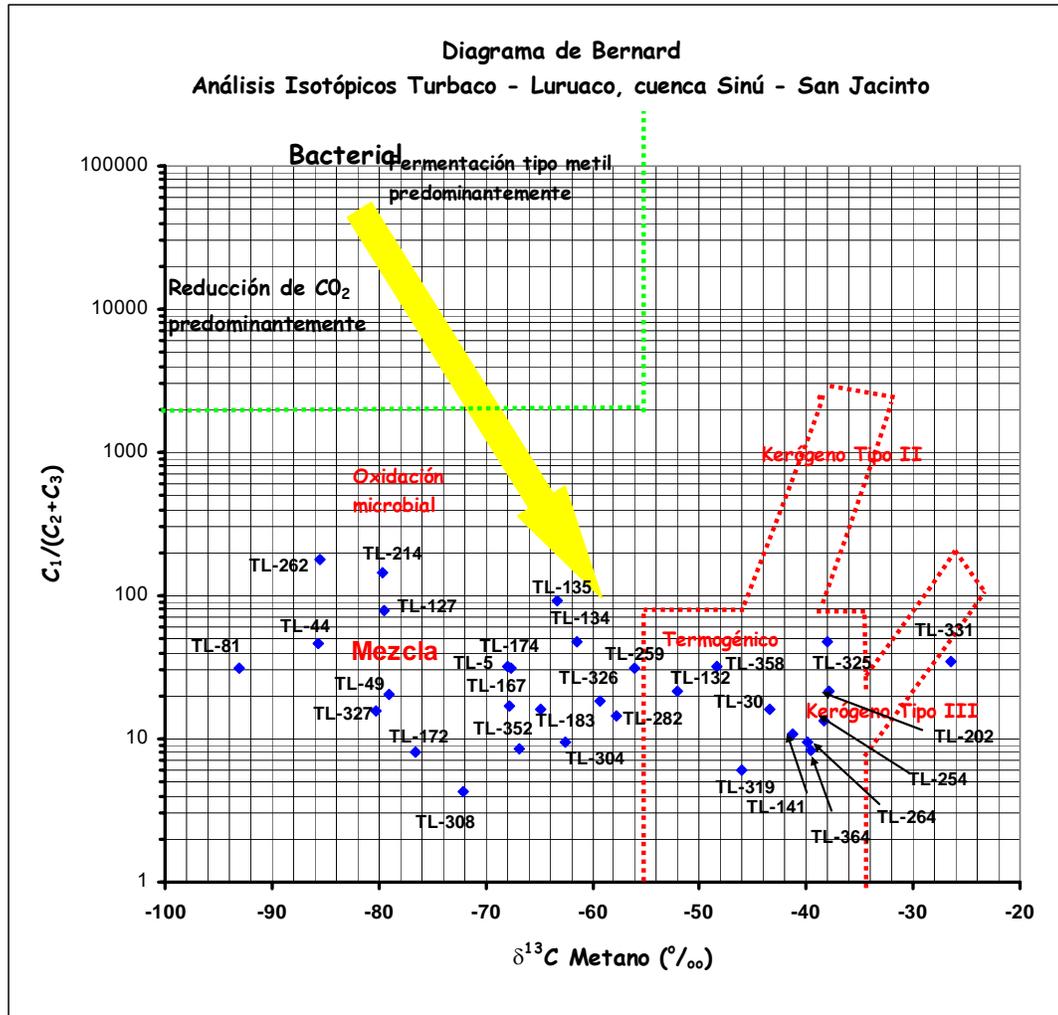


Figura 13. Gráfico de Bernard: $^{13}C/^{12}C_{(0/00)}$ metano vs. $C_1/(C_2+C_3)$.
(Fuente. Modificado de AAPG Memoria 60)

Los gases de las muestras TL: 358, 319, presentan características de gases húmedos, maduros y asociados a hidrocarburos líquidos.

Las muestras al sur del área como la TI: 259, 282, 304 y 326 se presentan en el rango de mezclas.



Al oriente de los pozos Coloncitos-1 y Turbaco-6 se encuentra una zona de anomalía en la predomina el carácter termogénico de las muestras de isótopos medidas, por lo cual la anomalía G se convertiría en la de mayor interés.

Al sur de los volcanes TL-V001 Y TL-V002 y de los pozos Turbaco-1 y Turbaco-2 igualmente presenta una tendencia de origen termogénico profundo. Esta anomalía ubicada al sureste de la población de Turbaco presenta en su mayoría datos isotópicos termogénicos; sin embargo las muestras TL-327 y TL-352 son de origen biogénico, mientras que las muestras TL-326 y TL-352 son mezclas.

Las muestras TL-05, -044, -049 y -081 relacionadas con una anomalía del noroeste del área, son de carácter biogénico por lo cual se pueden interpretar como puntos erráticos. El suroeste de la población de Santa Rosa también es de origen biogénico.

