

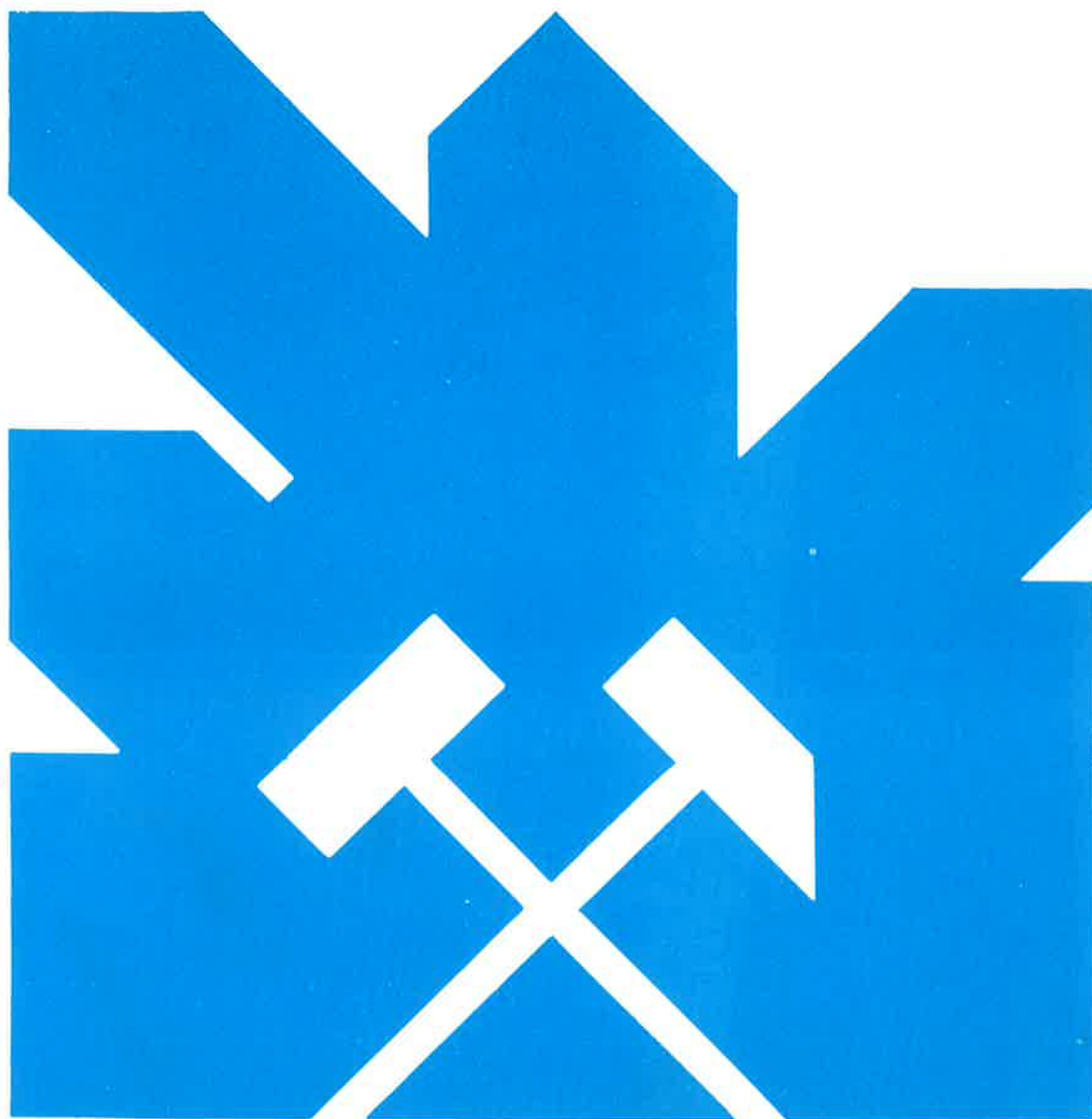
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA  
SECRETARIA DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

CONVENIO CON LA EMPRESA NACIONAL ADARO DE  
INVESTIGACIONES MINERAS, S.A. PARA LA IN-  
VESTIGACION GEOTERMICA DE DIVERSAS AREAS  
DE INTERES GEOTERMICO.

- AÑO 1985 -

ESTUDIO GEOQUIMICO DE SUELOS EN DOS ZONAS  
DE LA CALDERA DE LAS CAÑADAS DEL TEIDE  
(TENERIFE).

- INFORME FINAL -



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

70422

## I N D I C E

	<u>Págs.</u>
1.- INTRODUCCION .....	1
2.- ELEMENTOS UTILIZADOS EN LA PROSPECCION .....	2
3.- CAMPAÑA DE DESMUESTRE .....	4
4.- TRABAJOS DE LABORATORIO (PREPARACION, ANALISIS Y CONTROL ANALITICO) .....	10
5.- TRATAMIENTO DE DATOS .....	17
5.1.- ANALISIS UNIVARIANTE .....	17
5.2.- ANALISIS BIVARIANTE .....	19
5.2.1.- Llanos de Uanca .....	19
5.2.2.- La Degollada-Montaña Colorada .....	26
5.3.- ANALISIS MULTIVARIANTE .....	27
5.3.1.- Análisis factorial .....	28
5.3.2.- Análisis de regresión .....	36
6.- RESULTADOS OBTENIDOS .....	40
6.1.- LLANOS DE UCANCA .....	42
6.2.- LA DEGOLLADA-MONTAÑA COLORADA .....	46
7.- CONCLUSIONES .....	49

## 1.- INTRODUCCION

Dentro de los trabajos de exploracion de energía geotérmica que el IGME está llevando a cabo en Tenerife, se ha considerado de interés la realización de una campaña geoquímica de análisis de volátiles en suelos, en dos zonas en las que los resultados obtenidos por otras técnicas de exploración (vuelo infrarrojo y geofísica) señalan la existencia de áreas con anomalías asociadas a fenómenos de posible interés geotérmico.

El presente estudio tiene por objeto poner a punto un nuevo método que pueda ser contrastado con las técnicas anteriores, y que permita una mejor definición de áreas anómalas. En función de la bondad del método, sería utilizado en trabajos posteriores.

Las zonas donde se ha llevado a cabo el presente estudio se localizan en los "Llanos de Ucanca" y "La Degollada-Montaña Colorada", ambas dentro del límite del Parque Nacional de las Cañadas del Teide".

## 2.- ELEMENTOS UTILIZADOS EN LA PROSPECCION

Como elementos potencialmente indicadores de gradientes geotérminos anómalos que pudieran existir en la zona, se han seleccionado para su análisis: mercurio, arsénico, antimonio, - azufre, flúor, litio, cesio y cloro. Se ha llevado a cabo, además, el control de contenidos de hierro y manganeso, con vistas a establecer su posible influencia como factores de concentración de los anteriores elementos.

La selección de estos elementos ha venido determinada en estudios, que con el mismo objetivo, han sido realizados con anterioridad en diversos países. A este respecto cabe señalar que el elemento que con mayor frecuencia y mejores resultados se viene utilizando en la prospección de áreas geotérmicas es el mercurio, fundamentalmente debido a su elevada tensión de vapor, ya que un incremento de temperatura provoca un aumento importante de su movilidad en forma de vapor. El resto, As, Sb, Li, Cs, F, S, presentan aspectos de comportamiento geoquímico que guardan cierta similitud con el del mercurio; susceptibilidad de ser movilizados en forma de vapor en algún momento de su ciclo geoquímico; acumulación en las últimas etapas de procesos ígneos y mayor concentración en aguas termales con respecto a las naturales.

Por otra parte, se ha detectado enriquecimiento de As en sulfuros y de Li en minerales de alteración de silicatos que se encuentran en las zonas más próximas a fracturas que controlan el flujo de fluidos de alta temperatura (Christensen et al., 1982). En este mismo estudio se hace referencia al hecho de que en la localización de concentraciones altas de Fe y Mn ha existido una redistribución causada por fluidos hidrotermales.

La hipótesis de partida en el presente trabajo reside en la existencia de una asociación entre anomalías geoquímicas y la posible presencia de focos calientes en profundidad, responsables de gradientes térmicos anómalos.

La existencia de una asociación de elementos anómalos reforzaría la hipótesis de partida, porque de hecho, la existencia de anomalías monoelementales puede tener su origen en procesos geoquímicos muy diversos, no necesariamente ligados a fenómenos geotérmicos.

### 3.- CAMPAÑA DE DESMUESTRE

La campaña de desmuestre fue realizada en el mes de Marzo de 1985.

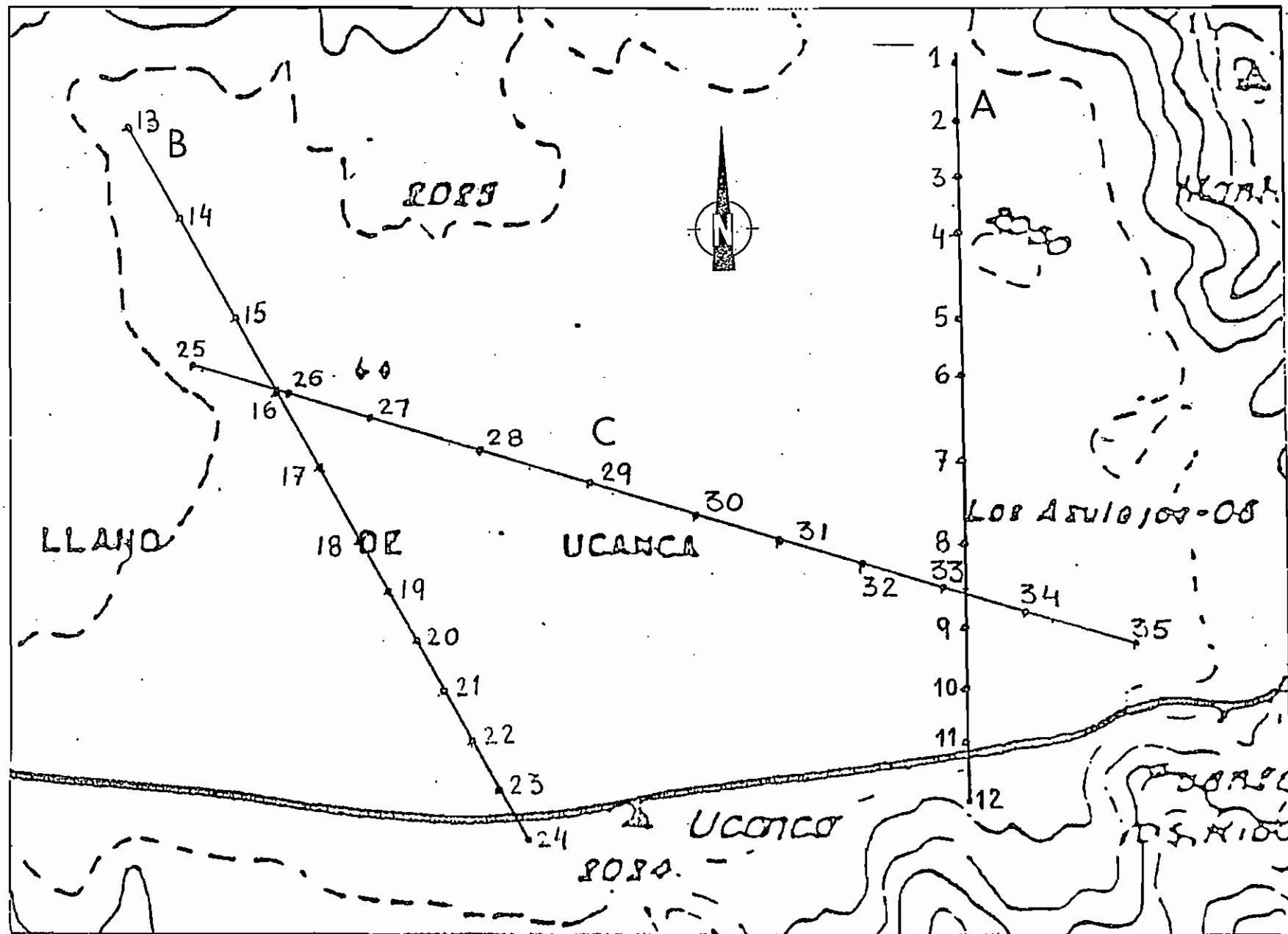
El medio de desmuestre lo constituyen suelos muy poco evolucionados en los que no es evidente, o muy poco, el desarrollo de horizontes de diagnóstico. La vegetación es nula o de arbustos muy diseminados.

Se recogieron un total de 60 muestras; 35 en los "Llanos de Uanca" y 25 en "La Degollada".

