

150-647

C1

Microsystem - MOP_DGA



**IV JORNADAS DE TRABAJO
PROGRAMA HIDROLOGICO INTERNACIONAL**

**APLICACION DE TECNICAS DE HIDROLOGIA
ISOTOPICA EN EL AREA DE LA
PROVINCIA DE IQUIQUE, I REGION.**



CARLOS SALAZAR HENDEZ

SEPTIEMBRE - 1995

I INTRODUCCION

La Dirección General de Aguas ha venido utilizando técnicas de hidrología isotópica para la evaluación y conocimiento de los recursos hídricos desde hace ya varios años.

Dicha herramienta se ha empleado principalmente en zonas áridas y semiáridas con el propósito de conocer el origen y movimiento de las aguas, identificando la interacción aguas superficiales - subterráneas que se produce dentro del ciclo hidrológico.

El presente trabajo consiste en una síntesis de los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo de distintas actividades desarrolladas en las cuencas de la provincia de Iquique en la I región, abarcando áreas altiplánicas y Pampa del Tamarugal principalmente. En esta zona la evaluación de los recursos resulta compleja debido a las características de las precipitaciones en términos de su localización e intensidad; las condiciones particulares de las cuencas hidrográficas en lo referente a su morfología, cobertura vegetal y geología; la importancia significativa de las componentes evaporativas en el balance hídrico y la relación volúmenes subterráneos almacenados y su recarga.

En este sentido las técnicas isotópicas se constituyen en un elemento de apoyo relevante para los métodos hidrológicos convencionales en el conocimiento de la dinámica de los recursos hídricos en estas zonas.

Fundamentalmente se ha trabajado con isótopos ambientales cuya presencia está íntimamente ligada a los procesos físico-químicos vinculados al ciclo hidrológico, principalmente se ha trabajado con oxígeno -18 y Deuterio. Adicionalmente se ha contado con apoyo de Carbono-14 para la estimación de edades en áreas de interés.

II DESCRIPCION GENERAL

En la zona puede distinguirse unidades hidrográficas claramente diferenciadas, (Fig. N°1) a saber:

1. Cuencas altiplánicas, con cotas medias en torno a 4.000 m.s.n.m. representadas, principalmente por sistemas hidrográficos cerrados (con salares como base terminal). Las precipitaciones medias alcanzan valores del orden de 200 mm/año.

2. Pampa del Tamarugal, emplazada entre la cordillera costera y las cuencas altiplánicas con una altitud que fluctúa entre 1.000 y 3.000 m.s.n.m. El régimen hidrológico es desértico con nulas precipitaciones en las zonas bajas, las cuales crecen fuertemente con la altura hasta alcanzar valores medios anuales cercanos a 100 mm en las partes más elevadas, que otorgan el respaldo hidrológico a los cauces afluentes. La cuenca recibe diversas quebradas afluentes que aportan sus recursos sin que sus aguas alcancen el océano, constituyéndose una serie de salares en la base terminal del sistema.
3. Zona costera, delimitada por la cordillera de la costa y el océano y constituida por un conjunto de quebradas sin escorrentía debido a la escasa o nula precipitación media anual existente (< 1 mm/año).

III ANALISIS DE RESULTADOS

A través de distintas campañas de medición y muestreo se obtuvieron datos del contenido isotópico y calidad química de aguas pluviales, vertientes, aguas corrientes y aguas subterráneas, principalmente en las cuencas altiplánicas y en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

1. Precipitaciones

Los antecedentes del contenido isotópico de las precipitaciones colectadas en las zonas altas, principalmente en las cuencas altiplánicas, indican la existencia de una importante variabilidad. (Fig. N° 2), a partir de valores medios ponderados se define una recta meteorica local ($Y=ax+b$) dada por:

$$\delta^2\text{H} = \delta^{18}\text{O} + 9,7 \text{ (}\text{‰}\text{ SMOW)}$$

dicha recta resulta claramente similar a la recta meteorica mundial donde los términos a y b corresponden a 8 y 10 respectivamente.

Se puede observar que el Oxígeno-18 fluctúa entre -3,5 y -21,0 ‰ y el deuterio entre -21,3 y -154,4 ‰ SMOW en el período Enero-Marzo, en tanto que para Abril-Junio los valores varían entre -8,1 y -12,0 y entre -57,6 y -85,4 para oxígeno-18 y deuterio respectivamente.

Por otra parte al analizar el contenido isotópico en función de la elevación puede advertirse que el fraccionamiento no se correlaciona con la altitud. (Fig. N° 3), tanto para las precipitaciones estivales como para las de invierno.

Cabe consignar que las precipitaciones invernales y estivales no muestran diferenciación en valores de tritio, variando entre 9,9 UT y 3,0 UT, valores que se encuentran dentro de lo esperado para las latitudes de la zona de estudio. Cabe señalar que las precipitaciones invernales muestran una evolución isotópica diferente, siendo significativamente más pesadas, lo anterior hace presumir que el origen de las precipitaciones estivales e invernales podría estar asociado a trayectorias de masas de aire de orígenes distintos, por cuanto las primeras se originarían en masas de aire que penetran desde el Atlántico en tanto que las segundas se asocian a sistemas frontales provenientes del Pacífico.

Un aspecto interesante dice relación con la vinculación de la variabilidad del contenido isotópico con la altura a las características propias del mecanismo de ocurrencia de las tormentas. Dentro de esto cabe considerar en zonas áridas, el proceso evaporativo sobre las gotas de lluvia durante su caída el cual en todo caso no resulta muy significativo. Sin embargo existen indicios de que hacen pensar que dicha variabilidad pueda explicarse por su condición de proceso convectivo en la generación de las precipitaciones, vinculando el fraccionamiento a la cantidad precipitada y a la cercanía de los centros convectivos.

