

## **CAPÍTULO IV.**

### **INTERPRETACIÓN CONJUNTA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON MÉTODOS GEOELÉCTRICOS Y GASOMÉTRICOS.**

#### **IV.1. Introducción.**

Como se mencionó en el capítulo II, el estudio de una zona contaminada por hidrocarburos utilizando métodos geoelectricos permite determinar la presencia de anomalías de alta y baja resistividad; sin embargo, éstas últimas, se identifican con mayor facilidad y pueden ser asociadas a eventos de contaminación madura (a partir de aproximadamente 4 meses de haber ocurrido el derrame). Las anomalías de alta resistividad, las cuales son producidas por contaminación fresca, contrastan con el medio geológico por lo que su interpretación y delimitación es más complicada. A partir de lo anterior, fue necesario utilizar el método gasométrico como método indirecto alternativo para una localización precisa de anomalías relacionadas con eventos de contaminación fresca o reciente.

En el capítulo anterior se mostraron los resultados obtenidos para el sitio de estudio utilizando los métodos geoelectricos. En este capítulo se muestran los resultados obtenidos a través del análisis de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) en la zona; los cuales son indicio de presencia de hidrocarburos recientemente derramados (contaminación fresca). Una vez obtenidos los resultados por ambas metodologías, se realiza una correlación entre ellos para finalmente definir un parámetro integral con el cual se realizó una interpretación conjunta para el sitio de estudio. El proceso de creación de dicho parámetro así como la interpretación conjunta del sitio, se describen en este capítulo.

#### **IV.2. Resultados obtenidos por métodos gasométricos.**

Se realizaron 91 puntos de análisis gasométrico en el área de estudio con ayuda de un equipo marca HNU modelo DL-10, el cual cuenta con una lámpara de luz UV de 11.7 eV. Los resultados obtenidos se exponen en la Tabla IV.1, donde se observan mediciones anómalas de COV's (valores mayores a 20 ppm). A partir de los datos georeferenciados de la Tabla IV.1, se obtuvo el mapa de anomalía de COV's expuesto en la Figura IV.1

punto	X	Y	COV's		punto	X	Y	COV's
1	158	130	1		47	9.5	99	2.3
2	167	126	1		48	7	102	0.8
3	164	119	0.9		49	15.5	99.5	4.8
4	163	134	0.6		50	21.5	100	2.9
5	148	134	1		51	161	286	0.7
6	143	121	4		52	116	234	7.2
7	140	138	0.9		53	69	143	34
8	130	145	0.7		54	53	128	0.5
9	113	151	2.6		55	34	111	11
10	127	171	0.7		56	107.5	220	5
11	138	164	2.4		57	101	209	2.2
12	82.175	157.56	83.9		58	95	199	59.1
13	81	163	77.1		59	90	193	3.1
14	89	172	92		60	88	189	0.6
15	102	193	1.6		61	100	197	0.5
16	109	202	1.5		62	103	200	0.4
17	98.505	180.65	0.9		63	109	196	1.1
18	93.845	174.05	5.3		64	105	189	0.9
19	91.505	170.75	9.1		65	101	182	1.3
20	89.175	167.45	7.3		66	97	175	0.7
21	77.515	150.96	5		67	92	168.5	6.3
22	75	154	108		68	94	163	4
23	152	214	14.7		69	91	159.5	1.9
24	156	223	2.4		70	83.5	155	1.1
25	73	156	179		71	81.5	151.5	9.5
26	69.5	158.5	2.2		72	76	150	67
27	66	150.5	5.3		73	111.5	199.5	1
28	63	148	4.6		74	115	197	1
29	60	145	2.7		75	118	195	1.2
30	57	142	17.9		76	122	193	11.2
31	54	144.5	14.7		77	120	190	0.9
32	56.5	136.5	96.5		78	125	191	0.7
33	59	134	1.7		79	117.5	209.5	0.7
34	50	131	89.5		80	126	223	2
35	44	125	21.5		81	130	229	17.4
36	40.5	117.5	67.2		82	132	233.5	4.6
37	43	120	0.7		83	125	233	2.3
38	37.5	119.5	58		84	122	225.5	3.2
39	34.5	116.5	3.8		85	128	227	7.6
40	31	114	85.4		86	108.5	237	2.1
41	28	111	79.1		87	101	240	0.5
42	25	108	1.1		88	94	243.5	37.9
43	22	105	0.8		89	86	247	5.3
44	19	108	68.1		90	78.5	250	2.3
45	16	105	73		91	84	241.5	10.5
46	12.5	102	0.8					

Tabla IV.1: Valores de COV's medidos en campo.