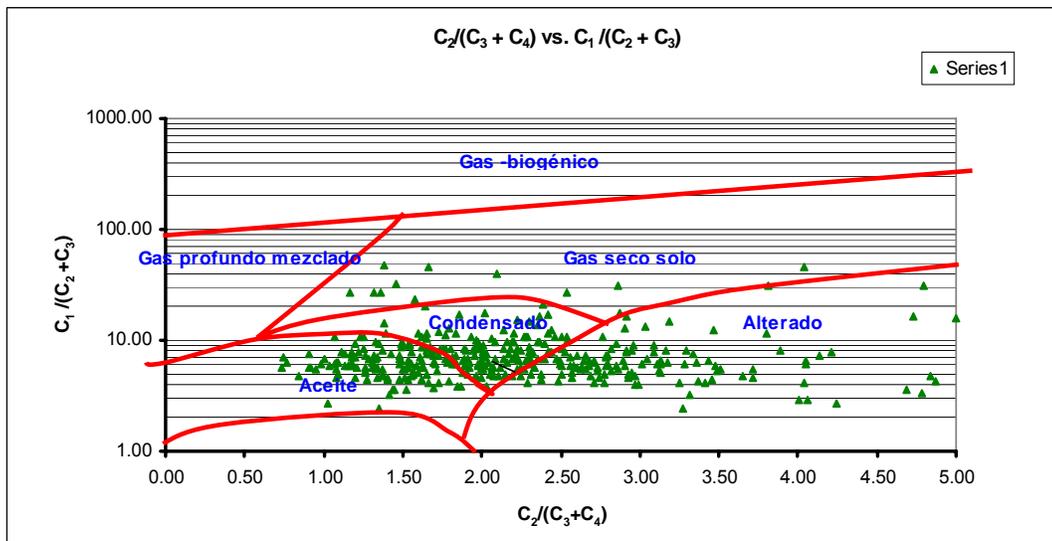


Figura 14. Posible tipo de fluido esperado a partir de las relaciones $C_2/(C_3+C_4)$ vs. $C_1/(C_2+C_3)$

(Fuente. Modificado de AAPG Memoria 60)



Conclusiones del Área Turbaco - Luruaco

En el área Turbaco – Luruaco, se pueden identificar 3 sectores de interés que se denominan E, F y G. La anomalía G, al sur del bloque (al oriente de la población de Turbaco) es la de mejor expresión. Las anomalías E y F son débiles.

Las anomalías se agrupan principalmente hacia el sur del área, en los alrededores de los volcanes de lodo, y al oriente de los pozos Turbaco perforados en el área.

Los resultados isotópicos de las muestras TL: 254, 259, 325, 331, 358 y 364, relacionadas con la anomalía G confirman el carácter termogénico de estos gases (Figura 13.), como se determinó inicialmente a partir del parámetro de humectabilidad de Bernard, constituyéndose en el área de mayor interés de esta zona.

En general las muestras de la zona norte, del área estudiada, son de origen biogénico, mientras que las ubicadas al sur son de origen termogénico.

Se estima, igualmente, que entre las 400 muestras analizadas no se tiene gas de origen microbiológico.

Se estima que el tipo de fluido a esperar sería, en su mayoría, hidrocarburo líquido y, en menor proporción, condensado.

RECOMENDACIONES

Explorar los flancos de los volcanes de lodo, ya que las anomalías tienden a localizarse hacia los flancos de los volcanes.

Integrar el Mapa de etano con las imágenes sísmicas del subsuelo para determinar si las anomalías de C₁ y C₂ están asociadas a acumulaciones de gas en el subsuelo.



Libertad y Orden



Estudio Geoquímico de Superficie, Áreas Perijá y Turbaco - Luruaco

BIBLIOGRAFÍA

Duchscherer, W., Jr., 1984, Geochemical hydrocarbon prospecting, with case histories: Tulsa, PennWell Publishing Co., 196 p.

Haworth, J. H., Sellens, M. and Whittaker, A., Interpretation of Hidrocarbons Shows Using Light (C1 – C5) Hidrocarbons from Mud – Log Data, AAPG Bulletin, V.69, No.8, 1985, p 1305 – 1310.

Krumbein W. C. and Graybill, F. A., An Introduction to Statistical Models in Geology, 1965

Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M., An Introduction to Applied Geostatistics, 1989.

Schumacher, D. and Abrams M. A., Hidrocarbons Migration and its Near-Surface Expression, AAPG Memoir 66, 1996.

Whiticar, M. J., Correlation of Natural Gases with their Sources, Chapter 16, en Magoon L. B. and Dow. G. W., The Petroleum System – From Source to Trap, The Petroleum System: Memoir 60, 1994.