

## ESTUDIO DE LOS FLUÍDOS HIDROTERMALES ASOCIADOS A LAS MINERALIZACIONES DE FLUORITA. SECTOR CEPITÁ-PESCADERO, MACIZO DE SANTANDER

Mantilla Figueroa, L. C.<sup>1</sup>; Quintero Azaero, C.<sup>1</sup>; Mesa, A.<sup>2</sup>; García Ramírez, C. A.<sup>1</sup>; Bartels, H.<sup>2</sup>

### RESUMEN

Los filones de fluorita localizados en las zonas marginales del Plutón de Pescadero (Macizo de Santander) se formaron en un ambiente epitermal, durante un evento hidrotermal que tuvo lugar en una etapa muy tardía con relación a la formación del plutón. Los análisis microtermométricos en inclusiones fluidas han permitido identificar un fluido compuesto principalmente por  $H_2O+NaCl+CaCl_2$  con temperaturas de homogenización (Th) entre 110 y 130°C, responsable de la formación de estas mineralizaciones. La presencia de componentes orgánicos, identificados principalmente en las microfracturas de las fluoritas, solo puede ser explicable en un contexto de deformación frágil, en donde la red de microfracturas favoreció el descenso de hidrocarburos, generados en las rocas cretácicas suprayacentes, en una etapa tardía con relación a la formación de las fluoritas.

**Palabras Clave:** Fluorita, inclusiones fluidas, hidrocarburos, Macizo de Santander.

### ABSTRACT

The fluorite veins located in the marginal zones of the Pescadero Pluton (Santander Massif) have been formed in an epithermal environment, during a hydrothermal event occurred in a very late stage with respect to the formation of the pluton. The microthermometric analyses in fluid inclusions have let to identify a fluid mainly composed by  $H_2O+NaCl+CaCl_2$ , with homogenization temperatures (Th) between 110 and 130°C, which is responsible of the formation of these mineralizations. The presence of organic compounds, identified principally along microfractures in the fluorites, only can be explained in a fragile deformation context, where the microfractures net favored the descense of hydrocarbons generated in the overlying Cretacic rocks, at a late stage with respect to the formation of the fluorites.

**Keywords:** Fluorite, fluid inclusions, hydrocarbons, Santander Massif.

<sup>1</sup>Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander, A. A. 678 Bucaramanga. Correo electrónico: lcmantil@uis.edu.co

<sup>2</sup>Instituto Colombiano del Petróleo. ICP. Piedecuesta (S. S).

## INTRODUCCIÓN

Los Depósitos de Fluorita en el Macizo de Santander se reportan principalmente en su flanco este, en áreas de los Municipios de Cepitá, Los Santos, y Piedecuesta (en los corregimientos de Pescadero y Umpalá).

La fluorita se presenta en filones con espesores entre 0.05 y 1.2 m. La continuidad de estos filones con estructura en forma de 'rosario' superan en ocasiones los 60 m. Especialmente, estos filones se encuentran asociados a las zonas marginales del Granito de Pescadero (de edad Triásico-Jurásico), en donde éste se pone en contacto discordante con la Formación Silgará (FIGURA 1).

Los pocos estudios realizados sobre estas mineralizaciones han abordado principalmente sus características mineralógicas y estructurales (Willms, 1982; Rey y Sierra, 1991), y nunca se habían estudiado las características microtermométricas de los fluidos mineralizadores. Este último aspecto de gran utilidad para identificar los mecanismos genéticos involucrados en la formación de estos depósitos.

Según la información geológica del área de trabajo, se sugieren dos posibles modelos de génesis para estos depósitos: (1) modelo hidrotermal tardío- a postmagmático (Rey y Sierra, 1991) y (2) modelo hidrotermal no magmático (Willms, 1982). En el primer caso, las soluciones hidrotermales corresponderían a fluidos exsueles por el granito en los últimos estadios de su cristalización magmática; y en el segundo caso, los fluidos hidrotermales serían ajenos a la historia de cristalización del magma granítico.

El objetivo principal de este trabajo es aportar nueva información sobre los distintos fluidos identificados en las fluoritas de las minas 'Palestina' y 'El Llanito' (ver FIGURA 1), con la finalidad de entender mejor su formación y evolución.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

Los filones de fluorita estudiados en el presente trabajo generalmente se encuentran asociados a una alteración muy intensa que sufre el granito de Pescadero, principalmente hacia los bordes del mismo. Junto con esta alteración (sericitización), fácilmente identificable en campo por sus tonalidades blancas, la roca presenta un aspecto poco consolidado, debido a la fragmentación de la misma, a consecuencia de la superposición de distintas familias de diaclasamiento.