2. Aguas Superficiales

Dentro de las campañas de mediciones se consideraron vertientes y ríos con el objeto de identificar flujo base y eventos de crecidas.

En relación a vertientes ubicadas, sobre 3.500 m.s.n.m. se observa que el contenido de δ^{18} oscila entre -14 y -12 ‰ y el H^2 entre -106 y -96 ‰, cifras que representan un enriquecimiento relativo respecto de las precipitaciones producidas en la zona de recarga. Por su parte el contenido de C-14 muestra que son aguas modernas con valores entre 85 y 106 pmC que representa edades menores a 30 años; cabe consignar que la zona de Salar del Huasco muestra valores menores en un rango entre 25 y 50 pmC representando tiempos de residencia mayores.

Cabe consignar que el exceso de deuterio (d) en las vertientes de mayor elevación alcanza valores en torno entre 6 y 9, en tanto que en las vertientes bajas se observan valores similares inferiores a 4. Dicha variación indica un alto grado de evaporación.

Las vertientes ubicadas en las zonas bajas muestran un fuerte enriquecimiento isotópico con valores de $\delta^{18}O$ entre -8 y -6 y entre -73 y -74 en δ^2H . Cabe consignar que las vertientes del sector de Fica (1.400 m.s.n.m.) se apartan de esta tendencia presentando una composición isotópica más cercana a las vertientes de altura, esto sugiere la ubicación de su zona de alimentación en el área altiplánica.

Existe una significativa variabilidad en la calidad de las aguas de las vertientes, lo que refleja la interacción con el subsuelo, principalmente con las rocas volcánicas. En efecto las razones Na/Cl y SO_4/Cl muestran altos valores por lo general sobre la unidad indicando que los aportes salinos no se asocian a procesos evaporativos.

Por su parte los ríos presentan una tendencia similar a la señalada anteriormente, en la que se puede observar un enriquecimiento hacia las zonas más bajas indicando el efecto de la evaporación en la medida en que las aguas recorren el cauce. Los valores característicos del contenido isotópico corresponden a entre -12 y -11 para $\delta^{18}O$ y entre -100 y -90 para δ^2H en la zona altiplánica en tanto que para las zonas de menor altura oscila entre -80 y -70 en $\delta^{18}O$ y, -10 y -8, para δ^2H . El tritio fluctúa entre 1,3 y 3,2 UT, valores que resultan inferiores a los esperados producto de la precipitación, esto indicaría algún grado de interacción con aguas sin contenido de tritio.

Adicionalmente se analizó el caso de crecidas, al respecto es posible advertir que el contenido de sales disminuye ostensiblemente durante las crecidas aunque inicialmente se produce un aumento en la salinidad debido al lavado del suelo en la zona de inundación (Fig. N°4).

Cabe señalar que el contenido isotópico está asociado al contenido de las precipitaciones que lo originan, el que a su vez se vincula a la naturaleza propia de la tormenta y a su localización espacial. En la fig. N° 4 es posible ver que las precipitaciones que las originan se diferencian así como el área aportante se localiza a cotas diferentes, sin embargo se advierte un desplazamiento del contenido isotópico de las crecidas

localizándose entre el flujo base y las precipitaciones que las originan. El exceso de deuterio resulta similar entre las precipitación y la crecida, indicando que los procesos evaporativos no influyen en forma significativamente, este hecho permite además distinguir por sí sólo crecidas de flujo base ya que este último queda caracterizado por valores de "d" significativamente diferentes.

3.- Aguas subterráneas

Los resultados obtenidos en la Pampa del Tamarugal muestran una amplia variabilidad, situación que se relaciona con la existencia de distintas zonas de recarga a lo que adicionalmente se agrega las características propias de un acuífero de grandes dimensiones heterogéneo y discontinuo, con reducidos gradientes, bajas permeabilidades y cierto grado de estratificación.

No obstante lo anterior las aguas se ajustan apropiadamente sobre la recta:

$$\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O}$$

exhibiendo en consecuencia un exceso de deuterio significativamente diferente a las aguas lluvias y vertientes.

Sobre la base de los resultados se distinguen varias zonas (Fig 5) con características diferentes: a) Zona 1 asociada a recargas provenientes desde la quebrada de Aroma hacia el norte; corresponden a los contenidos isotópicos más enriquecidos. b) Zona 2, asociada a recargas producidas entre la quebrada de Tarapacá y quebrada Seca, representa un sistema más complejo por cuanto se interrelacionan procesos de recarga, flujo propio de la napa y flujos a través de sistemas de fallas. En esta zona es posible diferenciar subzonas respecto del tiempo de residencia de las aguas; distinguiendo el subsector Este con fuerte variación (20 a 50 pmC), subsector Central con aguas modernas vinculadas a recargas de la quebrada de Tarapacá y subsector Oeste con aguas muy antiguas (15 a 30 pmC) provenientes del subsector Central e influenciadas por una fuerte evaporación de salares. c) Zona 3, asociada al sector de Pica cuyas aguas se vinculan con recarga desde el sector altiplánico; es posible diferenciar el área de Pica con contenido de C -14 entre 25 y 30 pmC representando tiempo de residencia mayores respecto del sector de Esmeralda-Matilla con valores entre 80 y 100 pmC, estas últimas podrían asociarse a la línea de falla de Matilla. d) Zona 4, correspondiente al sector

terminal donde se emplazan los salares de Pintados y Bellavista, presentando aguas muy antiguas con contenidos de $\delta^{18}O$ -14 menores a 12 pmC e incluso bajo 5 pmC. 5) Zona 5 definida al Salar de Llamara, desconectada de la Pampa del Tamarugal en atención al contenido isotópico ($-3,5-0,6\delta^{18}O/100$ 0-18) y el desnivel existente entre ambos.