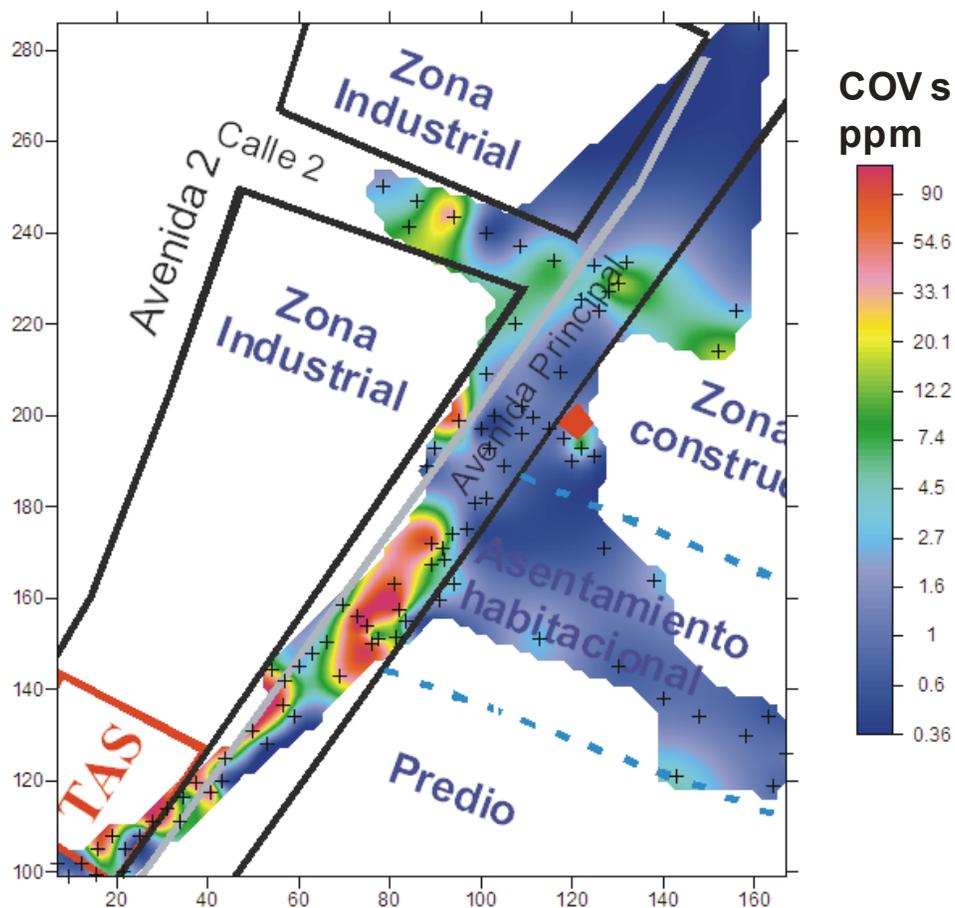


Figura IV.1: Mapa de anomalía de COV's.