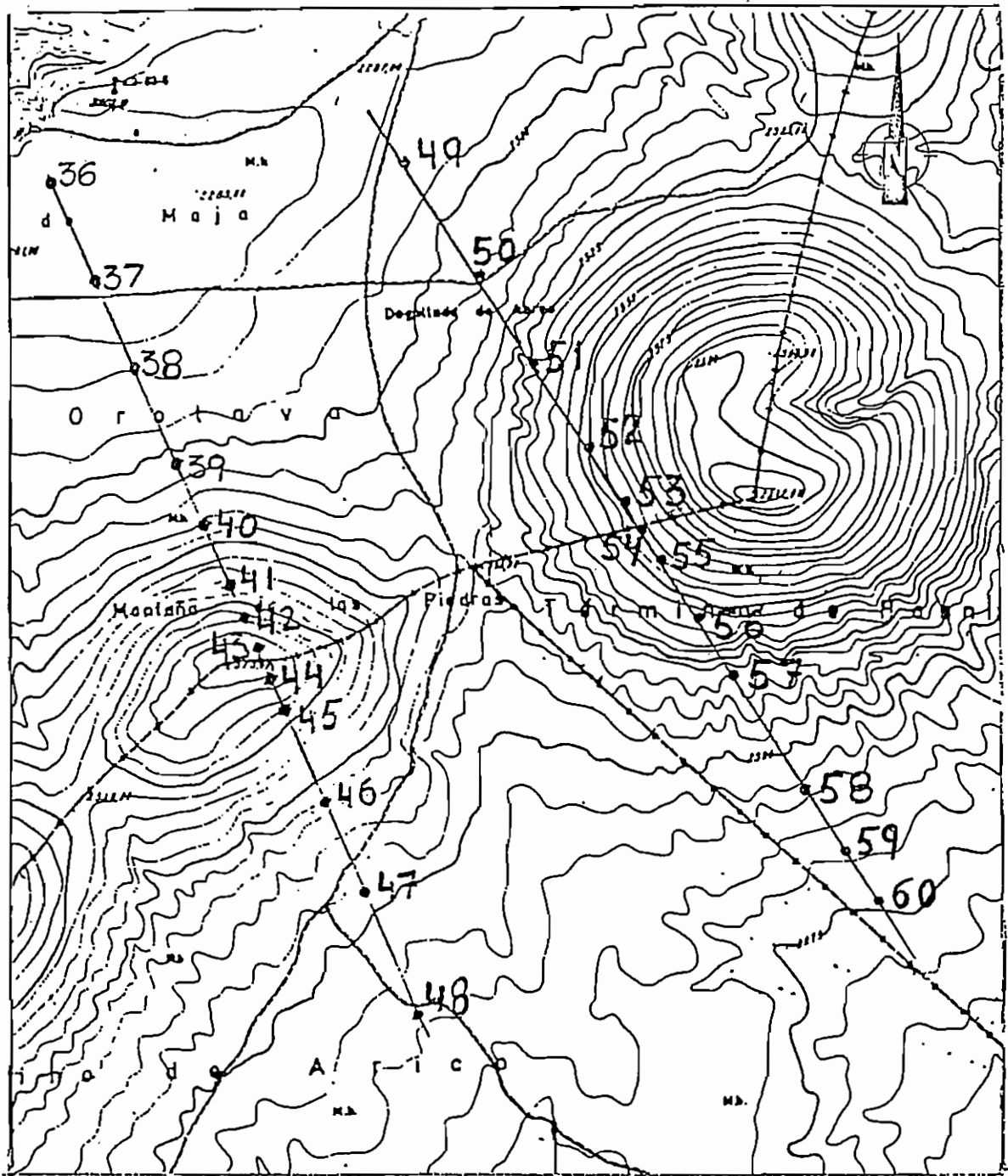
La recogida se realizó según perfiles situados de forma que intersectasen las zonas delimitadas como anómalas por trabajos anteriores (plano nº 1 , escala 1:10.000).

Por comodidad en la presentación de los datos, se ha optado por reducir el plano de situación a un esquema de escala aproximada 1:30.000.

La distancia entre muestras en los perfiles de Uanca fue de 100 m para los perfiles A y B, y de 150 en el perfil C. En algún caso esta distancia hubo de ser ampliada, como en el extremo norte del perfil B, donde la existencia de una zona de lavas no permitía mantener la regularidad del desmuestre.



Plano nº 1.- Puntos de muestreo en la zona de UCANCA  
Escala - 1/10.000



Plano nº 2.- Puntos de muestreo en la zona de la Degollada de Abreu

Escala - 1/10.000



En la zona de La Degollada el intervalo de desmuestra fue en el perfil I de 150 m en los extremos del perfil, reduciéndose a 100 m en zonas próximas a la anomalía, siendo de 50 m en el tramo directamente situado sobre la misma. En el perfil II las distancias fueron asimismo reducidas desde 200 a 50 m en los tramos próximos a la zona anómala.

La profundidad media de recogida de muestras en ambas zonas fue de 10-15 cm. Cada muestra se obtuvo por integración de tres fragmentos; uno recogido en un punto central (coincidente con la situación de la muestra señalada en el perfil), y otros dos equidistantes  $\approx 10$  m del mismo, según la dirección del perfil.

Durante la recogida de muestras se anotaba en fichas diseñadas al efecto, diversos factores que pudieran resultar de interés a la hora de interpretar anomalías. Estos factores hacen referencia a los siguientes aspectos: aloctonía-autoctonía, vegetación, color, humedad, fisiografía y granulometría.

Las muestras fueron recogidas en recipientes de vidrio, limpios y de cierre hermético. Los envases de las dos últimas muestras resultaron dañadas en el transporte por lo que se desecharon.

Simultáneamente con la recogida de muestras se realizaron medidas de radón en el suelo, así como de temperatura ambiente y temperatura del suelo en el punto de desmuestra. Este último dato se considera únicamente a nivel orientativo debido a que las medidas se han realizado durante el día; - estando previsto la realización en ambas zonas de una campaña específica de termometría, bajo las condiciones requeridas. La medida del radón contenido en los gases del suelo fue realizada con un emanómetro portátil, modelo RD-200, con sistema de desgasificación RDV-200.

La medida se realizó sobre el punto central de recogida de la muestra. El aire del suelo fue muestreado mediante aspiración de 1 minuto de duración, y se realizaron contajes para períodos de 2' y 5' en cada punto.

En la fig. 1 (A, B) viene indicado, para ambas zonas, lo siguiente:

- Identificación de los puntos desmuestrados
- Puntos donde la temperatura medida en el suelo resultó superior a la media de su zona; según intervalos definidos a partir de la media y desviación típica.
- Puntos con contajes de  $R_{n2'}$  y  $R_{n5'}$  superiores a la media de su zona. Los intervalos para la delimitación de anomalías se establecen a partir de los valores de  $\bar{x}$  y  $s$ .

TABLA 1.- MEDIDAS EN CAMPO. TENERIFE SUELOS, 1985

A) LLANOS DE UCANCA

Nº IDENTIF.	T SUELO ( $\Omega$ )	TAMB ( $\Omega$ )	Rn <sub>2</sub> , (c.p.m.)	Rn <sub>5</sub> , (c.p.m.)
1	16,5	22	3	4
2	21,2	17	5	5
3	24,6	17	8	3
4	17,4	20	2	7
5	16,4	17	4	7
6	16,0	17	7	8
7	16,6	18	7	3
8	16,0	18	9	8
9	14,2	17	26	23
10	15,7	15	21 17	12 13
11	17,4	17	45	25
12	14,8(14)	16	17	15
13	13,6	21	2	0
14	15	22	2	1
15	7,5	6,1	12	5
16	6,8	-	1	4
17	7,4	15	2	3
18	8,7	16	15	9
19	10,5	17	11	5
20	10,2	17	10	2
21	9,4	16	8	3
22	4,1	18	15	4
23	11,3	17	4 ?	0
24	10,9	22	1	4
25	11,8	17	2	1
26	12	16	0	0
27	14,7	20,4	0	2
28	14,1	21,1	0	0
29	13,3	21,5	0	0
30	15,2	19,5	0	1
31	14,5	19	1	-
32	15,2	15	1	2
33	14,8	20	-	-
34	16,6	28	15	11
35	14,3	27	7	7
$\bar{x}$	13,7	18,3	7,6	5,1
$\sigma$	4,1	3,8	9,2	6,1

\* 51 c.p.m. (1a vez)

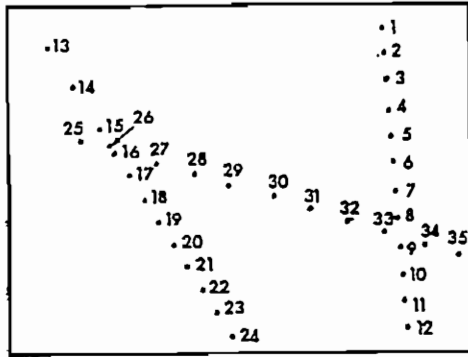
Nº IDENTIF.	T SUELO (g)	T AMB (g)	Rn2 (c.p.m.)	Rn5 (c.p.m.)
36	20,8	25	42	23
37	11,4	11 ?	10	19
38	10,5	10	35	20
39	10,5	11	26	14
40	11,0	8,5	18	23
41	6,2	14	9	4
42	11,6	19	15	5
43	12,6	20	14	3
44	13,2	22	18	3
45	22,3	23	40	14
46	15,5	24,5	10	-
47	21,4	25	6	4
48	16,2	25	4	-
49	17,7	19	9	5
50	10,3	15	9	5
51	11,8	18	15	4
52	10,4	20,5	17	7
53	7,4	20	-	-
54	8,6	20	* 14	3
55	13,5	20,5	-	-
56	12,8	25	5	10
57	17,6	25	3	2
58	17,7	25	20	5 (2)
X	13,5	19,4	16,1	9,1
0	4,4	5,4	11,2	7,3

TABLA 1 (Continuación)

B) LA DEGOLLADA - MONTAÑA COLORADA

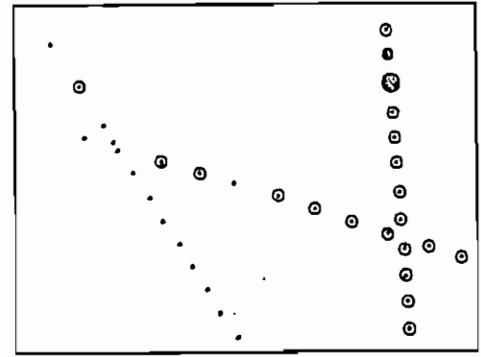
# IDENTIFICACION DE LOS PUNTOS DE DESMUESTRE. MEDIDAS DE CAMPO

A) LLANOS DE UCANCA



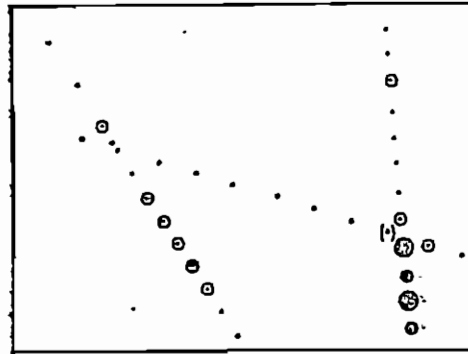
Número de identificación

Escala aprox.  
1: 33.000



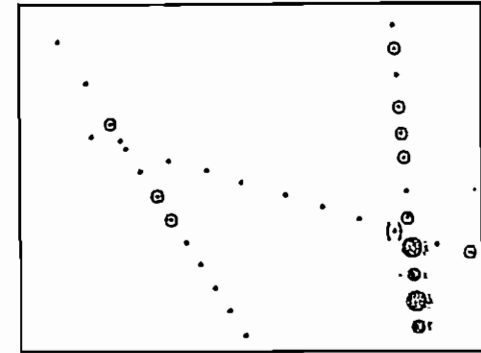
Temperatura (°)

13,7 — 17,8	○
17,9 — 21,8	●
> 21,8	◐



RADON (2')  
(c.p.m.)

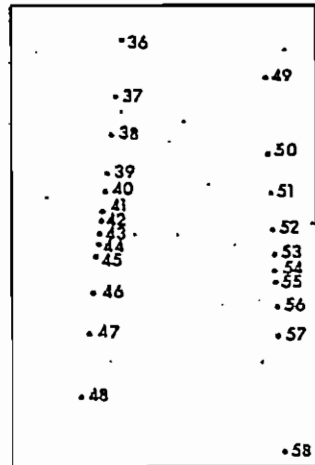
8-16	○
17-25	●
≥ 26	◐



RADON (5')  
(c.p.m.)

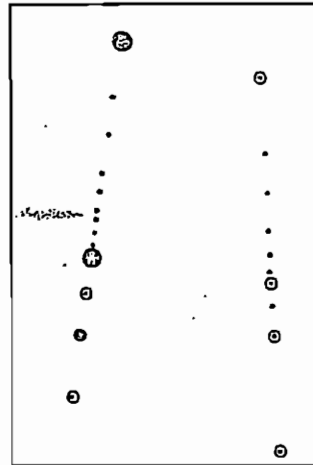
5-11	○
12-16	●
≥ 16	◐

B) LA DEGOLLADA MONTAÑA COLORADA



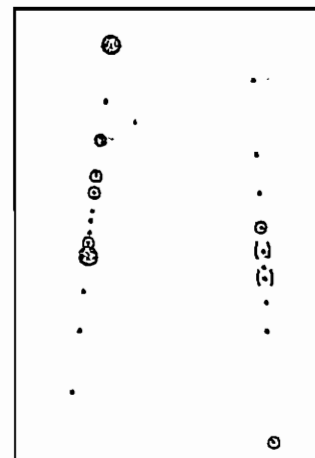
Nº de identificación

Escala aprox.  
1: 50.000



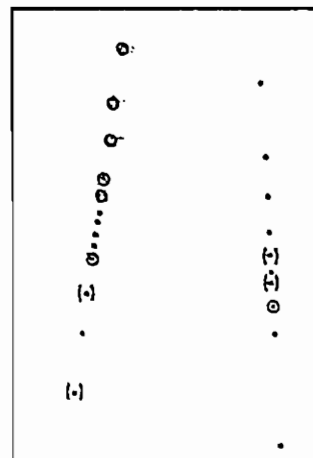
Temp (°C)

13,5-17,9	○
17,9-22,2	●
22,3	◐



RN (2')  
(c.p.m.)