IV CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Sobre la base de los resultados obtenidos en diferentes programas desarrollados por la DGA se puede señalar lo siguiente:

- Las precipitaciones se caracterizan por un contenido isotópico que se ajusta a patrones definidos, permitiendo su reconocimiento sobre la base de mediciones isotópicas puntuales.
- Las aguas superficiales pueden caracterizarse a través del contenido isotópico, diferenciando flujo base y vertientes e identificando las áreas de recarga asociadas, así como es posible estimar tiempos de residencia.
- Las crecidas están asociadas directamente a las tormentas que las originan, pudiendo obtenerse información acerca de las áreas de formación y establecer su importancia como mecanismo de recarga.
- En relación a las aguas subterráneas, esta herramienta permite reconocer interrelaciones identificando mecanismos de recarga, así como identificar patrones básicos de movimiento y entregar índices de tiempos de permanencia, para lo cual es necesario complementar con información hidroquímica.

V REFERENCIAS

- 1.- Dirección General de Aguas "Balance Hídrico de Chile" 1987.
- 2.- Salazar, C. "Hidrología del Altiplano Chileno" II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos. U. Chile - U. Tarapacá. 1994.
- 3.- Dirección General de Aguas. "Isotopic and chemical study of the water resources in the Iquique Province". Pub. Int. EH 85/6. 1985.

- 4.- Fuenzalida, H y Rutllant, J. "Estudio sobre origen del vapor de agua que precipita en el invierno altiplánico". Convenio Dirección General de Aguas - Universidad de Chile. 1986.
- 5.- Peña, H. et. al. "Estudio de hidrología isotópica en el área del Salar de Llamara". Actas de Hidrología Isotópica de América Latina. IAEA-TECDOC-502. 1989.