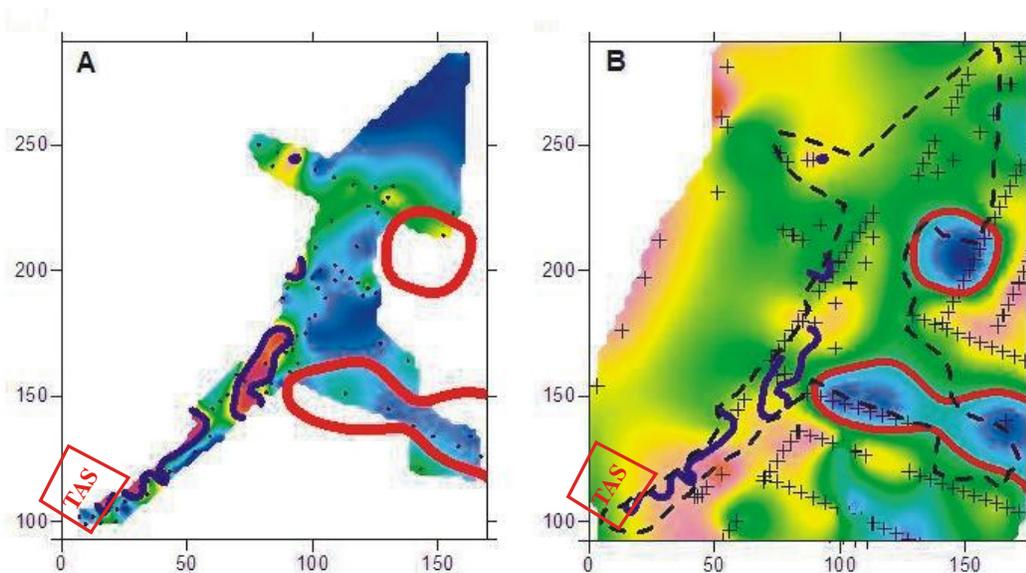


Figura IV.2: Comparación entre las anomalías mostradas por COV's (A) y las anomalías de PEM (B).

Como se puede observar, las anomalías más fuertes de COV's se encuentran en la proximidad del TAS (Fig. IV.2A), es decir, el hidrocarburo tiene menos tiempo de haber entrado al medio geológico y por lo tanto es más fresco, lo que indica la alta probabilidad de existencia de una fuente activa de contaminación, siendo esta fuente el TAS. En esta zona cercana al TAS los métodos geoeléctricos (PEM y SEV -TRE) no había tenido una buena resolución para poder delimitar la pluma de contaminación fresca.

Por el contrario, en las zonas donde la contaminación es madura, los métodos geoeléctricos, por ejemplo PEM (Fig. IV.2B), delimitan bien éstas zonas mediante anomalías de baja resistividad, mientras que el método gasométrico no refleja anomalías fuertes en estas zonas debido a que los Compuestos Orgánicos Volátiles ya han escapado en su mayor parte a la atmósfera.

En la Figura IV.2 se puede ver como las anomalías que son visibles con COV's (marcadas con línea continua azul) no pueden ser observadas con los mapas de anomalía de PEM, mientras que las anomalías de baja resistividad visibles con PEM, marcadas con línea continua roja, no pueden ser apreciadas en el mapa de COV's.

### **IV.3. Interpretación conjunta.**

Con el objetivo de hacer una mejor caracterización de la pluma contaminante y determinar las zonas adecuadas para la perforación y toma de muestras requeridas por el método geoquímico, se diseñó una técnica basada en una distribución estadística normalizada que permite construir un mapa integral que toma en cuenta la información obtenida por todos los métodos indirectos: SEV, PEM y COV's. Esto se logra asignando a cada punto un peso dependiendo de la correspondencia que exista entre los valores de campo encontrados por los tres métodos.

Para obtener el peso que se le dará a cada valor anómalo, se seleccionan los rangos de valores en los que cada método indica la presencia de contaminantes; por ejemplo, supongamos que para el caso de SEV, las zonas que caen en el intervalo  $7.5 \text{ Ohm} \cdot \text{m} <$

$14 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$  reciben un peso de cero ya que no indican la presencia de anomalías ni de baja ni de alta resistividad. Similar a SEV, el rango de valores para PEM es de  $7.5 \text{ Ohm} \cdot \text{m} <$   $9.5 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$ . A los valores anómalos del método COV's se le asigna mayor peso. Posteriormente se calcula el peso de cada uno de los métodos, los cuales se

suman para obtener así un peso total en cada punto. Los rangos utilizados y los pesos asignados a cada método se observan en la Tabla IV.2.