16-27	○
28-39	●
≥ 40	◐



RN (5')  
(c.p.m.)

9-16	○
17-24	●
≥ 24	◐

( ) No medido

Fig. 1

#### 4.- TRABAJOS DE LABORATORIO (PREPARACION, ANALISIS Y CONTROL ANALITICO).

Las muestras previamente a su análisis fueron secadas a temperatura ambiente y tamizadas a menos de 80 mallas.

Se realizó el análisis en una primera etapa de Hg, As, Sb, Li, Cs, S, F, Cl, Fe y Mn sobre 11 muestras, con el fin de eliminar en las restantes muestras el análisis de algún elemento cuyo empleo no resultase aconsejable en base a los resultados obtenidos en este primer grupo. De este modo se prescindió del análisis de Cs y Cl en las restantes muestras. Los contenidos en Cs resultaron inferiores al límite de detección situado en 5 ppm en absorción atómica con llama en las 11 muestras. En el caso de cloro el contenido resultó inferior al límite de detección (50 ppm en fluorescencia de rayos x) en 7 de las 11 muestras analizadas, presentando el resto muy poco contraste.

La determinación de Hg, As, Sb, Li, Cs, Fe, Mn, se ha llevado a cabo por el método de absorción atómica, utilizando para los tres primeros el generador de hidruros como fuente de atomización, y la llama para los restantes. El ataque ácido de las muestras fue específico e individual para Hg, As y Sb, y conjunto para las determinaciones de Fe, Mn, Li y Cs.

Estas condiciones se resumen a continuación:

Mercurio	Clorhídrico, nítrico, baños de vapor
Arsénico	Perclórico, nítrico a humos blancos de perclórico
Antimonio	Clorhídrico en baño de vapor
Hierro Manganeso Litio Cesio	Fluorhídrico, nítrico, perclórico, evaporación a sequedad.

Para el análisis de Li y Cs, se añade una pequeña cantidad de óxido de lantano, con vistas a eliminar posibles interferencias por ionización en la llama.

El ataque de fluor, para su posterior determinación colorimétrica, se realiza en un horno especial, utilizando óxido de wolframio como fundente.

El S y el Cl, se analizaron mediante fluorescencia de rayos x.

El listado de contenidos de F, S, Hg, As, Sb, Li, Fe, Mn, se recoge en la tabla nº 3.

Los contenidos correspondientes a las 6 muestras que han sido analizadas por duplicado, aparece en la tabla 3 como la media de los dos valores obtenidos. Estos contenidos, así como los resultados del cálculo de la precisión para cada elemento se reflejan en la tabla nº 2.

La precisión se encuentra dentro de los límites de aceptabilidad para los elementos F, As, Hg, Sb y Mn y no así para el Li, F y S, particularmente para este último. Cabe sin embargo señalar que para el S la mala precisión quedaría en parte contrarrestada por el alto rango de concentración que presentan las muestras analizadas.

TABLA Nº 2

DUPLICADOS EN MUESTRAS DE SUELOS. TENERIFE 1985

(Concentraciones en p.p.m., excepto Fe, Mn %)

IDENT	F(1)	F(2)	S(1)	S(2)	HG(1)	HG(2)	AS(1)	AS(2)
TRF 3	1000	1000	2400	2400	.19	.18	.95	.98
TRF 9	600	600	275	107	.12	.10	1.28	1.20
TRF 16	800	600	55	48	.25	.22	.49	.53
TRF 34	600	800	305	27	.16	.16	2.01	1.98
TRF 45	800	600	530	552	.19	.16	1.28	1.38
TRF 50	600	400	410	365	.14	.12	.56	.52

IDENT	SB(1)	SB(2)	LI(1)	LI(2)	FE(1)	FE(2)	MN(1)	MN(2)
TRF 3	.25	.25	19	17	4.90	5.30	.13	.14
TRF 9	.25	.25	11	14	4.90	4.90	.30	.30
TRF 16	.19	.13	10	13	2.70	2.80	.16	.17
TRF 34	.31	.31	10	12	5.40	5.10	.34	.30
TRF 45	.37	.44	18	19	7.70	6.60	.19	.15
TRF 50	.37	.44	13	11	10.00	9.40	.18	.15

ELEMENTO                      PRECISION %

FLUOR	18.1
AZUFRE	30.0
MERCURIO	10.7
ARSENICO	5.5
ANTIMONIO	10.6
LITIO	15.4
HIERRO	6.2
MANGANESO	10.4



TABLA Nº 3. LISTADO CONTENIDOS F, S, Hg, As, Sb, Li, Fe, Mn

(Concentraciones en p.p.m., salvo Fe, Mn en %)

A) LLANOS DE UCANCA

TENERIFE SUELOS 1.985

	<u>Flúor</u>	<u>Azufre</u>	<u>Mercurio</u>	<u>Arsénico</u>
0828				
1	1020.00000	1200.00000	.15000	1.07000
2	1200.00000	2000.00000	.17000	.99000
3	1000.00000	2400.00000	.12000	.95000
4	1200.00000	1900.00000	.13000	.99000
5	1200.00000	1600.00000	.08000	.84000
6	1600.00000	422.00000	.23000	1.60000
7	1600.00000	380.00000	.11000	1.47000
8	1800.00000	264.00000	.21000	1.32000
9	600.00000	191.00000	.11000	1.24000
10	1400.00000	140.00000	.14000	.81000
11	1200.00000	55.00000	.23000	.59000
12	600.00000	264.00000	.21000	.79000
13	1600.00000	293.00000	.17000	.93000
14	800.00000	365.00000	.17000	.81000
15	600.00000	10.00000	.12000	.73000
16	700.00000	51.00000	.23000	.51000
17	1200.00000	480.00000	.13000	.98000
18	1200.00000	480.00000	.12000	1.37000
19	1600.00000	455.00000	.10000	1.34000
20	1000.00000	200.00000	.21000	.67000
21	1000.00000	495.00000	.19000	.80000
22	600.00000	344.00000	.19000	.74000
23	1200.00000	372.00000	.21000	.74000
24	1000.00000	205.00000	.30000	.51000
25	1600.00000	10.00000	.21000	.48000
26	800.00000	70.00000	.13000	.64000
27	1600.00000	668.00000	.11000	1.29000
28	1400.00000	848.00000	.11000	1.25000
29	1600.00000	898.00000	.19000	1.02000
30	1200.00000	1700.00000	.11000	1.14000
31	1800.00000	560.00000	.19000	.91000
32	1200.00000	350.00000	.13000	1.09000
33	1400.00000	285.00000	.13000	1.05000
34	700.00000	165.00000	.15000	1.99000
35	1000.00000	10.00000	.15000	1.20000

TABLA 3A (Continuación)

TENERIFE SUELOS 1.985

	<u>Antimonio</u>	<u>Litio</u>	<u>Hierro</u>	<u>Manganeso</u>
OBS#				
1	1.07000	15.00000	4.70000	.14000
2	.25000	20.00000	4.90000	.14000
3	.25000	17.00000	5.10000	.13000
4	.37000	14.00000	6.90000	.17000
5	.25000	15.00000	5.40000	.16000
6	.33000	12.00000	4.90000	.21000
7	.33000	12.00000	4.80000	.21000
8	.31000	9.00000	4.70000	.25000
9	.25000	12.00000	4.90000	.30000
10	.50000	16.00000	4.20000	.31000
11	.25000	17.00000	3.40000	.24000
12	.81000	19.00000	4.20000	.22000
13	.19000	16.00000	3.20000	.13000
14	.25000	17.00000	3.10000	.15000
15	.25000	2.00000	2.60000	.16000
16	.16000	11.00000	2.70000	.16000
17	.13000	16.00000	3.10000	.16000
18	.19000	6.00000	3.50000	.21000
19	.31000	18.00000	3.50000	.18000
20	.36000	20.00000	3.80000	.22000
21	.19000	16.00000	3.50000	.20000
22	.25000	13.00000	3.20000	.22000
23	.13000	10.00000	4.00000	.25000
24	.31000	15.00000	3.50000	.21000
25	.56000	11.00000	2.90000	.19000
26	.19000	14.00000	2.90000	.17000
27	1.19000	16.00000	3.30000	.17000
28	.19000	15.00000	3.90000	.15000
29	.31000	17.00000	3.90000	.17000
30	.31000	16.00000	4.40000	.16000
31	.44000	13.00000	5.00000	.23000
32	.44000	14.00000	4.50000	.26000
33	.25000	13.00000	4.90000	.27000
34	.31000	11.00000	5.20000	.32000
35	.37000	11.00000	3.70000	.34000

TABLA 3 (Continuación)

B) DEGOLLADA - MONTAÑA COLORADA

TENERIFE SUELOS 1.985

	<u>Flúor</u>	<u>Azufre</u>	<u>Mercurio</u>	<u>Arsénico</u>
OPS#				
36	600.00000	444.00000	.22000	2.12000
37	800.00000	869.00000	.10000	1.32000
38	800.00000	754.00000	.12000	1.22000
39	800.00000	602.00000	.20000	1.32000
40	1200.00000	665.00000	.15000	1.41000
41	1000.00000	725.00000	.12000	1.60000
42	600.00000	826.00000	.13000	.73000
43	400.00000	560.00000	.10000	.69000
44	1400.00000	545.00000	.15000	.18000
45	700.00000	541.00000	.17000	1.33000
46	200.00000	257.00000	.14000	.66000
47	600.00000	272.00000	.28000	.62000
48	200.00000	574.00000	.20000	1.77000
49	400.00000	242.00000	.20000	.85000
50	500.00000	387.00000	.13000	.54000
51	800.00000	257.00000	.16000	.56000
52	400.00000	329.00000	.18000	.42000
53	1000.00000	250.00000	.16000	.72000
54	300.00000	955.00000	.15000	1.41000
55	600.00000	95.00000	.12000	.64000
56	600.00000	113.00000	.25000	.48000
57	1000.00000	55.00000	.10000	.64000
58	400.00000	242.00000	.15000	.77000

TABLA 3B (Continuación)

TENERIFE SUELOS 1985

	<u>Antimonio</u>	<u>Litio</u>	<u>Hierro</u>	<u>Manganeso</u>
OBS#				
36	.31000	10.00000	11.00000	.19000
37	1.19000	15.00000	7.20000	.16000
38	.87000	17.00000	6.30000	.16000
39	.75000	18.00000	5.50000	.16000
40	.87000	20.00000	4.60000	.19000
41	.25000	17.00000	6.00000	.15000
42	.75000	18.00000	6.30000	.15000
43	.25000	15.00000	8.30000	.15000
44	.31000	10.00000	9.90000	.19000
45	.40000	18.00000	7.10000	.17000
46	.25000	13.00000	9.20000	.13000
47	.50000	12.00000	10.30000	.18000
48	1.31000	16.00000	8.10000	.16000
49	.31000	13.00000	12.50000	.19000
50	.40000	12.00000	9.70000	.16000
51	.50000	15.00000	8.40000	.16000
52	.33000	16.00000	9.20000	.13000
53	.44000	17.00000	6.90000	.13000
54	1.56000	17.00000	6.40000	.14000
55	.32000	15.00000	7.70000	.16000
56	.25000	13.00000	8.80000	.15000
57	.31000	15.00000	6.20000	.13000
58	4.50000	20.00000	6.20000	.15000

## 5.- TRATAMIENTO DE DATOS

En una primera fase se ha realizado el análisis estadístico univariante para los 8 elementos analizados, como base para establecer su distribución en las dos zonas objeto de estudio y elaborar los correspondientes planos de isocontenidos.

Se ha realizado asimismo un tratamiento estadístico bivariante para el establecimiento de correlaciones binarias y por último el tratamiento multivariante que incluye: análisis factorial para explicar la variabilidad química de las zonas prospectadas en términos de asociaciones de elementos, análisis de regresión lineal múltiple de las variables correlacionadas significativamente con Fe y Mn, para la elaboración de planos de residuos.

### 5.1.- ANALISIS UNIVARIANTE

Como primera etapa se ha obtenido para cada elemento los parámetros correspondientes a; rango de concentración; máximo, mínimo, media, desviación típica y media de Tukey's. Estos valores se reflejan en la tabla nº 4.