Según Willms (1982), los filones de fluorita están asociados a fallas menores de rumbo con direcciones E-W y NW-SE.

Los filones presentan fundamentalmente texturas crustiformes, aunque en ocasiones se ha observado en forma de brechas con texturas crustiformes entorno a clastos de fluorita.

Según Rey y Sierra (1990), los constituyentes principales de estos filones son cuarzo blanco lechoso a grisáceo, fluorita de color violeta y verdosa a gris pálido, barita, calcita, y algunos intercrecimientos ocasionales de galena.

## MÉTODOS ANALÍTICOS

### *Estudio de Inclusiones Fluidas (IF)*

La caracterización microtermométrica de las IF se realizó en el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), utilizando una platina Calentadora/Refrigeradora tipo USGS, calibrada con patrones de inclusiones fluidas sintéticas suministradas por SYN FLINC, Inc. Los patrones utilizados y sus correspondientes temperaturas eutécticas fueron: H<sub>2</sub>O (0.0°C), H<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>Cl (-10.7°C), H<sub>2</sub>O+NaCl (-21.2°C) y H<sub>2</sub>O+CO<sub>2</sub> (-56.6). La precisión en las mediciones es de ±0.2°C para procesos de enfriamientos y ±2°C para procesos de calentamiento.

### *Geoquímica del Calcio*

Estos estudios se realizaron en el laboratorio de Espectroscopía del ICP, con un Espectrómetro de Absorción Atómica tipo Perkin Elmer 5100 pc.