30/22-2/IV Jornadas PHI



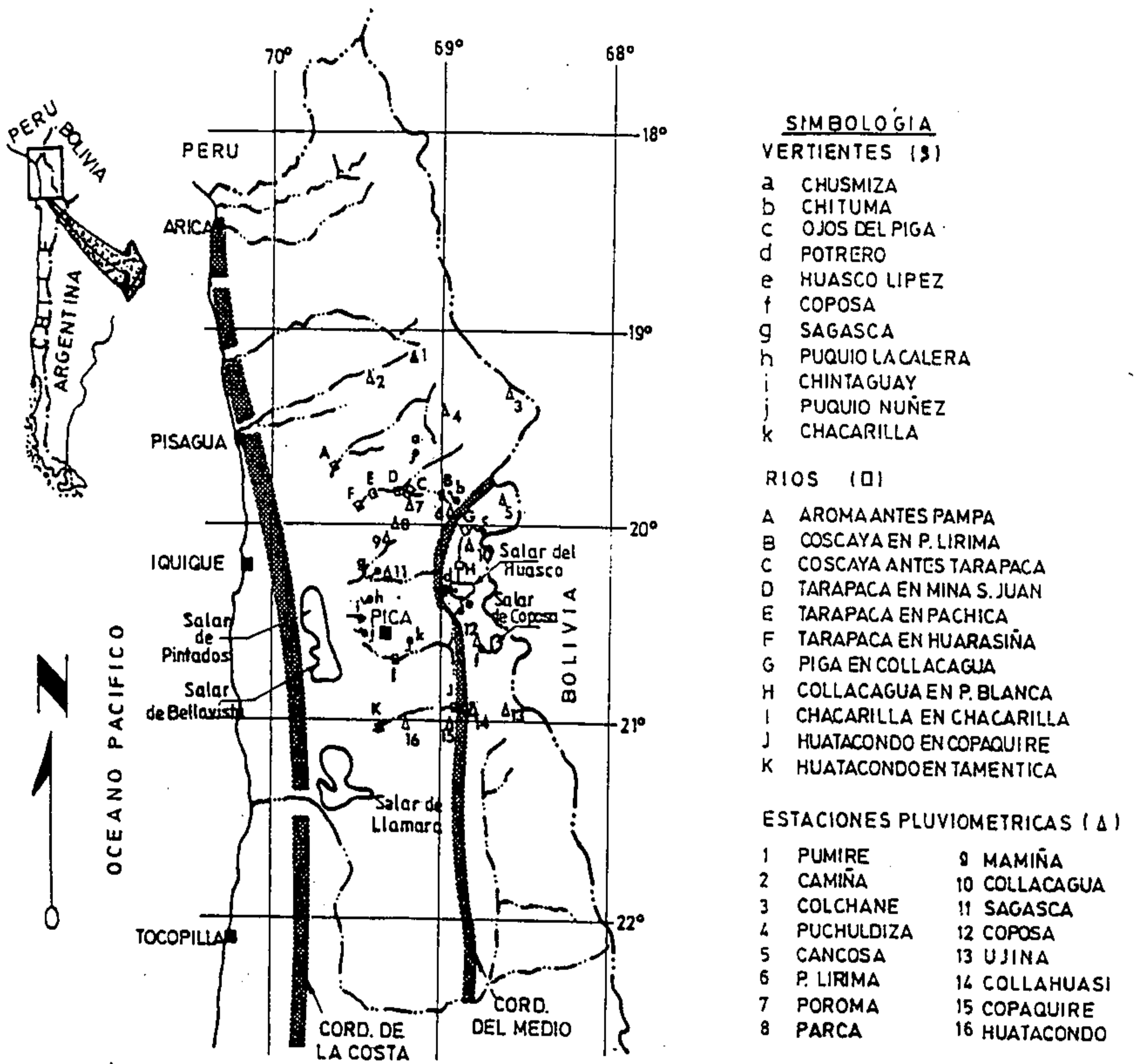


FIG. Nº 1 UBICACIÓN GENERAL