TABLA Nº 4.- PARAMETROS ESTADISTICOS DE LAS 8 VARIABLES ANALIZADAS

PARAMETRO ELEMENTO	A. LLANOS DE UCANCA					B. DEGOLLADA - MONTAÑA COLORADA				
	Min.	Max.	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$ Tukey's	Min.	Max.	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$ Tukey's
Flúor (p.p.m.)	600	1800	1183	353	1200	200	1400	687	302	600
Azufre (p.p.m.)	10	2400	592	648	365	55	955	459	261	444
Mercurio (p.p.m.)	0,08	0,30	0,16	0,05	0,16	0,10	0,28	0,17	0,05	0,16
Arsénico (p.p.m.)	0,48	1,99	1,00	0,32	0,98	0,18	2,18	0,96	0,50	0,73
Antimonio (p.p.m.)	0,13	1,19	0,35	0,23	0,31	0,25	4,50	0,74	0,90	0,40
Litio (p.p.m.)	2	20	13,97	3,75	15	10	20	15	3	15
Hierro (%)	2,6	6,9	4,06	0,95	3,9	4,6	12	7,90	1,95	7,7
Manganeso (%)	0,13	0,34	0,20	0,06	0,20	0,13	0,19	0,16	0,02	0,16

Los histogramas de frecuencia contruidos a partir de los valores naturales de contenidos para cada elemento, indican que su distribución en los suelos tiende a ajustarse a la lognormalidad. En base a ello se han construido sus correspondientes rectas de Henry, sobre las que se define el valor medio de fondo (G) y los correspondientes umbrales de anomalía. Estos umbrales se han establecido en  $G + S_{\log}$  y  $G + 2S_{\log}$  para los elementos cuyos contenidos varían en un rango de concentración lo suficientemente amplio; y  $G + 0,5S_{\log}$  y  $G + 1S_{\log}$ , cuando los rangos de variación son menores.

De esta forma se han separado para las dos zonas objeto de estudio, y para cada elemento, tres intervalos que integran

en orden creciente: contenidos de fondo superiores al valor medio establecido y valores anómalos de 1<sup>er</sup> y 2º orden.

Los planos de isocontenidos para los 8 elementos analizados, en las dos zonas, se reflejan en las figuras 2 y 3.

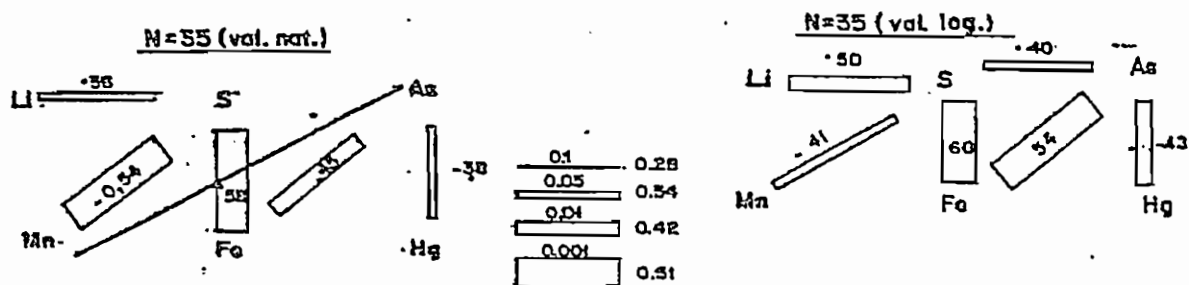
## 5.2.- ANALISIS BIVARIANTE

El estudio de correlaciones se realiza utilizando tanto valores naturales como sus transformados logarítmicos, para comparar ambos resultados, y teniendo en cuenta que el cálculo sobre valores logarítmicos suaviza la influencia de los contenidos excesivamente alejados del valor medio.

Se resumen en forma de diagramas, las correlaciones significativas obtenidas. Se indica asimismo los límites teóricos establecidos para distintos niveles de significación, según el número de muestras sobre las que se ha realizado el cálculo de  $r$ .

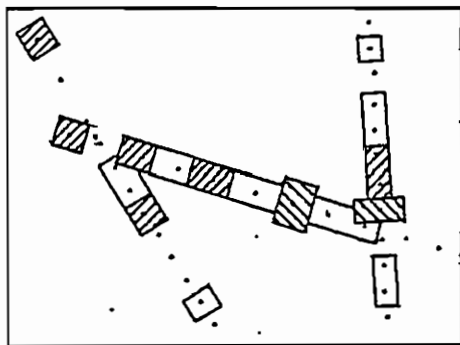
### 5.2.1.- Llanos de Ucanca

Los resultados obtenidos sobre la totalidad de muestras recogidas en esta zona (N = 35) se recogen en la tabla 5A, quedando resumidos en el siguiente diagrama:



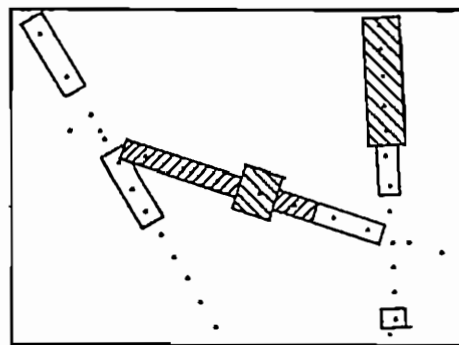
PLANOS DE ISOCONTENIDOS (F, S, Hg, As, Sb, Li, Fe, Mn)

LLANOS DE UCANCA



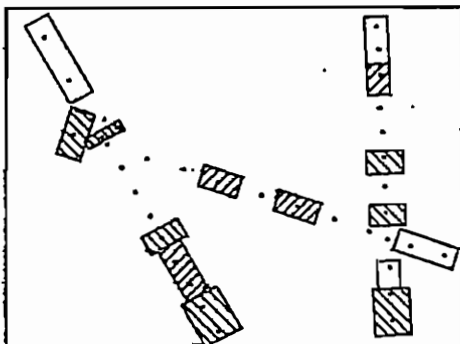
FLUOR  
(p.p.m.)

1.200-1.400	
1.500-1.700	
≥ 1.800	



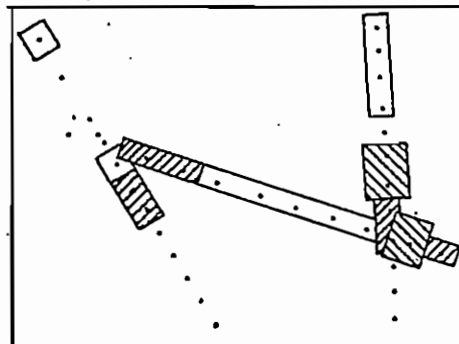
AZUFRE  
(p.p.m.)

270-559	
560-1099	
≥ 1.100	



MERCURIO  
(p.p.m.)

14-17	
18-19	
≥ 20	



ARSENICO  
(p.p.m.)

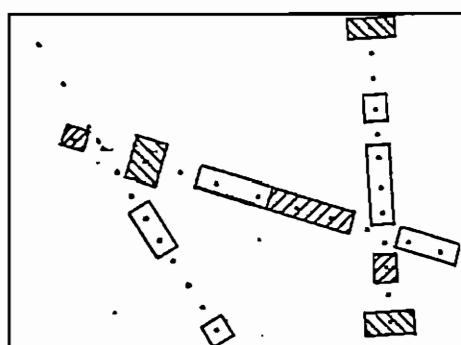
0,90-1,19	
1,20-1,39	
≥ 1,40	

Escala aprox, 1:33.000

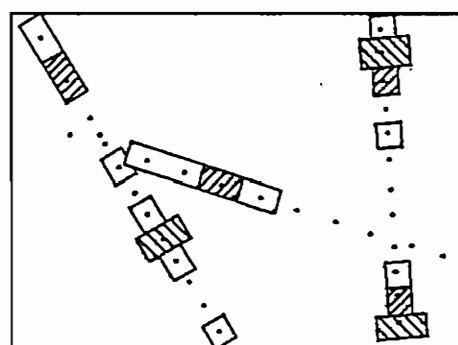
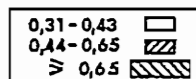


PLANOS DE ISOCONTENIDOS (F, S, Hg, As, Sb, Li, Fe, Mn)

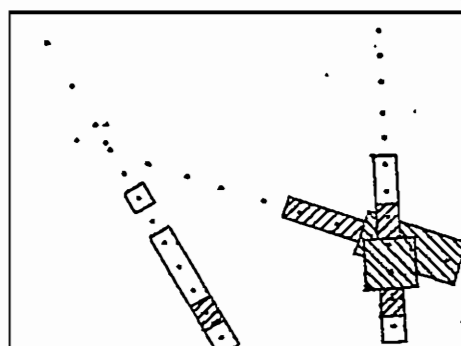
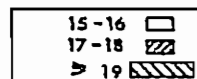
LLANOS DE UCANCA



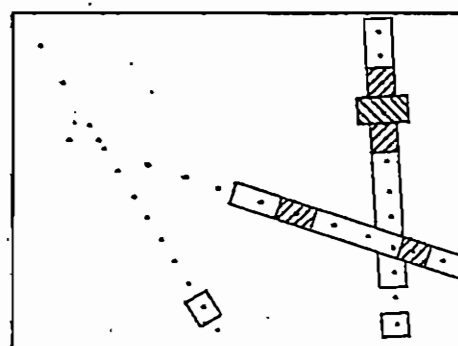
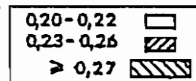
ANTIMONIO  
(p.p.m.)



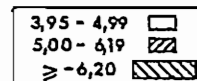
LITIO  
(p.p.m.)



MANGANESO  
%



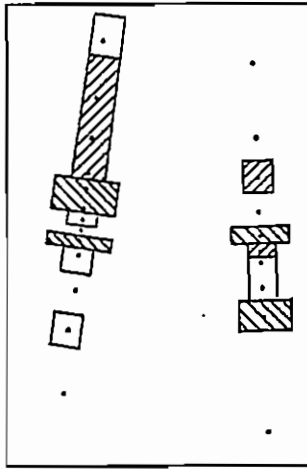
HIERRO  
%



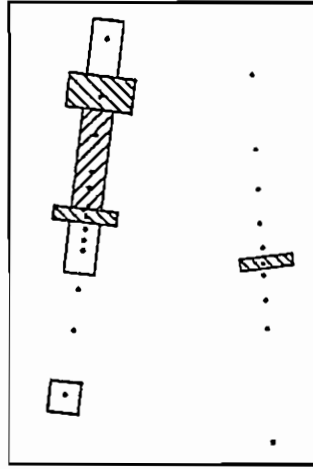
Escala aprox. 1:33.000

continuacion fig. 2

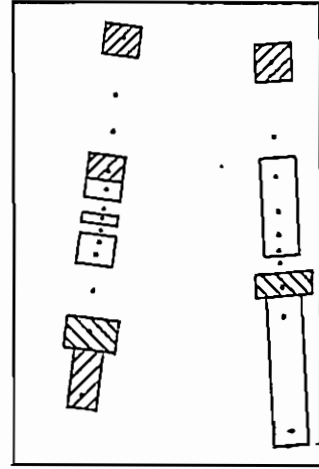
PLANOS DE ISOCONTENIDOS (F, S, Hg, As, Sb, Li, Fe, Mn)  
DEGOLLADA-MONTAÑA COLORADA



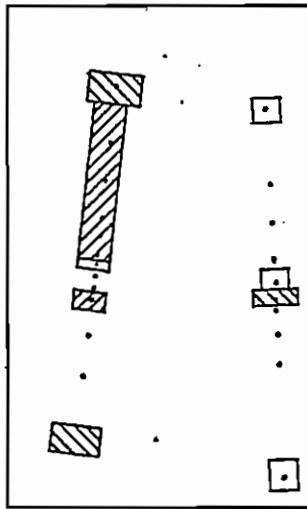
FLUOR (p.p.m.)	600-700	
	800-900	
	≥ 1000	



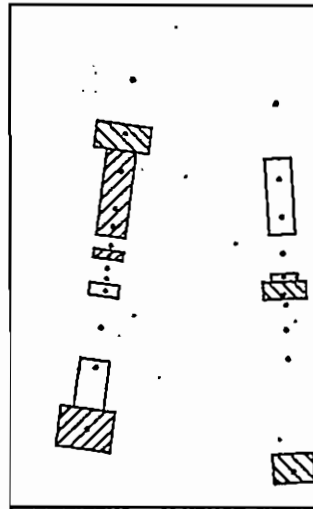
AZUFRE (p.p.m.)	440-579	
	580-799	
	≥ 800	



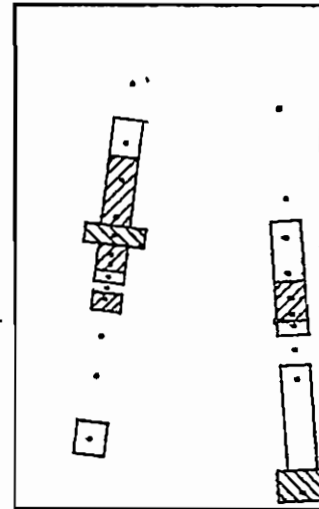
MERCURIO (p.p.m.)	15-18	
	19-23	
	≥ 24	



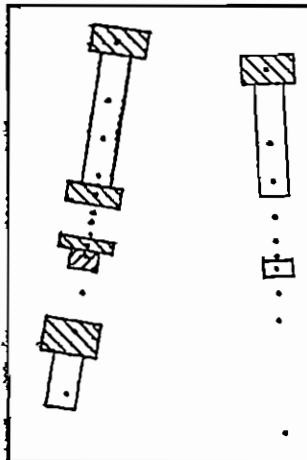
ARSENICO (p.p.m.)	0,72-1,19	
	1,20-1,89	
	≥ 1,90	