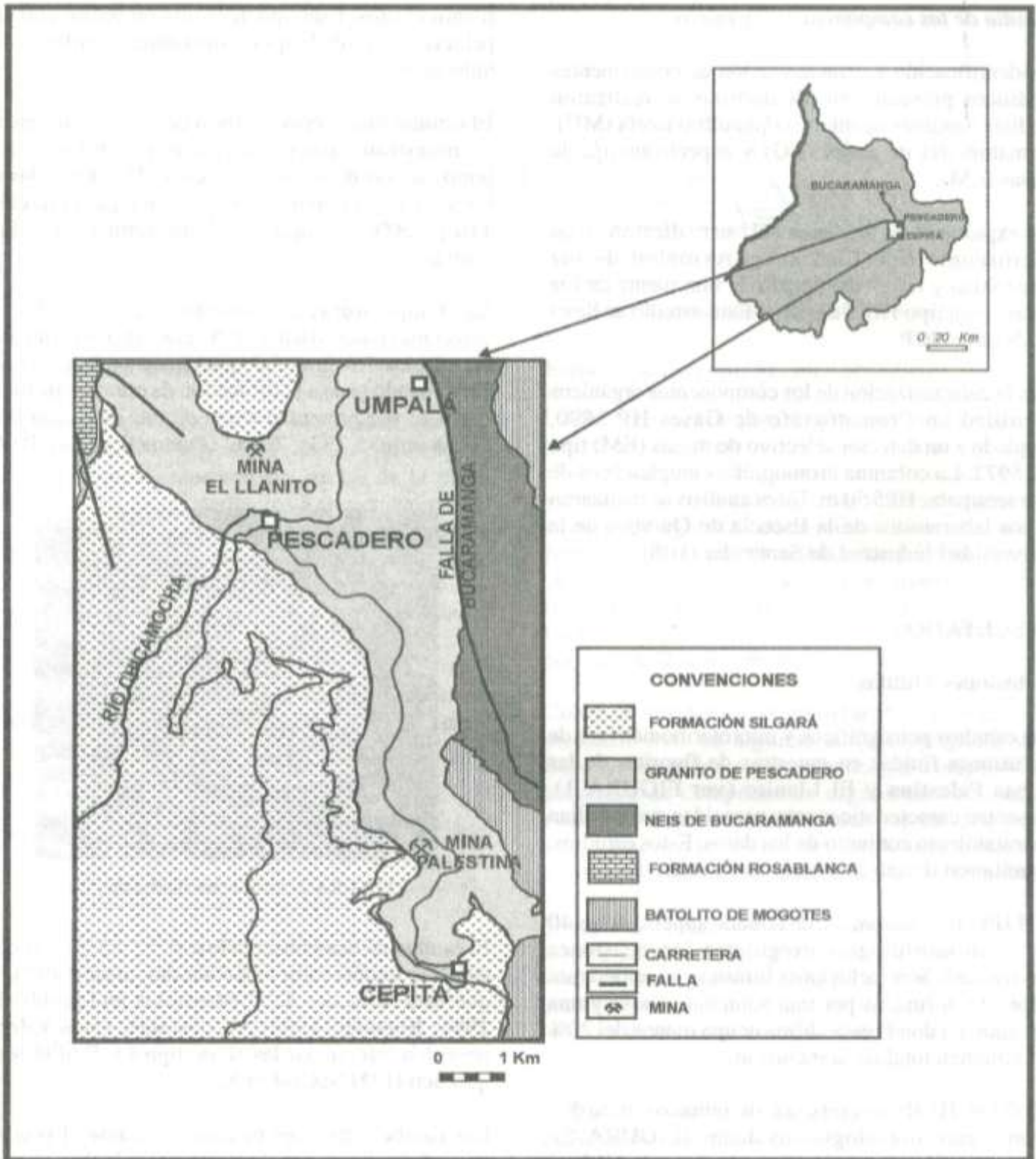


FIGURA 1. Localización del área de estudio.

### *Estudio de los componentes orgánicos*

La identificación y caracterización de componentes orgánicos presentes en las fluoritas se realizaron mediante análisis de microscopía ultravioleta (MU), cromatografía de gases (CG) y espectrometría de masas (EM).

Las exploraciones mediante MU se realizaron en un microscopio tipo Carl Zeiss-Axiophot de luz transmitida y reflejada, dotado de una fuente de luz ultravioleta tipo HBO de 50 w. Este estudio se llevó a cabo en el ICP.

Para la caracterización de los componentes orgánicos se utilizó un Cromatógrafo de Gases HP 5890, acoplado a un detector selectivo de masas (EM) tipo HP 5972. La columna cromatográfica empleada es de tipo semipolar HP5 50 m. Estos análisis se realizaron en los laboratorios de la Escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

## RESULTADOS

### Inclusiones Fluidas

Los estudios petrográficos y microtermométricos de inclusiones fluidas en muestras de fluoritas de las Minas Palestina y El Llanito (ver FIGURA 1), presentan características muy parecidas que facilitan un tratamiento conjunto de los datos. Estos estudios, permitieron definir dos familias distintas de IF.

**IF TIPO I:** IF primarias, de tamaño superior a los 40  $\mu$ m, con morfologías irregulares (en ocasiones dendríticas). Son inclusiones bifásicas a temperatura ambiente, formadas por una solución acuosa y una de vapor, en donde esta última ocupa menos del 20% del volumen total de la inclusión.

**IF TIPO II:** IF secundarias, de tamaños entre 5 y 30  $\mu$ m, con morfologías ovaladas (FIGURA 2). Aunque su carácter de secundario se establece perfectamente en los clastos de fluorita, no se descarta su carácter primario, especialmente en aquellos sectores con textura crustiforme que engloban a

dichos clastos. Este tipo de IF son bifásicas, con una relación líquido/vapor constante, similar a las anteriores.

El estudio microtermométrico en ambas familias de IF muestran características muy similares. Las temperaturas de homogenización ( $T_h$ ) obtenidas en ambos casos cubren un rango de temperatura entre 110 y 130°C, siempre con homogenización a fase líquida.

Las temperaturas de comienzo de fusión fueron detectadas entorno a los -45°C gracias a la formación de un mosaico granular que desaparece a -21 y -23°C, dando paso a la formación de cristales de hielo, que a su vez presentan temperaturas de fusión final ( $T_{mi}$ ) entre -5.3°C y -6.5°C (Puntos B y C, FIGURA 3).

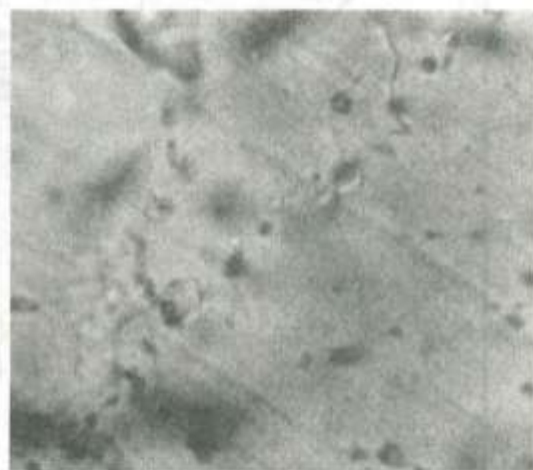


FIGURA 2. Inclusiones fluidas tipo II.