Estos pesos son normalizados respecto al número de métodos aplicados en el punto para evitar sobrevaluar alguna anomalía en la que se conjuntaron datos de SEV, PEM y COV's. En este caso el peso total fue dividido entre 1 si solo se aplicó un método, entre 1.5 si se aplicaron dos métodos y 2 si se conjuntaban lecturas de los 3 métodos en el mismo punto. En la Tabla IV.3 se muestra como ejemplo el proceso de cálculo del parámetro integral para algunos puntos del área de estudio.

Para este fin, se diseña una malla de puntos equiespaciados en el área de estudio, y posteriormente los valores de resistividad (dados por SEV y PEM) y el valor de COV's de cada punto de ésta son interpolados con el programa Surfer 8 (Golden Software, 2002). Cabe mencionar que para lograr un mejor resultado se debe de evitar la extrapolación de datos de cada método fuera de los límites del área de estudio.

Por último, los pesos normalizados se graficaron en planta con el programa Surfer 8 (Golden Software, 2002), obteniéndose un mapa de anomalía, la cual se muestra en la Figura IV.3.

COV's			SEV			PEM		
Peso total:		5	Peso total:		4.5	Peso total:		4
Lim inf	Lim sup	Peso	Lim inf	Lim sup	Peso	Lim inf	Lim sup	Peso
0	1	0	0	5	2	0	5	2
1	2	1	5	8	1	5	8	1
2	5	2	8	40	0	8	11	0
5	20	3	40	120	1	10	12.5	1
20	50	4	120	-	2	12.5	-	2
50	90	5						
90	170	6						
170	-	7						

**Tabla IV.2: Escala de pesos por anomalía de SEV, PEM y COVs.**

X	Y	Cov's	Rho SEV	Rho PEM	Índice COV	Índice SEV	Índice PEM	Peso COV	Peso SEV	Peso PEM	Peso total	divisor	param integral
43	119	1.4	12.9	10.8	1	0	0	5	0	0	5	2	2.5
43	124	9.7	47.9	10.7	3	1	0	15	4.5	0	19.5	2	9.8
43	129		157.5	9.9	0	2	0	0	9	0	9	1.5	6
43	134		62.9	8.9	0	1	0	0	4.5	0	4.5	1.5	3
43	139			8.1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
43	144			7.7	0	0	1	0	0	4	4	1	4
43	149			7.5	0	0	1	0	0	4	4	1	4
43	154			7.4	0	0	1	0	0	4	4	1	4
43	159			7.4	0	0	1	0	0	4	4	1	4
43	164			7.4	0	0	1	0	0	4	4	1	4
43	169			7.5	0	0	1	0	0	4	4	1	4
43	174			7.7	0	0	1	0	0	4	4	1	4
48	104		10.3	9.8	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0
48	109		10.4	10.5	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0
48	114		10.7	11.2	0	0	1	0	0	4	4	1.5	2.7
48	119	0.3	14.0	12.0	0	0	1	0	0	4	4	2	2
48	124	1.1	29.3	11.4	1	0	1	5	0	4	9	2	4.5
48	129	41.2	43.7	10.1	4	1	0	20	4.5	0	24.5	2	12.3
48	134		29.9	8.7	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0
48	139		27.6	7.8	0	0	1	0	0	4	4	1.5	2.7
48	144			7.5	0	0	1	0	0	4	4	1	4

Tabla IV.3: Determinación del parámetro integral (Tabla completa se encuentra en el anexo de este capítulo).

En este mapa es posible observar las zonas contaminadas, tanto por la presencia de hidrocarburos ya biodegradados como frescos. Se aprecian dos zonas contaminadas, una próxima al TAS y la otra, debida a contaminación madura, próxima a un punto de fuga mucho más antiguo.

Como se puede apreciar el mapa de parámetro integral es una herramienta muy eficaz y útil en la caracterización de zonas contaminadas por hidrocarburos.