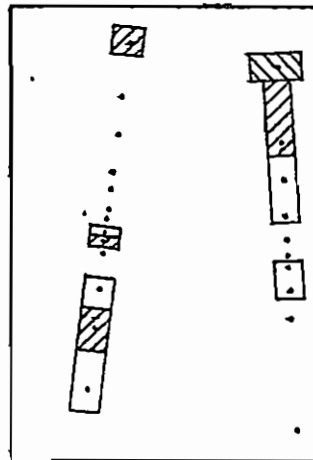
ANTIMONIO (p.p.m.)	0,40-0,69	
	0,69-0,90	
	≥ 1,00	



LITIO (p.p.m.)	15-16	
	17-18	
	≥ 19	



MANGANESO (%)	0,15	
	0,17	
	≥ 0,18	



HIERRO (%)	7,70-9,69	
	9,70-11,99	
	≥ 12	

Escala aprox. 1:30.000

Fig. 3

TABLA Nº 5. ANALISIS DE CORRELACION. LLANOS DE UCANCA

A) N = 35

Valores Naturales

	AZUFRE	MERCURIO	ARSENICO	ANTIMONIO	LITIO	HIERRO
FLUOR	.0814686	-.0526137	.2392352	-.1297912	.0884644	.1786268
AZUFRE		-.2634864	.0982061	.1274510	.2566524	.5806105
MERCURIO			-.3824328	-.0534310	.0904297	-.2016452
ARSENICO				.1135205	-.1419697	.4494058
ANTIMONIO					.1988287	.0991863
LITIO						.1195941

	MANGANESO
FLUOR	-.0731089
AZUFRE	-.5357399
MERCURIO	.0916658
ARSENICO	.2870931
ANTIMONIO	-.0185382
LITIO	-.2608111
HIERRO	.1814938

Valores Logarítmicos

	AZUFRE	MERCURIO	ARSENICO	ANTIMONIO	LITIO	HIERRO
FLUOR	.2880774	-.0665729	.3532125	.1434384	.2390453	.2140145
AZUFRE		-.2488017	.3952369	.0423679	.4986862	.5006564
MERCURIO			-.4311518	-.0090705	.1224840	-.1862536
ARSENICO				.1653328	-.0054052	.5365914
ANTIMONIO					.1753312	.2393162
LITIO						.2551023

	MANGANESO
FLUOR	-.0662752
AZUFRE	-.4118278
MERCURIO	.1323646
ARSENICO	.2108247
ANTIMONIO	.1079189
LITIO	-.1242995
HIERRO	.2074310

Las correlaciones positivas que manifiestan un mayor grado de significación son (S - Fe, S - Li, As - Fe) y (Hg - As) negativa.

Paradójicamente no se observa buena correlación Fe - Mn, - sin embargo ésta mejora ( $r = 0,64$ ) sensiblemente de acuerdo con el carácter geoquímico análogo característico de ambos elementos, cuando se eliminan del tratamiento una serie de muestras en las que el Fe está probablemente combinado con el azufre (Tabla 5B).

En el siguiente diagrama se resumen las correlaciones significativas para el grupo de muestras que restan al eliminar las que constituyen la población anómala en contenido de S (nº 1 a 5 y 30).

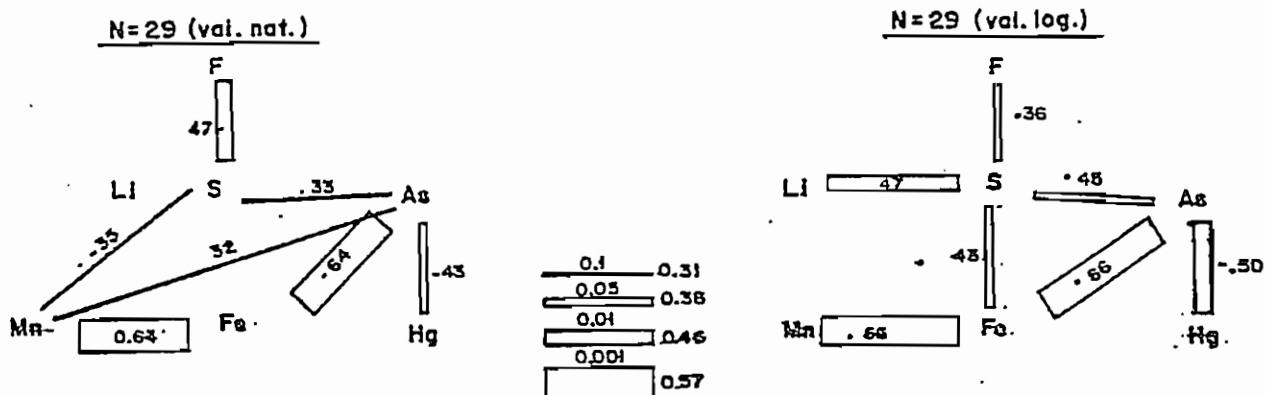


TABLA 5B. MATRIZ DE CORRELACION. LLANOS DE UCANCA

N = 29 (eliminados nº 1, 2, 3, 4, 5 y 30)

. Valores Naturales

	AZUFRE	MERCURIO	ARSENICO	ANTIMONIO	LITIO	HIERRO
FLUOR	.4706482	-.0543666	.2441680	.2066631	.1123743	.2664297
AZUFRE		-.2372366	.3341554	.1101603	.2922717	.1986663
MERCURIO			-.4294094	-.0567303	.1404012	-.0643543
ARSENICO				.1068537	-.1506721	.6427765
ANTIMONIO					.2505527	.1067312
LITIO						.0034486

	MANGANESO
FLUOR	-.1268789
AZUFRE	-.3532288
MERCURIO	.0024581
ARSENICO	.3223672
ANTIMONIO	.06331.9
LITIO	-.1496319
HIERRO	.6379165

. Valores Logaritmicos

	AZUFRE	MERCURIO	ARSENICO	ANTIMONIO	LITIO	HIERRO
FLUOR	.3631410	-.0475470	.2590997	-.1689478	.2475768	.2569356
AZUFRE		-.1480867	.4561091	-.0431763	.4694768	.4342193
MERCURIO			-.4951168	-.0032737	.1828340	-.0482732
ARSENICO				.1509566	-.0193467	.6560876
ANTIMONIO					.1941797	.2585072
LITIO						.1942555

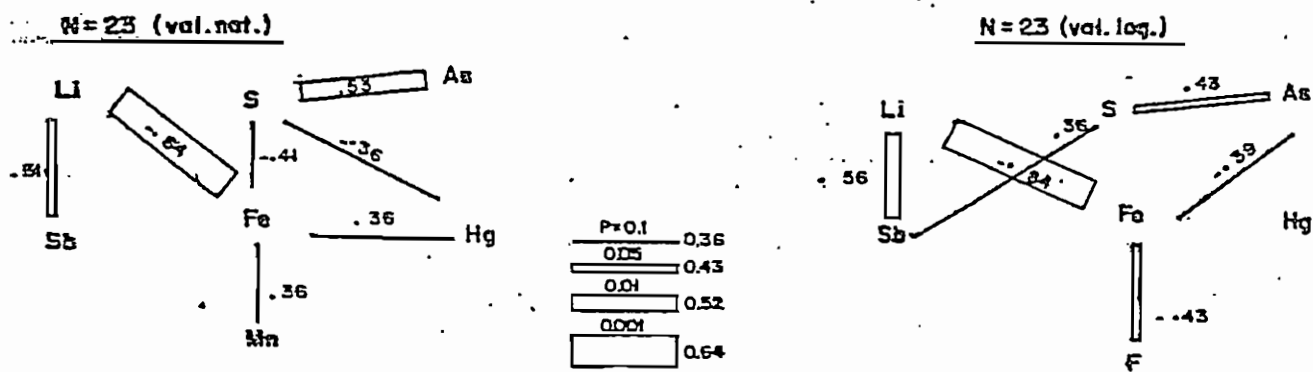
	MANGANESO
FLUOR	-.0919579
AZUFRE	-.1617096
MERCURIO	.0602819
ARSENICO	.2827333
ANTIMONIO	.2333524
LITIO	-.0033232
HIERRO	.6635122

En este grupo de muestras se mantiene la correlación significativa As - Fe, mientras que la asociación S - Li y S - Fe, están igualmente presentes, pero sólo presentan valores significativamente distintos de 0 cuando se calculan a partir de los transformados logarítmicos.

Por otra parte, el valor del coeficiente S-F, vendría a indicar una cierta asociación de estos elementos en muestras con contenidos no anómalos del primero.

### 5.2.2.- La Degollada - Montaña Colorada

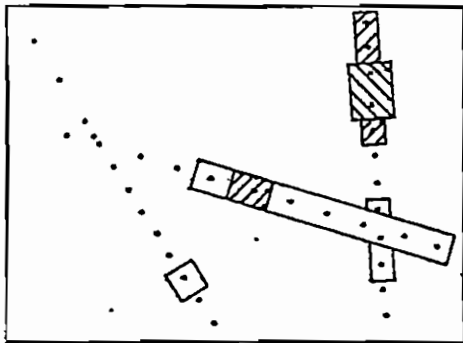
En el siguiente diagrama se presentan las correlaciones significativas entre las variables analizadas, calculados sobre la totalidad de las muestras recogidas en esta zona. (Tabla 6A).



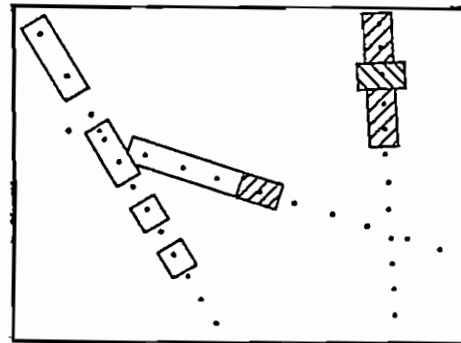
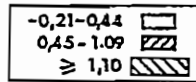
# PLANO DE DISTRIBUCION DE FACTORES

## LLANOS DE UCANCA

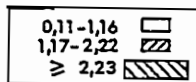
(A) N=35  
(Val. nat.)



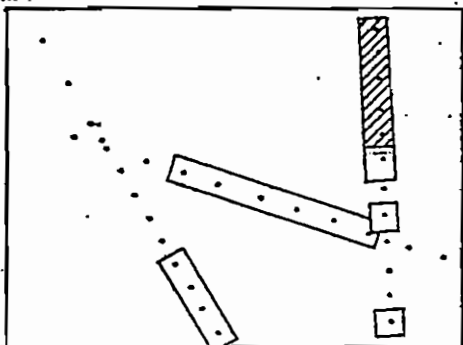
F-1 S, Fe



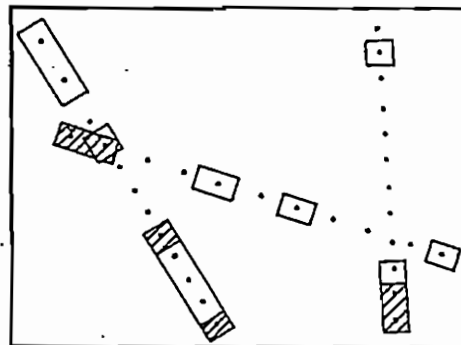
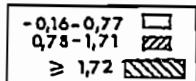
F-2 S, Li, (-Mn)



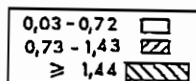
(B) N=35  
(Val. log.)



F-1 S, Fe, (Li)



F-3 Hg(-As)



Escala aprox, 1:33.000

A partir de su análisis se establece en principio, la existencia de una asociación S - As y Li - Sb.

Por otra parte, se han recalculado los valores anteriores eliminando la muestra nº 58, cuyo contenido excesivamente alto de Sb podría enmascarar la posible asociación de este elemento con los restantes analizados. Este supuesto queda confirmado por la asociación As - Sb ( $r = 0,47$ , para valores naturales y logarítmicos; tabla 6B).