El cambio de fases observado a -45°C no se considera como la temperatura eutéctica del sistema ( $T_e$ ), ya que esta sería de -52°C (Reynolds and Goldstein, 1994; Roedder, 1984). No obstante, estos valores permiten referenciar las IF de tipo I y II al sistema químico  $H_2O+NaCl+CaCl_2$ .

Los cambios de fases ocurridos durante el proceso crioscópico permiten estimar una relación en peso de  $NaCl/NaCl+CaCl_2$  aproximadamente de 0.78, para un contenido de sales en el sistema entorno a 12 % en peso de  $NaCl+CaCl_2$  (FIGURA 3).

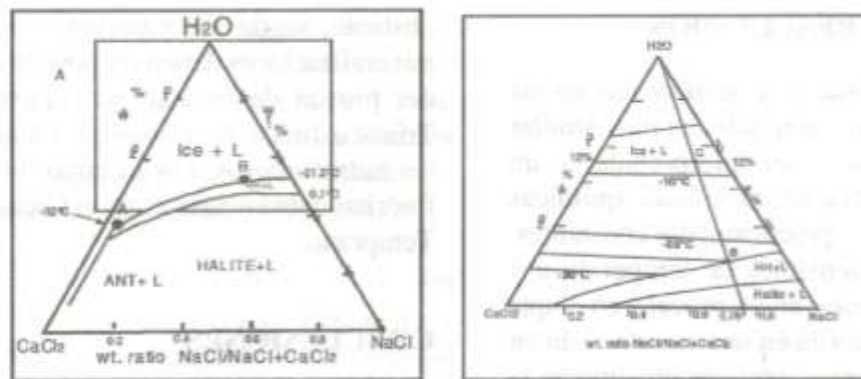


FIGURA 3. Diagrama de fases para el sistema H<sub>2</sub>O+NaCl+CaCl<sub>2</sub> (modificado de Reynolds and Goldstein, 1994).

### Geoquímica del Calcio

Con el propósito de conocer la procedencia del Ca que participó en la formación de las fluoritas, se estudiaron algunas muestras del sector de la mina 'Palestina'. Para ello, mediante un espectrómetro de absorción atómica se analizó el contenido de Ca, tanto en las zonas marginales del granito de Pescadero sin una alteración evidente (zona 1), como en las inmediaciones de las venas con fluorita, donde la alteración es muy marcada (zona 2).

Los resultados obtenidos, mostraron que la zona 1 presenta un contenido de Ca entorno a los 835 ppm mientras que la zona 2 presenta valores de 52-53 ppm en promedio.

El empobrecimiento en Ca en la zona alterada entorno a los depósitos de fluorita solo puede ser interpretada como producida por una fuerte interacción fluido-roca.

Los fluidos que participaron en este proceso fueron responsables de la extracción del Ca, en su mayoría presente en las plagioclasas, y de su transporte hacia las cavidades donde precipitaría la fluorita. En este mismo fenómeno seguramente estuvo involucrado el fluor presente en el granito, principalmente en las fases de filosilicatos.

### Estudio de los componentes orgánicos

La presencia de componentes orgánicos en los filones con fluorita, parecía ser un hecho a descartar desde el comienzo, por tratarse de un contexto ígneo-metamórfico. Sin embargo, se realizaron algunos análisis de fluoritas de la mina Palestina, con el propósito de establecer o descartar posibles vías de circulación de fluidos, que pudieran comunicarse con los niveles sedimentarios (principalmente del Cretácico), que actualmente afloran unos 700 metros por encima de estas mineralizaciones.

Con este propósito se realizaron exploraciones mediante MU en algunas láminas delgadas con fluorita. En todas estas muestras se comprobó la presencia de componentes orgánicos, confinados exclusivamente a microfracturas y a los pequeños espacios formados entre cristales. Nunca se observó efectos de fluorescencia en las inclusiones fluidas.

Los análisis realizados mediante CG en fluoritas de la mina de Palestina, confirmaron la presencia de los componentes orgánicos. Los picos obtenidos en los cromatogramas, en la región de los 62, 68 y 76 min. (valores teóricos, según Mac Nair, 1981), indicaban la presencia de hidrocarburos pesados.

Mediante un detector selectivo de masas (EM) se pudo establecer que los hidrocarburos encontrados son de los tipos: Isopropyl Myristate, Ácido Palmítico (ácido hexadecanoico, ácido cetílico), 1-Octadecanol, Naftaleno, Ácido Propenoico y Ácido Octadecanoico.