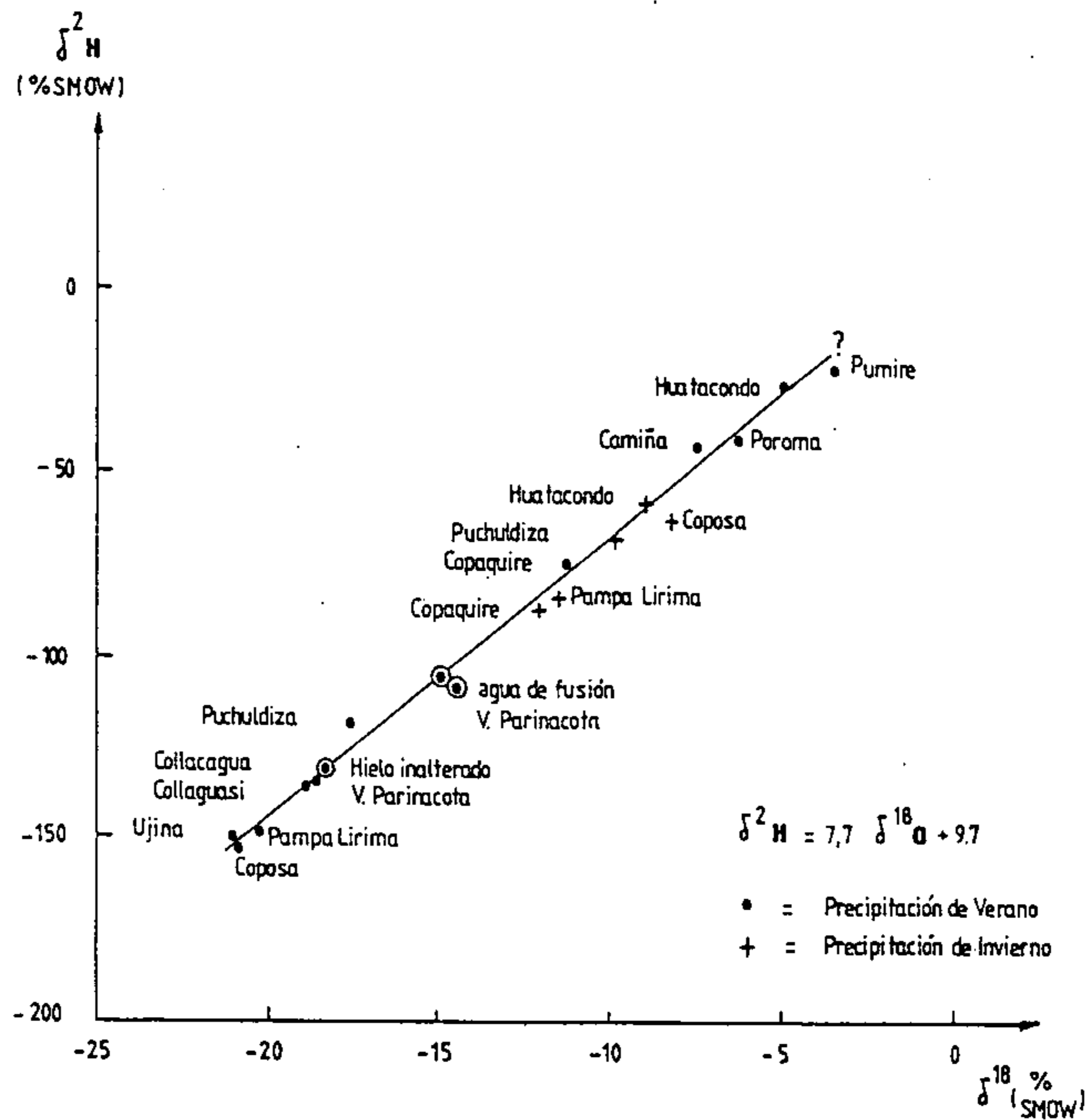


FIG. Nº 2

RECTA METEORICA EVENTOS DE PRECIPITACION 1984

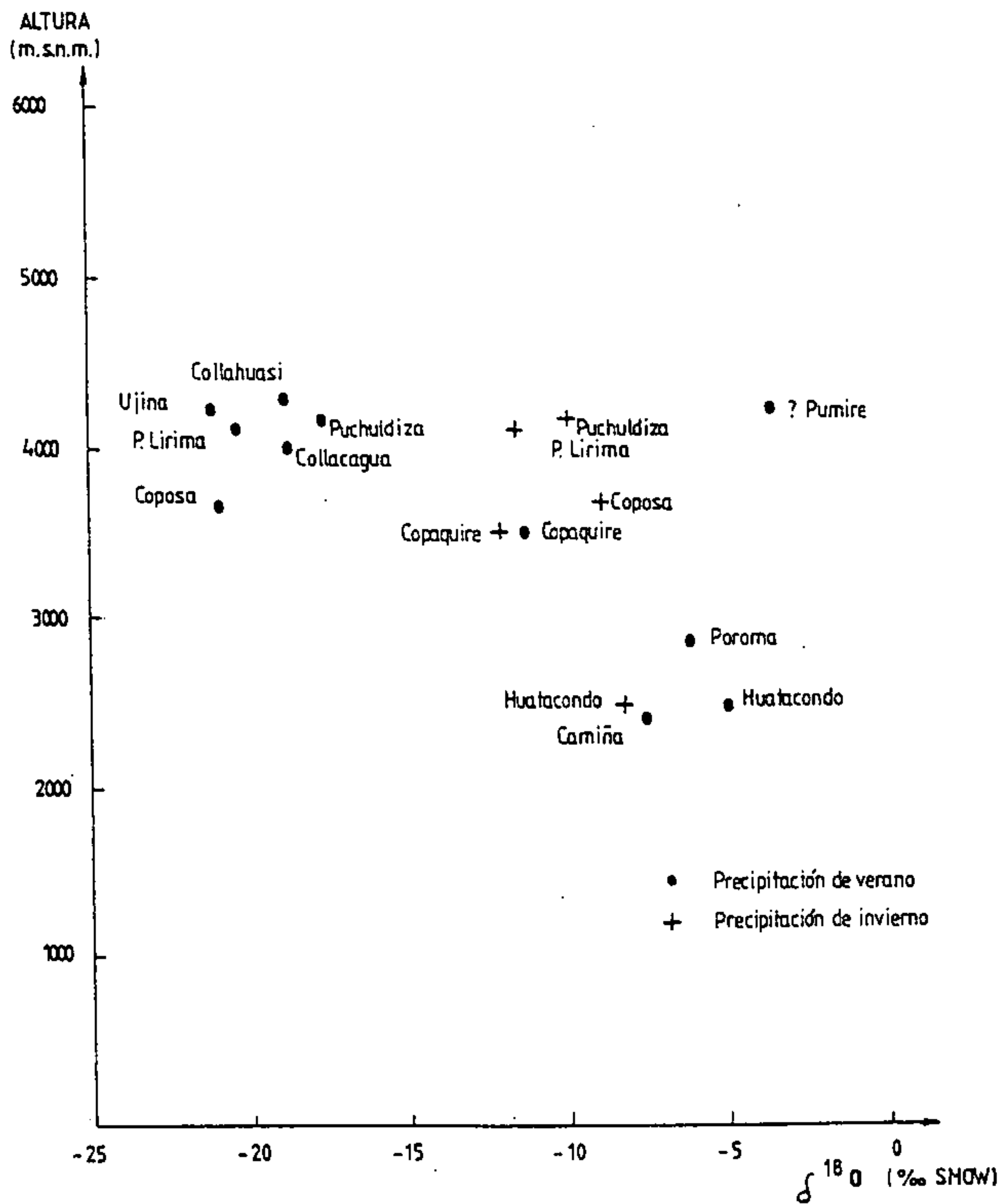