### 5.3.- ANALISIS MULTIVARIANTE




El análisis multivariante incluye la aplicación de:

- . Análisis factorial, utilizando los contenidos de las 8 variables analizadas en los suelos de ambas zonas. en la interpretación de resultados se consideran únicamente aquellos factores en los que la asociación de variables por ellos representada, en la matriz rotada, es responsable de la variabilidad química en la zona, en un porcentaje superior al que correspondería a cada elemento aislado. La distribución de los "scores" de estos factores se refleja gráficamente en base a los intervalos establecidos a partir de su valor medio ( $\bar{x}$ ) y desviación estándar (s), mediante una simbología común:

$$x - x + s \square ; x + s - x + 2S \text{ // } y ; > x + 2S \text{ // // }$$

- . Análisis de regresión, de las variables para las que el análisis vivariante ha puesto de manifiesto una correlación significativa con Fe y/o Mn, cuya posible intervención como elementos colectores en la definición de "falsas anomalías" de elementos incluidos en este trabajo como potenciales indicadores de gra



dientes térmicos anómalos, se desea eliminar. La construcción de planos de residuos obtenidos tras la aplicación del análisis de regresión, se realiza a partir de los valores -standarizados, utilizando también una simbología común para los intervalos que se establecen: 0 — 0,9  ; 1 — 1,9   
;  $\geq 2,0$  

### 5.3.1.- Análisis factorial

#### Llanos de Ucanca

El análisis factorial aplicado sobre los valores naturales de las 35 muestras recogidas en esta zona, presenta únicamente 2 factores significativos (tabla 7A), que definen la asociación S - Li (F-2) al que se asocia el 16,7% del total de la varianza extraída; y S - Fe (F-1) con este porcentaje situado en un 14,7%.

El estudio de la distribución de estos factores (fig. 4A), pone de manifiesto la superposición de los "scores" anómalos de ambos factores, que coinciden con las 6 muestras con mayores contenidos de S en toda la zona.

El mismo análisis factorial sobre los valores transformados logarítmicos define en el factor -1 de la matriz rotada la asociación S - Fe - Li, que explica un 16,8% del total de la varianza extraída (tabla 7B). Los "scores" correspondientes al 17% de los valores más altos corresponden asimismo a las muestras nº 1 a 5 y 30 (fig. 4B). la aplicación del análisis

TABLA 7A. MATRIZ DE FACTORES (1 -sin rotar, 2 -rotada)

LLANOS DE UCANCA. N = 23 (Valores naturales)

1. Sin rotar

Variable Name	FACTOR				
	1	2	3	4	5
1. FLUOR	.223576	-.100041	-.045592	-.330756	.107097
2. AZUFRE	.867910	.297002	.036307	-.140225	-.020684
3. MERCURIO	-.343144	.183212	.392916	-.043004	.060883
4. ARSENICO	.347185	-.578104	-.217814	-.114221	-.001102
5. ANTIMONIO	.192249	-.015908	.070524	-.280127	-.098222
6. LITIO	.290439	.310975	.266866	-.186980	-.051839
7. HIERRO	.717093	-.421368	.252545	.126226	.048727
8. MANGANESO	-.327043	-.743242	.253892	.037998	-.052056
Contribution of factor	1.78403	1.29291	.40965	.27714	.03406
% of total Variance Extracted	22.30041	16.16135	5.12068	3.46431	.42578

2. Rotada

Variable Name	FACTOR				
	1	2	3	4	5
1. FLUOR	.055548	.017742	-.132315	-.360406	.179222
2. AZUFRE	.615414	.651684	-.183588	-.150972	-.072599
3. MERCURIO	-.110762	-.099283	.537592	.034939	.003024
4. ARSENICO	.260461	-.281802	-.552985	-.226760	.104301
5. ANTIMONIO	.065198	.037507	-.023053	-.348377	-.052440
6. LITIO	.182879	.319191	.240835	-.300423	-.079646
7. HIERRO	.814467	-.077981	-.254880	-.195364	.035921
8. MANGANESO	.107086	-.844968	-.005462	.044049	-.023909
Contribution of factor	1.17445	1.33762	.76943	.45785	.05926
% of total Variance Extracted	14.68061	16.72022	9.61783	5.71317	.74078

TABLA 7B. MATRIZ DE FACTORES (1 -sin rotar, 2 -rotada)  
LLANOS DE UCANCA. N = 35 (Valores logaritmicos)

1. Sin rotar

Variable Name	FACTOR				
	1	2	3	4	5
1. FLUOR	.362037	-.039590	.085427	-.215661	-.043217
2. AZUFRE	.846651	-.372121	-.037342	.125273	-.012192
3. MERCURIO	-.324286	-.100325	.471199	.069736	-.009008
4. ARSENICO	.612319	.412633	-.250064	-.081274	-.026463
5. ANTIMONIO	.218988	.152929	.215583	-.221293	.066166
6. LITIO	.414932	-.314027	.445568	-.053642	-.021026
7. HIERRO	.753639	.286214	.137600	.161935	.039885
8. MANGANESO	-.102492	.728826	.284722	.067589	-.033436
Contribution of factor	2.12658	1.05548	.63826	.15631	.01033
% of total Variance Extracted	26.58231	13.19348	7.97825	1.95369	.12908

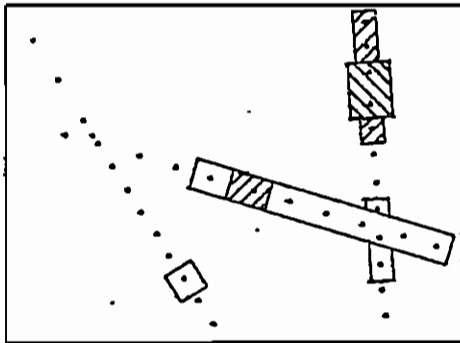
2. Rotada

Variable Name	FACTOR				
	1	2	3	4	5
1. FLUOR	.192859	-.076040	-.135039	-.348647	-.074475
2. AZUFRE	.768986	-.367752	-.324576	-.200265	-.022145
3. MERCURIO	-.024769	.116181	.572713	-.007869	-.005069
4. ARSENICO	.235535	.225179	-.673105	-.235486	-.018206
5. ANTIMONIO	.077274	.142218	-.031702	-.376890	.043807
6. LITIO	.499197	-.158928	.228646	-.378852	-.048671
7. HIERRO	.623981	.295667	-.380604	-.265191	.066325
8. MANGANESO	-.111405	.780518	.009217	-.081084	.012851
Contribution of factor	1.34156	.94735	1.10288	.57965	.01552
% of total Variance Extracted	16.76946	11.84188	13.78605	7.24566	.19394

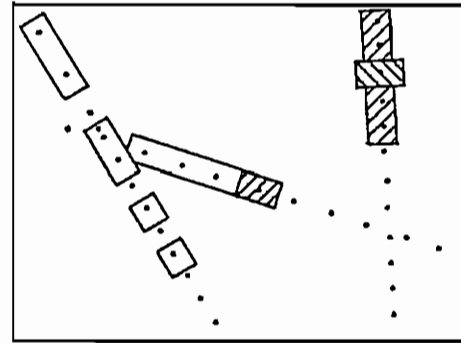
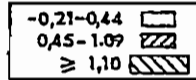
# PLANO DE DISTRIBUCION DE FACTORES

## LLANOS DE UCANCA

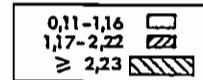
(A) N=35  
(Val. nat.)



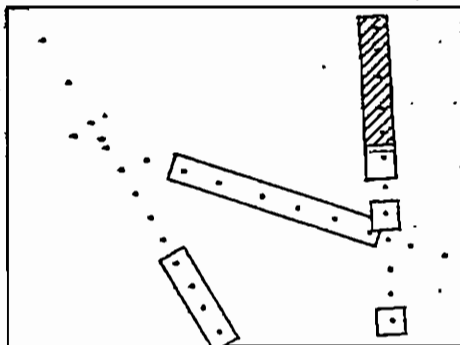
F-1 S, Fe.



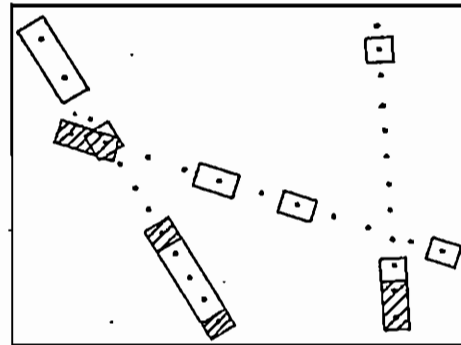
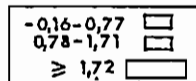
F-2 S, Li, (-Mn)



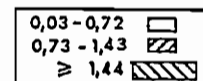
(B) N= 35  
(Val. log.)



F-1 S, Fe, (Li)



F-3 Hg(-As)



Escala aprox. 1:33.000

Fig. 4

factorial sobre valores logarítmicos, agrupa en uno de los dos factores definidos a partir de valores naturales. Dichos factores de hecho se correlacionaban significativamente, y los valores más significativos se definen sobre las mismas muestras, resultando, por tanto, más adecuados los resultados del segundo tratamiento.

Existe otro factor (F-3) definido fundamentalmente por el Hg, con una distribución claramente al margen del As, y que explica un 13,8% del total de la varianza extraída. En la figura 4B se representa la distribución de los "scores" correspondientes a este factor.

Como principal conclusión se deriva que las muestras anómalas en S manifiestan un comportamiento diferencial asociándose al Fe y Li.

A la vista de los resultados del análisis de correlación, se ha realizado análisis factorial sobre las 29 muestras restantes en las que la existencia de alguna otra asociación podría quedar encubierta por la presencia de una población con contenidos anómalos de S, la cual, de hecho, influye fuertemente en la definición de factores.

Así, sobre el grupo de las 29 muestras restantes (tabla 8) se define un factor Fe-Mn-As que explica un 19,6% de su variabilidad química en la zona de los Llanos de Ucanca. Esta asociación podría ser consecuencia de la influencia del Fe y Mn como elementos concentradores de As, o bien por fenómenos de removi-

TABLA 8. ANALISIS FACTORIAL. LLANOS DE UCANCA

N = 29 (valores logaritmicos)

Eliminadas muestras nº 1, 2, 3, 4, 5 y 30

1. Sin rotar

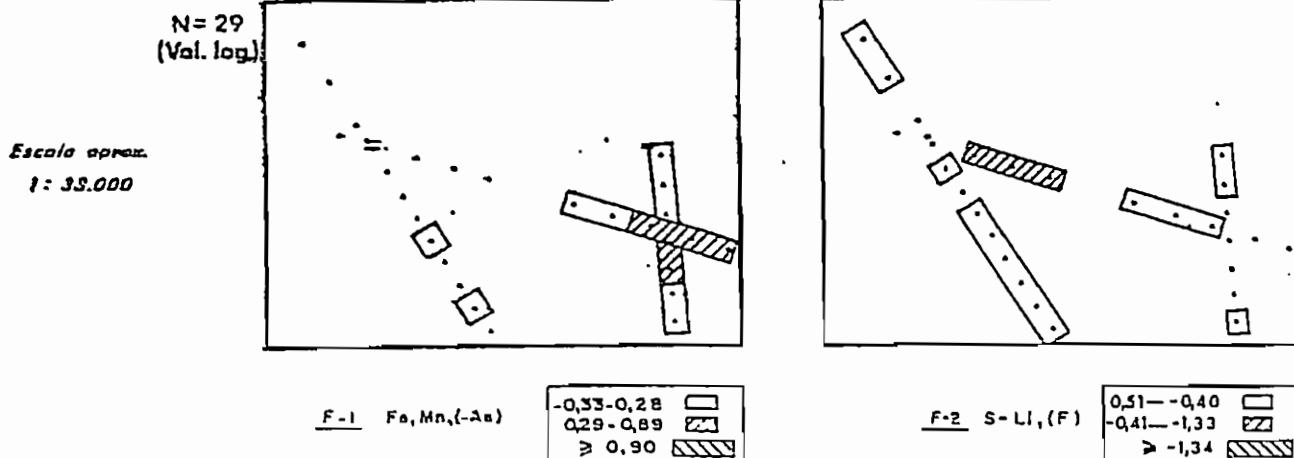
Variable Name	FACTOR				
	1	2	3	4	5
1. FLUOR	.356433	-.301943	.100860	-.214260	.106321
2. AZUFRE	.592985	-.606057	.071933	.197509	-.027892
3. MERCURIO	-.237720	.098255	.594194	.111011	.093762
4. ARSENICO	.769989	-.011910	-.423466	-.031819	.007669
5. ANTIMONIO	.264261	.135680	.179436	-.374436	-.020833
6. LITIO	.201895	-.342314	.498329	-.061378	-.112094
7. HIERRO	.889867	.255555	.136955	.108747	.070658
8. MANGANESO	.464297	.716704	.170032	.063796	-.066285
Contribution of factor	2.28480	1.15283	.87593	.25812	.04333
% of total Variance Extracted	28.56004	14.78533	10.94917	3.22648	.54168

2. Rotada

Variable Name	FACTOR				
	1	2	3	4	5
1. FLUOR	-.010209	-.425755	-.125374	-.254358	.154347
2. AZUFRE	.072360	-.025740	-.244637	.123712	.040789
3. MERCURIO	.046325	-.025451	.651322	-.011389	.008913
4. ARSENICO	.419292	-.278325	-.706438	-.087749	.115740
5. ANTIMONIO	.177315	-.071673	-.002738	-.473804	-.001500
6. LITIO	.030829	-.590884	.242453	-.201493	-.108765
7. HIERRO	.817092	-.373658	-.206710	-.169192	.118878
8. MANGANESO	.026929	.186885	.040560	-.199874	-.079234
Contribution of factor	1.56713	1.47005	1.11513	.42150	.07120
% of total Variance Extracted	19.58918	18.37565	13.93915	5.26871	.09085

PLANO DE DISTRIBUCION DE FACTORES

LLANOS DE UCANCA



lización y fijación conjunta de estos elementos en el ambiente geoquímico de la zona.