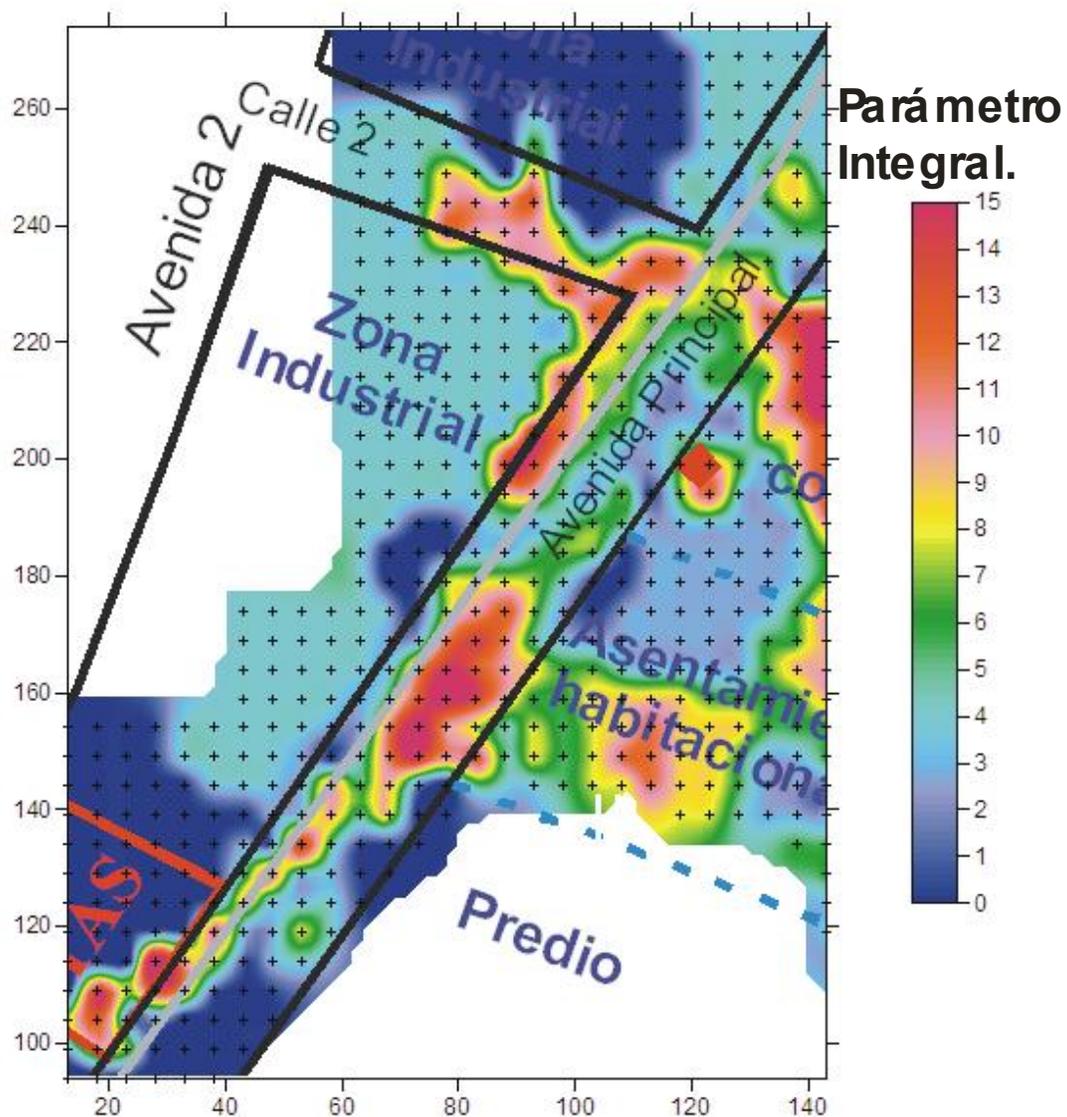


Figura IV.3: Mapa de parámetro integral.