FIG. Nº 3

VARIACION CONTENIDO OXIGENO-18 EN FUNCION DE LA ALTURA

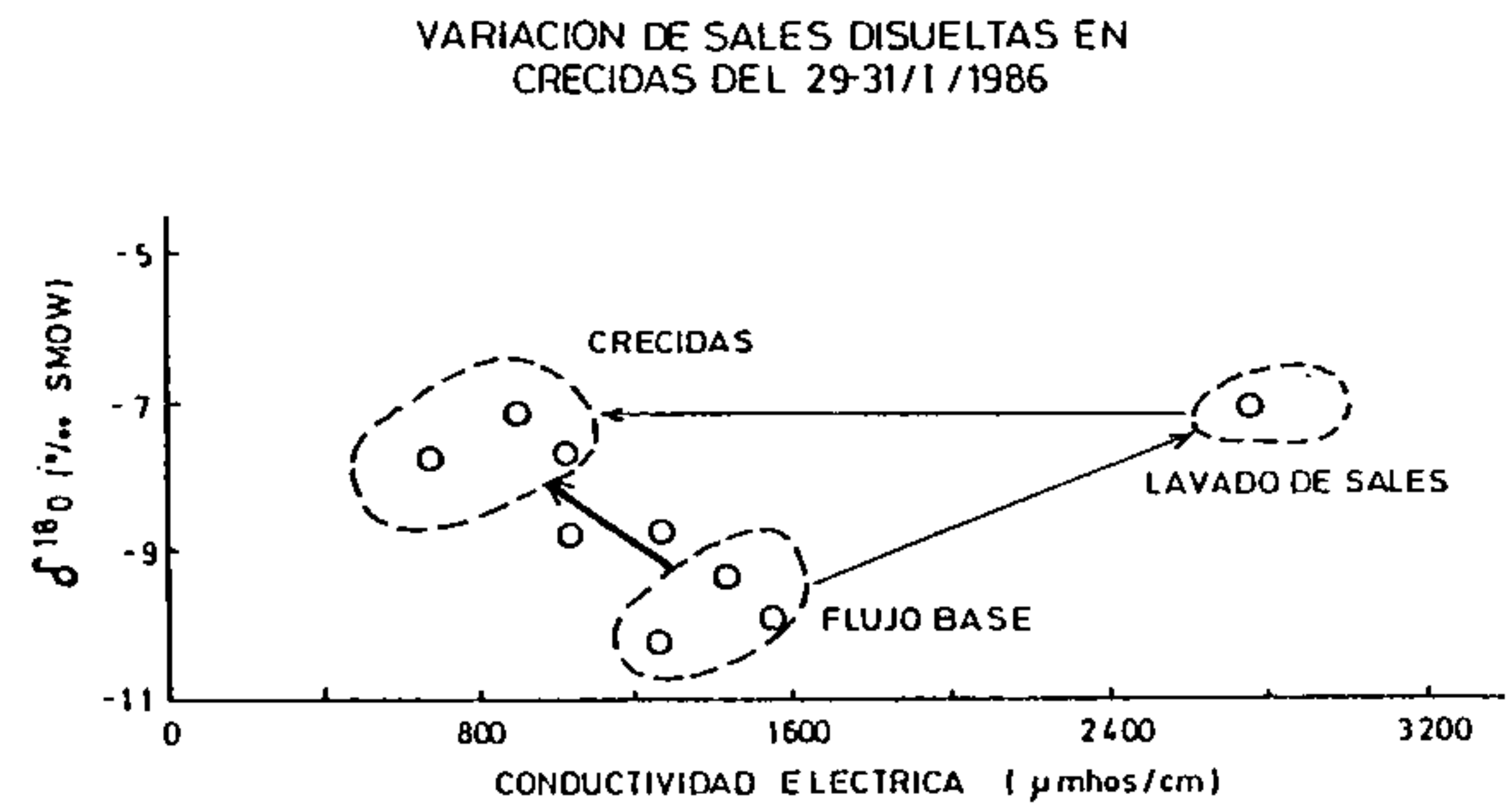