El segundo factor significativo, responsable del 18,4% del total de la varianza extraída en el grupo de 29 muestras, define la asociación S-Li-(F), y su distribución se refleja asimismo en la figura 5.

#### La Degollada-Montaña Colorada

El análisis factorial se realiza sobre 22 muestras, eliminando la nº 58, ya que debido a su contenido excesivamente destacado de Sb se ha comprobado que influye impropiamente en la definición de factores.

Los resultados del análisis factorial ofrecen una mejor definición de las asociaciones al ser aplicado a los valores logarítmicos transformados.

En la matriz rotada (tabla 9), el factor -2 define una asociación S-As-Sb-(Li) que es responsable del porcentaje más alto (25,3%) del total de la varianza extraída. Los valores de este factor superiores a la media se sitúan (fig. 6) sobre los puntos en los que se manifiesta una mayor coincidencia en contenidos altos de estos elementos (ver figura 2 del análisis univariante).

El F-2, viene definido por la asociación de Fe-Mn, cuyo origen estaría en relación con el comportamiento geoquímico análogo que caracteriza a ambos elementos. Además, a través de este factor se pondría de manifiesto, en principio, su contraste con la distribución del Li en la zona de la Degollada-Montaña Colorada.

TABLA 2. ANALISIS FACTORIAL. DEGOLLADA-MONTAÑA COLORADA

N = 22 (Valores logarítmicos). Eliminada nº 58

1. Sin rotar

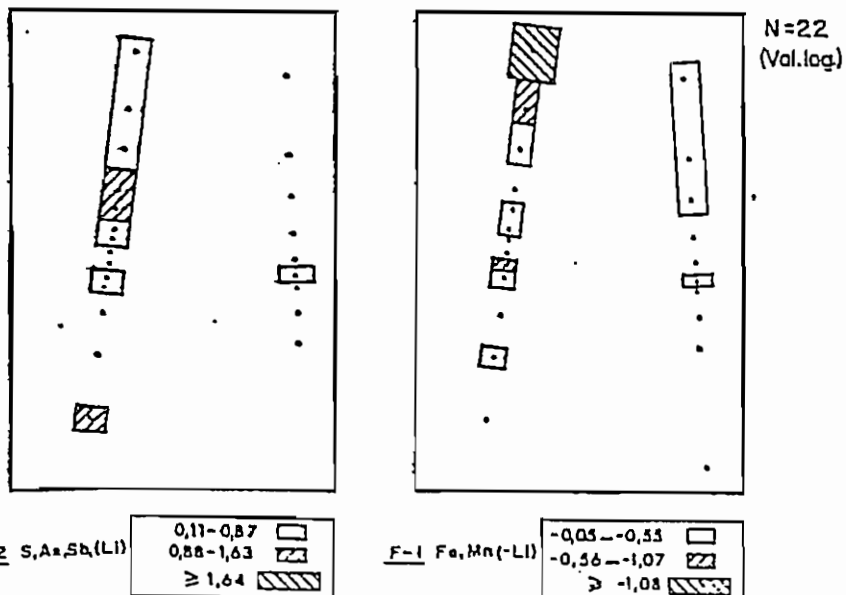
Variable Name	FACTOR				
	1	2	3	4	5
1. FLUOR	.290451	-.051432	-.732431	.017300	.018539
2. AZUFRE	.538741	.490777	.067587	.273760	.044505
3. MERCURIO	-.299556	.154103	-.041296	-.473308	.045920
4. ARSENICO	.550153	.319014	.223672	-.125722	-.145337
5. ANTIMONIO	.646749	.321360	.112944	-.110758	.148553
6. LITIO	.939844	-.293569	.132216	-.121251	-.005096
7. HIERRO	-.886831	.300066	.212919	.066557	.039466
8. MANGANESO	-.114202	.644332	-.309207	-.062644	-.066220
Contribution of factor	2.69036	1.06368	.77818	.35041	.05361
% of total					
Variance Extracted	33.62956	13.29665	9.72720	4.38018	.67011

2. Rotada

Variable Name	FACTOR				
	1	2	3	4	5
1. FLUOR	-.081740	-.001647	-.789043	.058898	.016830
2. AZUFRE	-.223199	.652324	-.060133	.356595	.080568
3. MERCURIO	-.164598	-.081204	.067010	-.550593	.006005
4. ARSENICO	.032110	.678135	.031836	.023816	-.176618
5. ANTIMONIO	.061181	.735412	-.110429	.024413	.112581
6. LITIO	.641555	.567136	-.255261	.138336	-.080432
7. HIERRO	-.538574	-.493988	.587879	-.189764	.110560
8. MANGANESO	-.676690	.169878	-.144485	-.155247	-.022722
Contribution of factor	1.24793	2.02735	1.07354	.51419	.07124
% of total Variance Extracted	15.59913	25.34184	13.44423	6.42743	.89049

PLANO DE DISTRIBUCION DE FACTORES

DEGOLLADA MONTAÑA COLORADA





El estudio de la distribución del F-3, definido fundamentalmente por el F, y con un "autovalor" muy próximo a 1, no resulta significativo y por tanto no se hace ulterior uso de él.

### 5.3.2.- Análisis de regresión

#### Llanos de Ucanca

Del análisis de regresión del S sobre el Fe, realizado para las 35 muestras recogidas en esta zona, se obtiene la siguiente ecuación:

$$S = - 1.018,2 + 396,4 \text{ Fe con un valor de } R = 0,581$$

La distribución de residuos standarizados se refleja en la figura 7A.

Por los mismos motivos aducidos en la aplicación de análisis factorial se realiza el análisis de regresión sobre el grupo de 29 muestras, resultante de eliminar las de mayor contenido en S, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$S = 94,2 + 59,6 \text{ Fe con un valor de } R = 0,20$$

La distribución de residuos standarizados se representa en la fig. 7B. Las 6 muestras eliminadas resultarían claramente anómalas respecto al resto, tras la aplicación de esta última ecuación de regresión. Del análisis de las figs. 7A y 7B se puede concluir que mientras en el sector noroccidental se localiza la anomalía más importante de S, la segunda zona en orden de importancia se define sobre las muestras nº 27 a 30. Este resultado refrenda las zonas anómalas de S obtenidas por el análisis univariante.

Por otra parte, el análisis estadístico bivalente indica la existencia de correlación significativa As-Fe, tanto para la totalidad de las muestras, como para el grupo que resulta de filtrar la población anómala en S. Sobre este segundo grupo de 29 muestras se ha definido en el análisis factorial un factor en el que se asocia el As con Fe-Mn.

En la distribución de este factor (fig. 6) se puede apreciar que los valores más altos se localizan fundamentalmente sobre la zona con anomalía de Mn, lo que podría indicar la asociación As-Mn sólo para concentraciones elevadas de este último elemento. De hecho, para el grupo constituido por muestras con contenidos anómalos (>2300 ppm) de Mn -nº 8 a 11, 31 a 35 y 23, existe una correlación significativa tanto para As-Fe (0,64), como As-Mn (0,53); mientras que la correlación significativa desaparece ( $r = 0,07$ ) en las muestras con contenidos de Mn inferiores a 2300 ppm, manteniéndose una correlación significativa As-Fe ( $r = 0,39$ ).

Se ha realizado pues la regresión del As sobre Fe, Mn; tanto sobre la totalidad de las muestras como para las 10 que manifiestan contenidos anómalos de Mn, con vistas a definir mejor las anomalías de As independientes de Mn en el área que definen las muestras con contenidos anómalos de este elemento.

Las ecuaciones de regresión correspondientes a los dos casos referidos son:

$$(1) \text{ As} = 0,18 + 0,14 \text{ Fe} + 1,23 \text{ Mn} \\ R = 0,496 \qquad \qquad \qquad (N = 35)$$

$$(2) \text{ As} = -2,25 + 0,41 \text{ Fe} + 5,43 \text{ Mn} \\ R = 0,826 \qquad \qquad \qquad (N = 10)$$

La distribución de residuos estandarizados en los dos casos enunciados se representan en la figura 7C y 7D, respectivamente.

#### La Degollada-Montaña Colorada

Se realiza el análisis de regresión de las variables que se encuentran correlacionadas con hierro y/o manganeso: Hg-Fe, F-Mn, As-Mn.

Las ecuaciones de regresión obtenidas corresponden a:

$$(1) \text{ Hg} = 0,102 + 0,008 \text{ Fe}$$
$$R = 0,360$$

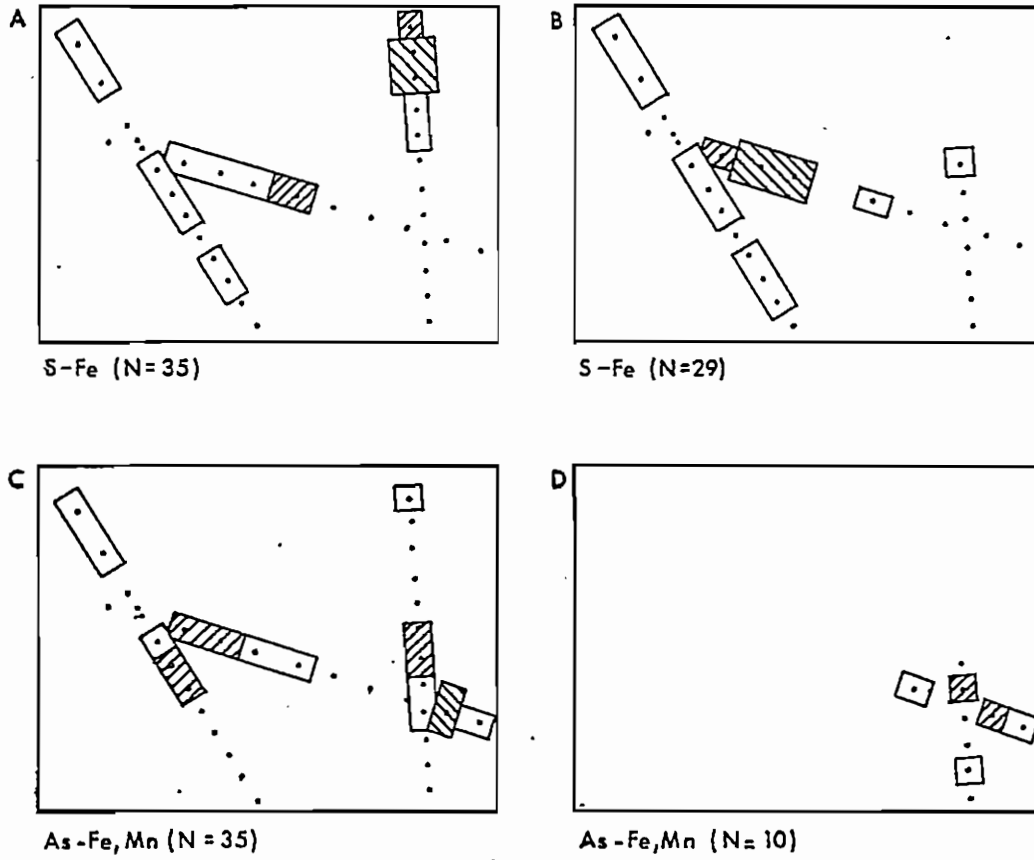
$$(2) \text{ F} = 121,5 + 3572,9 \text{ Mn}$$
$$R = 0,233$$

$$(3) \text{ As} = 0,127 + 6,88 \text{ Mn}$$
$$R = 0,269$$

La distribución de residuos standarizados correspondientes a estos 3 elementos se refleja en la figura 8.

PLANO DE DISTRIBUCION DE RESIDUOS ESTANDARIZADOS

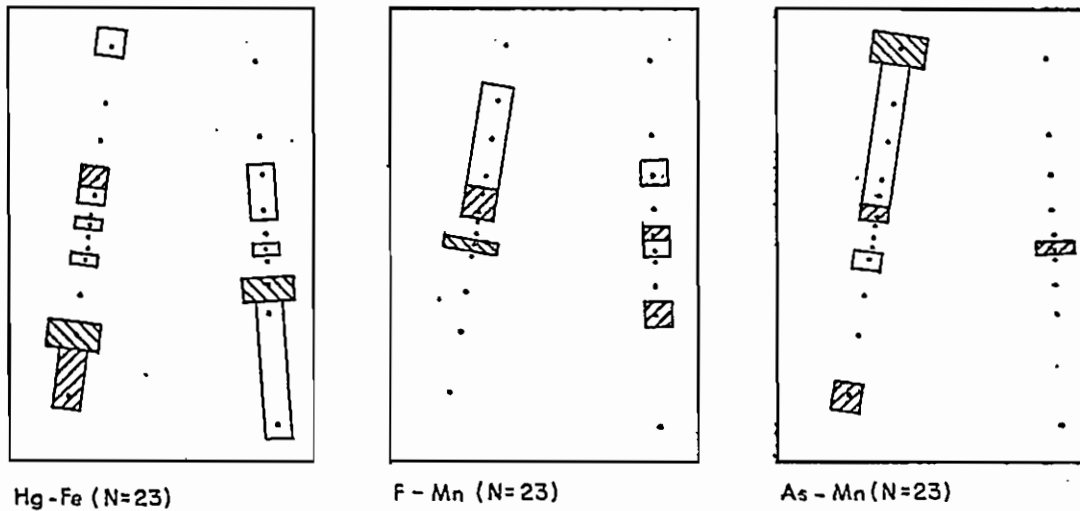
LLANOS DE UCANCA



Escala aprox. 1:33.000

Fig. 7

DEGOLLADA MONTAÑA COLORADA



Escala aprox. 1:50.000

Fig. 8

## 6.- RESULTADOS OBTENIDOS

En primer lugar, se establecen una serie de comparaciones entre los contenidos que presentan los suelos de las dos zonas objeto de estudio, y los correspondientes a contenidos medios en rocas volcánicas, y suelos desarrollados sobre ellos (tabla 10).