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La presencia de IF primarias y secundarias en las fluoritas, con una composición química muy similar ( $H_2O+NaCl+CaCl_2$ ), puede ser interpretada en un contexto en el que las condiciones físico-químicas del medio permanecieron prácticamente constantes. Es decir, sin cambios sensibles de temperatura y quimismo de las soluciones, en un proceso en el que continúa formándose fluorita en una cavidad aún en apertura. Este hecho, parece explicar igualmente la presencia de clastos o brechas de fluorita con texturas crustiformes entorno a dichos clastos.

La formación de las fluoritas en el Macizo de Santander podría ser indicador del último evento hidrotermal registrable en el macizo, al menos en el sector Cepitá-Pescadero, tal como lo indican los recientes datos microtermométricos obtenidos en venas hidrotermales de la Formación Silgará (ver trabajo de Mantilla y otros en este número).

Tomando como referencia las Th de las IF es posible sugerir que la formación de las fluoritas pudo haber ocurrido a una profundidad máxima de 3.5 a 4 km, suponiendo un gradiente geotérmico de  $35^{\circ}C$  y equilibrio térmico entre el fluido y la roca caja.

La presencia de componentes orgánicos confinados exclusivamente a las microfracturas y bordes de cristales, muestra claramente que en una etapa muy tardía, respecto a la formación de las fluoritas, este sector se vió afectado por la circulación de hidrocarburos, que debieron escapar de los niveles sedimentarios suprayacentes (posiblemente de rocas cretácicas -Formación Rosablanca?), y que en su momento debieron estar a unos 700 metros por encima de los actuales depósitos de fluorita estudiados.

Esta circulación descendente de hidrocarburos puede ser explicada en un contexto de deformación frágil, en donde la red de microfracturas, generadas posiblemente durante la fase de deformación andina, condicionaron un sistema abierto.

La falta de datos geocronológicos ha impedido precisar la edad de formación de las fluoritas. No

obstante, según los aspectos aquí señalados, estas mineralizaciones deben ser posteriores a la formación del plutón de Pescadero (considerado de edad Triásico-Jurásico), y anteriores a la incorporación de los hidrocarburos. Por lo tanto, la formación de las fluoritas debió ocurrir entre el Cretácico y el Terciario Temprano.

## CONCLUSIONES

Los filones de fluorita en el área Cepitá-Pescadero son el resultado de una alteración hidrotermal que se impuso sobre el granito de Pescadero, principalmente en algunos puntos de sus zonas marginales. Estas soluciones hidrotermales no guardan relación directa con procesos tardíos de pudieron ocurrir durante las etapas finales de cristalización del Granito de Pescadero.

El fluido a partir del cual precipitó la fluorita corresponde a un fluido acuoso con  $NaCl+CaCl_2$  como sales disueltas.

El empobrecimiento en Ca en el granito, observado en las inmediaciones de los filones, sugiere que tanto el Ca como el F de las fluoritas proceden del granito de Pescadero.

La presencia de hidrocarburos en las fluoritas es el resultado de una migración descendente de fluidos, que posiblemente se generaron en rocas sedimentarias cretácicas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan un profundo agradecimiento a los Geólogos Cesar Mora y José Ignacio Moreno, del ICP y a la Doctora Elena Stashenko de la Escuela de Química de la UIS, tanto por el apoyo prestado para el análisis de muestras, como por sus valiosos comentarios.

Este trabajo ha sido financiado por la Dirección General de Investigaciones de la Universidad Industrial de Santander y por el Instituto Colombiano del Petróleo, a través del proyecto codificado como 5401 y 13040-E94007, respectivamente.

## REFERENCIAS

Mac Nair, M. H. (1981). Cromatografía de Gases. Secretaría general de la organización de los Estados Americanos. Programa regional de desarrollo científico y tecnológico (Washington), pp. 1-4.

Rey, J. et al. (1991). Mineralogénesis de los Yacimientos de fluorita en las minas Pescadero y Palestinas Santander. Tesis de Grado, Universidad Industrial de Santander (Bucaramanga), p. 150.

Reynolds, J. et al. (1994). Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. Semp short course, Vol. 31, PM (Society for Sedimentary Geology).

Roedder, E. (1984). Fluid Inclusions. Mineralogical Society of América, Reviews in Mineralogy, Vol 12, p. 644.

Willms, J., (1982). Barita y Fluorita en la Mesa de los Santos y Pescadero, Santander. Informe No. 1881, Ingeominas, p. 32.

---

*Trabajo recibido: agosto 3 de 2001*

*Trabajo aceptado: agosto 22 de 2001*