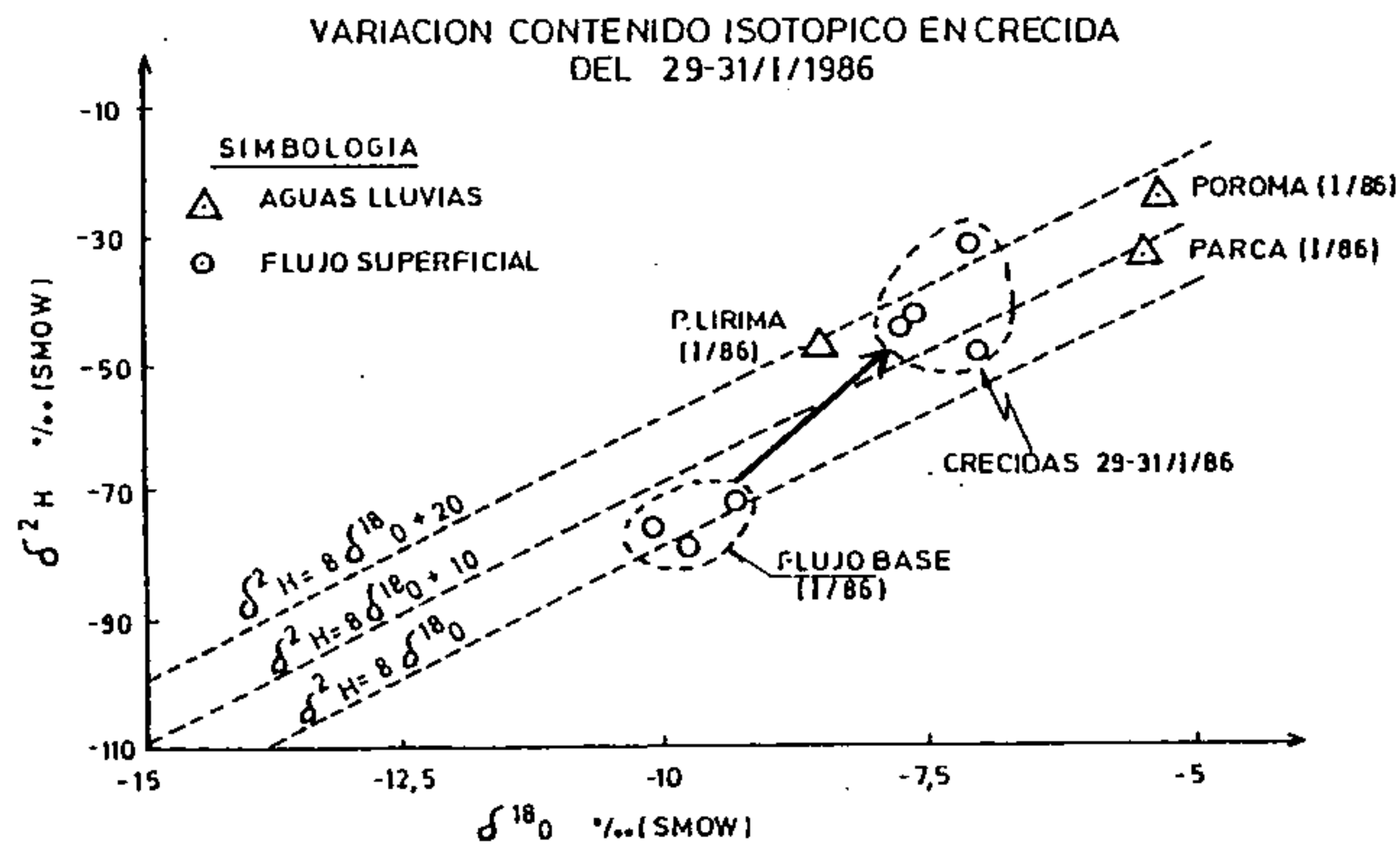
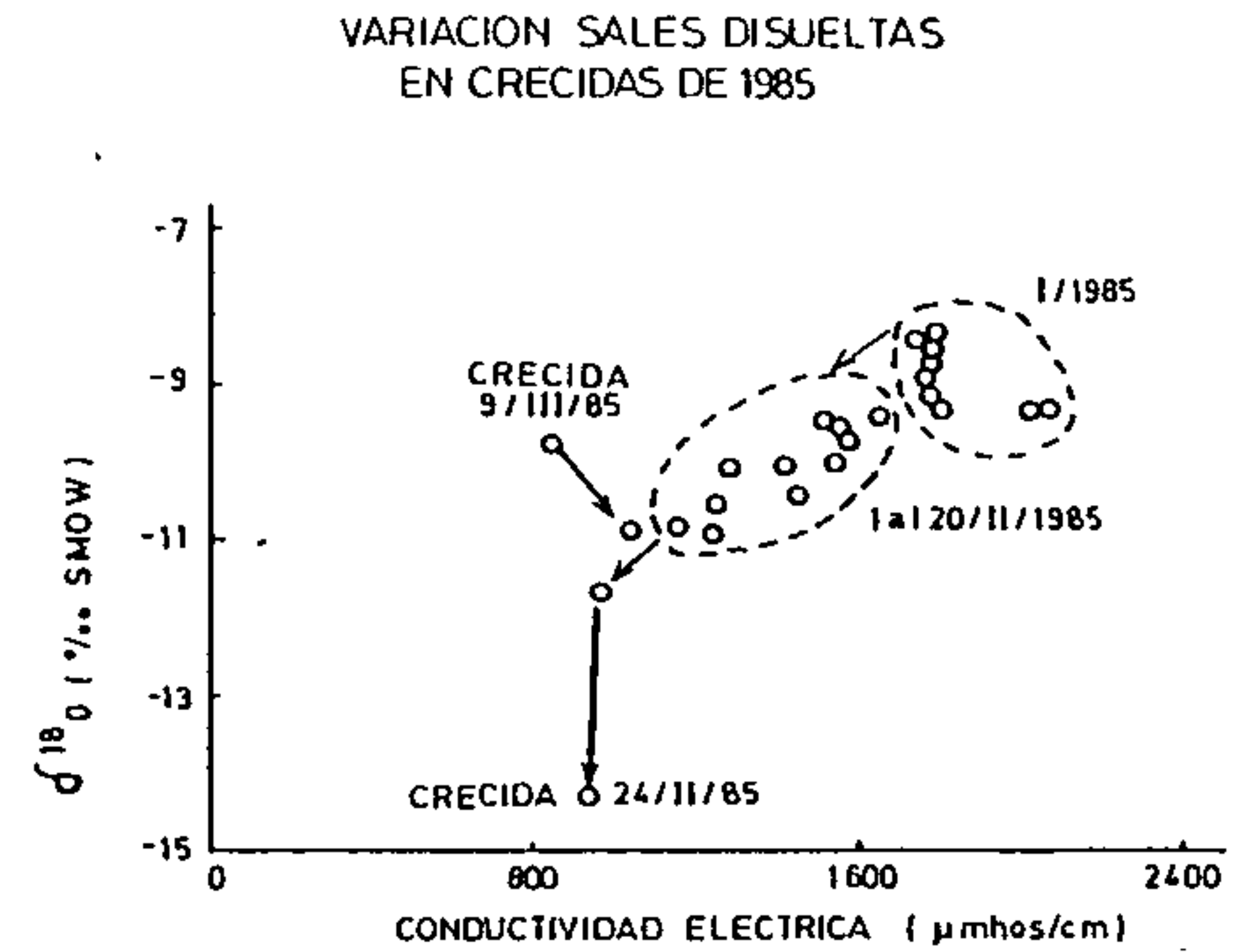
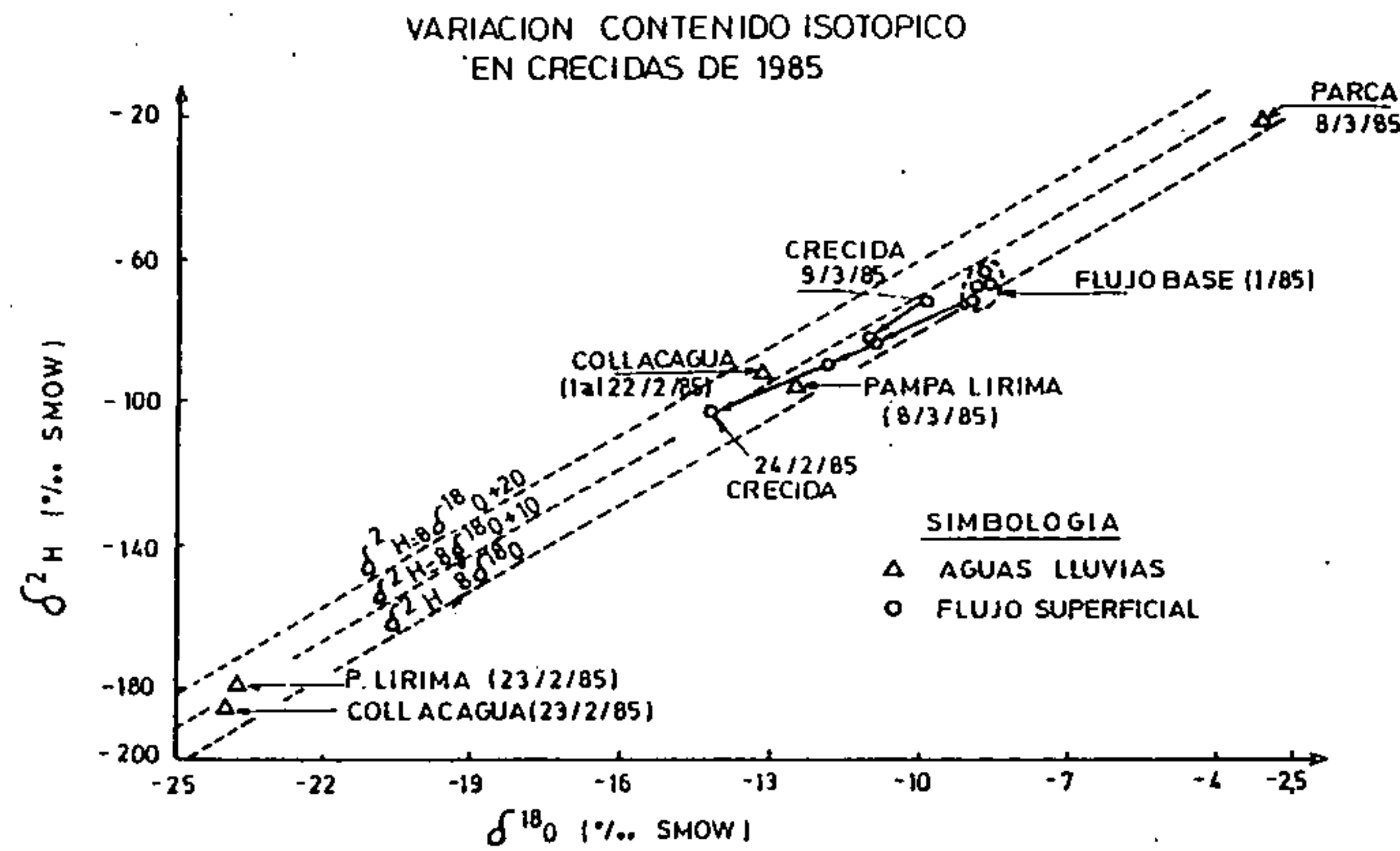