TABLA 10.- CONTENIDOS DE F, S, Hg, As, Sb, Li, Fe, Mn EN DIVERSOS MATERIALES VOLCANICOS

ELEMENTO	SUELOS SOBRE ZONAS VOLCANICAS (V.S.A)		BASALTOS	RIOLITAS TRAJUITAS DACITAS
	RANGO	$\bar{x}$	RANGO	RANGO
Flúor (ppm)	130-800	405	300-500	300-700
Azufre (ppm)	-	-	-	-
Mercurio (ppm)	0,01-0,18	0,05	0,0X	0,0X
Arsénico(ppm)	2,1-11,0	5,9	0,6-2,0	0,2
Antimonio(ppm)	-	-	0,2-1,0	0,2
Litio (ppm)	15-41	25,5	6-20	15-45
Hierro (%)	-	-	5,6-8,7	2,6
Manganeso (%)	0,03-0,3	0,084	0,12-0,20	0,06-0,12

Los contenidos medios de Hg y F en los suelos de ambas zonas son superiores a los reflejados en la tabla anterior. Por otra parte, mientras el valor de fondo de Hg es similar en ambas zonas, el de F es notablemente superior en los Llanos de Ucanca.

El Fe y Mn se encuentran en niveles indicados en la tabla 8, resultando comparativamente más altos los contenidos de Mn en Llanos de Ucanca y de Fe en La Degollada-Montaña colorada. Respecto al S, el contenido medio es similar al característico de rocas básicas (Govett, 1983), destacando claramente de este valor los contenidos de muestras anómalas, fundamentalmente en la zona de los Llanos de Ucanca.

El As, Sb, Li, se encuentra en rangos de concentración previsibles. Por otra parte, los contenidos de muestras recogidas en las dos zonas no difieren sustancialmente (con excepción del contenido de Sb de la muestra nº 58 de La Degollada).

En una segunda parte se realiza una serie de comentarios, que resumen los aspectos de mayor interés relacionados con los resultados de las determinaciones llevadas a cabo durante la campaña de desmuestre (temp, Rn) y con la distribución y correlación de las 8 variables analizadas en los suelos de ambas zonas. Estas observaciones se derivan, fundamentalmente, de los resultados obtenidos a través del análisis estadístico uni-, bi- y multi-variante aplicado. Asimismo, se establecen hipótesis, en la medida de lo posible, acerca del origen de las anomalías observadas.

## 6.1.- LLANOS DE UCANCA

### Determinaciones de campo

- Los valores de temperatura del suelo superiores a la media establecida para esta zona, se localizan fundamentalmente en el sector oriental de la misma, y dentro de ella los valores más altos en el sector norte, sobre puntos del perfil A (nº 2 y 3).

En el sector oriental sólo se han medido temperaturas superiores a  $\bar{x}$ , en los puntos nº 27 y 28. Aunque ya se ha comentado la relativa validez de esta medida, se puede utilizar con carácter orientativo, dado que el coeficiente de correlación Tsuelo-Tamb. en 34 puntos de la zona no difiere significativamente de 0.

- La mayor agrupación de anomalías de Rn (2' y 5'), se manifiesta en puntos localizados en el sector suroriental de los Llanos de Ucanca, dentro de la zona A, con anomalías de baja resistividad puestas de manifiesto en la campaña de geofísica realizada con anterioridad en esta zona.

El interés en la distribución de zonas con anomalía de Rn en la atmósfera del suelo estaría en relación con su posible origen por movimientos ascendentes de gas a través de gradientes geotérmicos, a zonas de menor temperatura y menor presión. Por otra parte, hay que considerar que la salida de gases de - encuentra más favorecida en zonas de fractura o mayor porosidad permeabilidad del material.

## Geoquímica de suelos

Se describen a continuación las anomalías de mayor rango que se manifiestan en esta zona.

### A. Anomalía de Azufre

Localizada en el sector noroccidental de los Llanos, sobre ella coinciden parcialmente anomalías de Li y Fe (fig. 2).

En relación con la caracterización de estas muestras se señala lo siguiente:

- A partir del análisis de los coeficientes de correlación obtenidos sobre el total de muestras y las que resultan de filtrar las de mayor contenido en S-(nº 1 a 5 y nº 30), se pone de manifiesto para esta población anómala una asociación S-Fe y S-Li, y una clara distribución del S al margen del Mn. A este respecto cabe señalar que todas las muestras de este sector presentan contenidos de Mn inferiores a G.

Del análisis de regresión S-Fe (fig. 7A) se deduce que los contenidos anómalos de S, al margen del Fe, corresponden fundamentalmente a las muestras nº 2, 3 y 1.

- El análisis factorial define sobre estas muestras una asociación S-Li-Fe.
- Muestras aisladas de este sector presentan contenidos anómalos de Hg y Sb.

El aspecto que confiere mayor interés a la aparición de esta anomalía de S es que se encuentra localizada sobre el sector donde también se han puesto de manifiesto anomalías termométricas.



El origen de esta anomalía no resulta fácil de interpretar si bien se pueden establecer dos hipótesis.

La primera de ellas estaría en relación con fenómenos de alteración de rocas, en las que el S se encontraría fundamentalmente en forma de sulfuros (Fe, Ni, Co ...). Estos sulfuros, durante los procesos de alteración se oxidan a sulfatos, que bajo ciertas condiciones pueden quedar retenidos por los hidróxidos de Fe y Al.

La segunda hipótesis hace referencia a su origen gaseoso, en relación con fenómenos volcánicos. En general, se sabe que los fluidos con altos contenidos de S están estrechamente relacionados con estructuras volcánicas de tipo caldera y/o con intrusiones tipo domo-profundo. Por otra parte, la retención de este azufre gaseoso estaría asimismo influenciada por la presencia de Fe, interviniendo de forma fundamental en los fenómenos de mineralización las condiciones de Eh, pH y gradientes de temperatura.

#### B. Anomalía de Mn

Localizada en el sector suroccidental de los Llanos de Ucanca.

La ubicación de esta anomalía de Mn coincide notablemente con una de las zonas donde se delimitaron, mediante geofísica, anomalías de baja resistividad.

Por otra parte, sobre esta misma zona se presenta una coincidencia parcial con una anomalía de As. A este respecto, cabe destacar que el grupo de muestras con contenidos anómalos en Mn existe una correlación significativa As-Mn, además de la As-Fe, que ya aparecía para el conjunto de la población desmuestraada.

La redefinición de las muestras con contenidos anómalos de As se ha realizado mediante análisis de regresión sobre Fe y Mn, en las muestras de este sector.

Finalmente, cabe señalar que en esta misma zona se producen coincidencias parciales con valores anómalos de Rn en la atmósfera del suelo, y valores de temperatura de suelo superiores al valor medio en los Llanos de Uanca.

### C. Anomalía de mercurio

En el sector suroriental se localiza la agrupación más importante de muestras con contenidos anómalos de Hg, independientemente de cualquier otro tipo de anomalía. Este hecho señalaría, en principio, un origen de la misma no relacionado con fenómenos geotérmicos.

En general, el Hg en la zona de Uanca, se caracteriza por no presentar correlación positiva significativa con ninguno de los restantes elementos analizados. Únicamente manifiesta una correlación significativa, de carácter negativo, con el As. La distribución de Hg y As, claramente al margen uno de otro, se observa en sus correspondientes planos de isocontenidos (fig. 2).

Los resultados del análisis factorial permiten corroborar lo anteriormente expuesto y el estudio de la distribución de "scores" correspondientes al factor definido por Hg, al margen de As, aporta información más puntual sobre la distribución antagónica de ambos elementos.

#### D. Influencia litológica

El análisis de los modelos de distribución de los elementos analizados en suelos de esta zona, no indica, en principio, la asociación de ninguno de ellos a una litología específica. Cabe aquí señalar que, en los Llanos de Uanca, el carácter litológico diferencial más destacado, corresponde a la existencia de unos depósitos arcillosos de color claro, localizado en el sector noroccidental de la misma.

#### 6.2.- LA DEGOLLADA-MONTAÑA COLORADA

##### Determinaciones de Campo

Las determinaciones de temperatura del suelo resultan especialmente poco indicativas en esta zona, donde el coeficiente de correlación entre T-suelo y T-ambiente ( $r = 0,63$ ) resulta significativo a nivel de probabilidad 0,001.

Los valores más altos de  $R_n$  (2' y 5'), se manifiestan en puntos localizados en el sector norte del perfil occidental, con coincidencias parciales de anomalías para estas dos medidas. Los resultados obtenidos para el  $R_n$  parecen interesantes, a la vista de la coincidencia espacial con algunas anomalías de elementos modificadores. Esto podría, en principio, indicar su removilización conjunta por efectos térmicos también anómalos.

##### Geoquímica en Suelos

Se describen a continuación las anomalías de mayor rango que se manifiestan en esta zona.

#### A. Anomalías de S, As, Sb, Li

Como resultado destacable del estudio llevado a cabo en esta zona se señala que las anomalías de mayor rango de los elementos S, As, Sb, Li y F se concentran fundamentalmente en el sector norte del perfil I.

Por otra parte, cabe destacar que la única muestra del perfil II sobre la que se manifiesta una coincidencia de valores anómalos en los contenidos de S-As-Sb(-Li) (nº 54); se encuentra situada sobre una de las zonas de anomalía térmica puesta de manifiesto mediante vuelo infrarrojo en el área de La Degollada - Montaña Colorada.

El análisis factorial (tras la eliminación de la muestra nº 58, cuyo elevado contenido de Sb influía impropriadamente en la definición de factores), pone de manifiesto la existencia de una asociación S-As-Sb-(Li). Dicha asociación es la que explica más ampliamente la variabilidad química asociada a las muestras de la zona. Esto se deduce al corresponder al factor -2, que agrupa a los elementos citados, el mayor porcentaje de la varianza total extraída (25,3%)

#### B. Anomalía de Hg

La distribución de este elemento no permite una definición tan clara de zonas anómalas, como las observadas para los elementos anteriores.

Cabría destacar los contenidos anómalos de las muestras localizadas en el borde sur del perfil occidental, con coincidencias parciales de anomalías de As y Sb. Por otra parte, el análisis de regresión Hg-Fe elimina como anómalos contenidos de muestras situados en el extremo norte de ambos perfiles (fig. 8).

NOTA

En relación con el tratamiento aplicado y las distintas figuras que se presentan a lo largo del informe, cabe señalar que se considera de interés fundamentalmente como información disponible para análisis más detallado de los resultados obtenidos. El comentario puntual de dichos resultados sería extremadamente exhaustivo.

## 7.- CONCLUSIONES

- Como primera conclusión de este estudio se establecería que los resultados obtenidos aportan información, que contrastada con la procedente de estudios térmicos fundamentalmente, es de utilidad en la definición de áreas geotérmicas más favorables para proseguir los trabajos de exploración.
- En relación con los resultados obtenidos en los Llanos de Uanca, cabe destacar como más interesante la aparición de una anomalía de S en el sector noroccidental, coincidiendo espacialmente con el sector con las temperaturas de suelo más altas. Existe además en la zona una coincidencia parcial con otro tipo de anomalías (Li, Fe).
- En esta zona se pone de manifiesto una coincidencia espacial del área sobre la que se define una anomalía de Mn con una de las anomalías de baja resistividad, puesta de manifiesto por estudios geofísicos.
- La principal anomalía de Hg que se define en los Llanos de Uanca no parece estar ligada, en principio, a fenómenos de interés geotérmico.
- En la zona de La Degollada-Montaña Colorada, existe una coincidencia interesante de anomalías de elementos (S, As, Sb, Li y F), y de Rn en la atmósfera del suelo, cuya removilización conjunta podría ir ligada a la existencia de fenómenos térmicos -asimismo anómalos. Esta coincidencia se produce fundamentalmen

te en muestras del perfil occidental, localizadas en su tramo centro-norte.

- La única muestra del perfil oriental que presenta una coincidencia de valores anómalos similar a la anteriormente descrita, es la nº 54. A este respecto cabe señalar que su localización coincide espacialmente con la de una anomalía térmica - puesta de manifiesto por vuelo infrarrojo. Esto refuerza el interés de esta asociación de elementos (S, As, Sb. Li), que por otra parte, es definida claramente a través del análisis factorial.
- No parece existir, en principio, un control litológico sobre la distribución de elementos observados en ninguna de las zonas objeto de estudio.