FIG. Nº 4 CRECIDAS MUESTREADAS EN EL RIO TARAPACA EN PACHICA

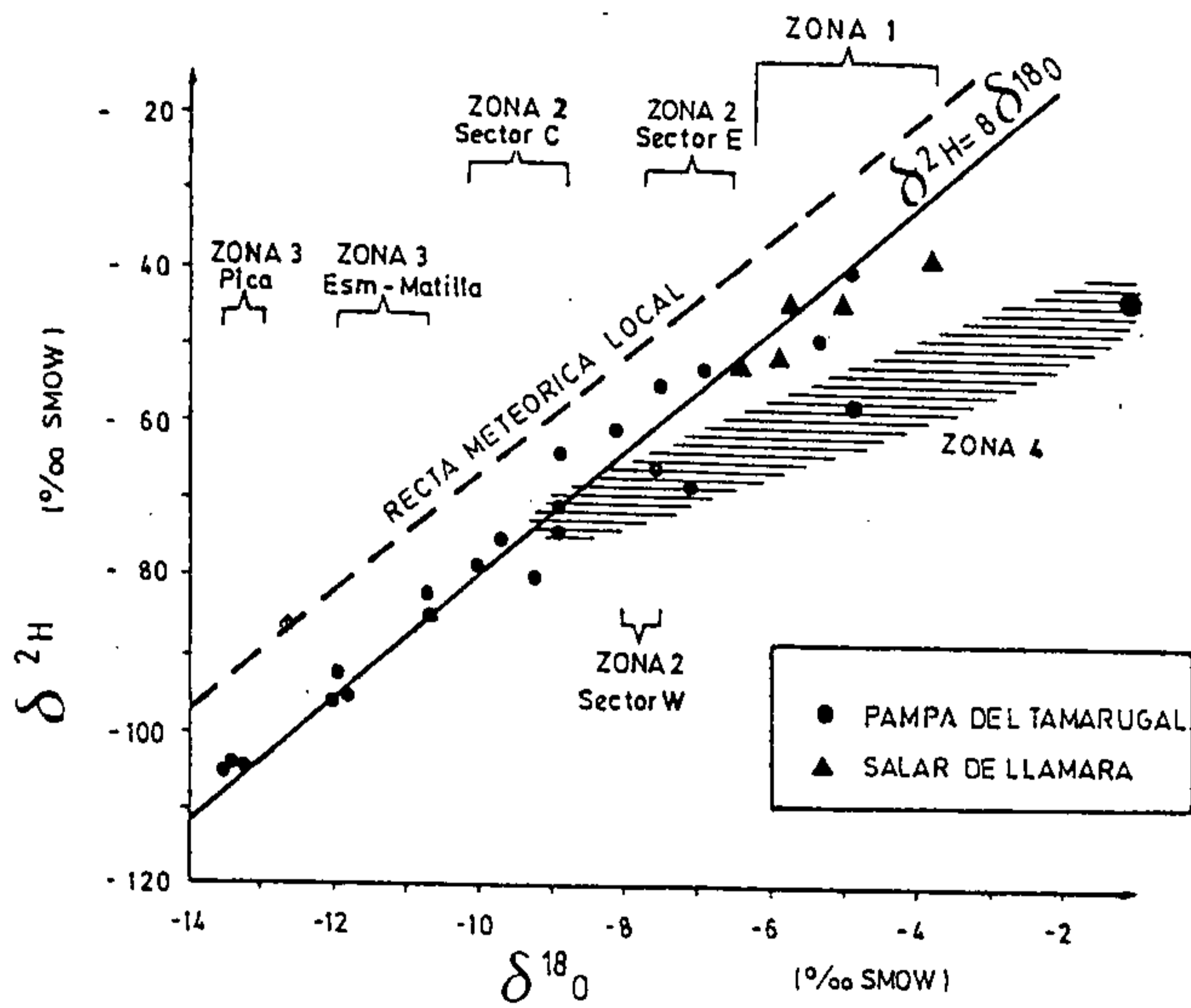


FIG. Nº 5

CONTENIDO ISOTOPICO DEL AGUA SUBTERRANEA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL Y SALAR DE LLAMARA