

LLALLAGUA – CERRO DE PASCO  
UN ESTUDIO TECTONICO COMPARADO  
Y SUS CONSECUENCIAS PARA  
LA METALOGENESIS ANDINA

C. Barragán\*

RESUMEN

El artículo efectúa un resumen del emplazamiento tectónico del yacimiento estannífero de Llallagua, poniendo énfasis en las fallas de desgarre de Uncía, Stanton Díaz, y Kalla Cruz, como líneas fundamentales causantes de la actual ubicación del yacimiento. Se mencionan ejemplos similares en otras partes de Bolivia. Se retoman los actuales datos estructurales y tectónicos del yacimiento de Cerro de Pasco en Perú, revisando la posible naturaleza de los sistemas de fallas presentes. Se hace notar la excepcional conformación de las estructuras al Este del distrito, tales como: Sinclinal Matagente, estructura domal de Patarcocha y otras, que evidencian que la zona representa un lugar de acuñamiento producido probablemente, a lo largo de la denominada falla "longitudinal" u otra línea semejante y que, junto con los sistemas de vetas presentes, configuran un modelo tectónico típico común a lo largo de los Andes en general. Se sugiere un modelo ciclónico de evolución de las principales zonas de mineralización andinas y las consecuencias que el fenómeno puede tener en la ubicación de nuevas zonas de metalización.

\* Consultor Privado - Bolivia.

## INTRODUCCION

Cuando un profesional minero visita un país extranjero, la primera inquietud que posee es la de conocer y tener una experiencia directa con lo más sobresaliente de los yacimientos minerales existentes. Por ello, tal como lo hicieron muchos colegas que han visitado este país, me impuse la tarea de conocer personalmente el clásico yacimiento de Cerro de Pasco, un "coloso" de la mineralización andina.

Al estudiar con detalle la geología de este distrito no pude menos que establecer comparaciones con otro coloso de los Andes: el yacimiento estannífero de Llallagua en Bolivia, surgiendo de ello algunas ideas que las resume en el presente trabajo.

Sin embargo, más que conclusiones, lo que se anota aquí son sugerencias o líneas de investigación ya que un estudio de la presente naturaleza exige el concurso de un equipo de profesionales y, sobre todo, el interés directo de las Instituciones respectivas de cada país que pudieran financiar una investigación detallada. Por consiguiente se plantea la posibilidad de un modelo que deberá ser perfeccionado o, en su caso, desestimado.

## LLALLAGUA

Este yacimiento ubicado en la provincia Bustillos del departamento de Potosí ha sido tomado en primer lugar debido a que muestra con mayor claridad las relaciones que se pretende poner en relieve.

Este depósito ha sido objeto de estudio por parte de numerosos autores, pero resaltan para el caso presente los estudios de Tourneure y de Moore.

Tourneure (1960), en su análisis tectónico explica el surgimiento de los sistemas de vetas presentes como resultado de los esfuerzos comprensivos de dirección NW - SE y que se evidencian por la existencia de fallas de desgarre Uncía, Stanton - Díaz y Kala Cruz.

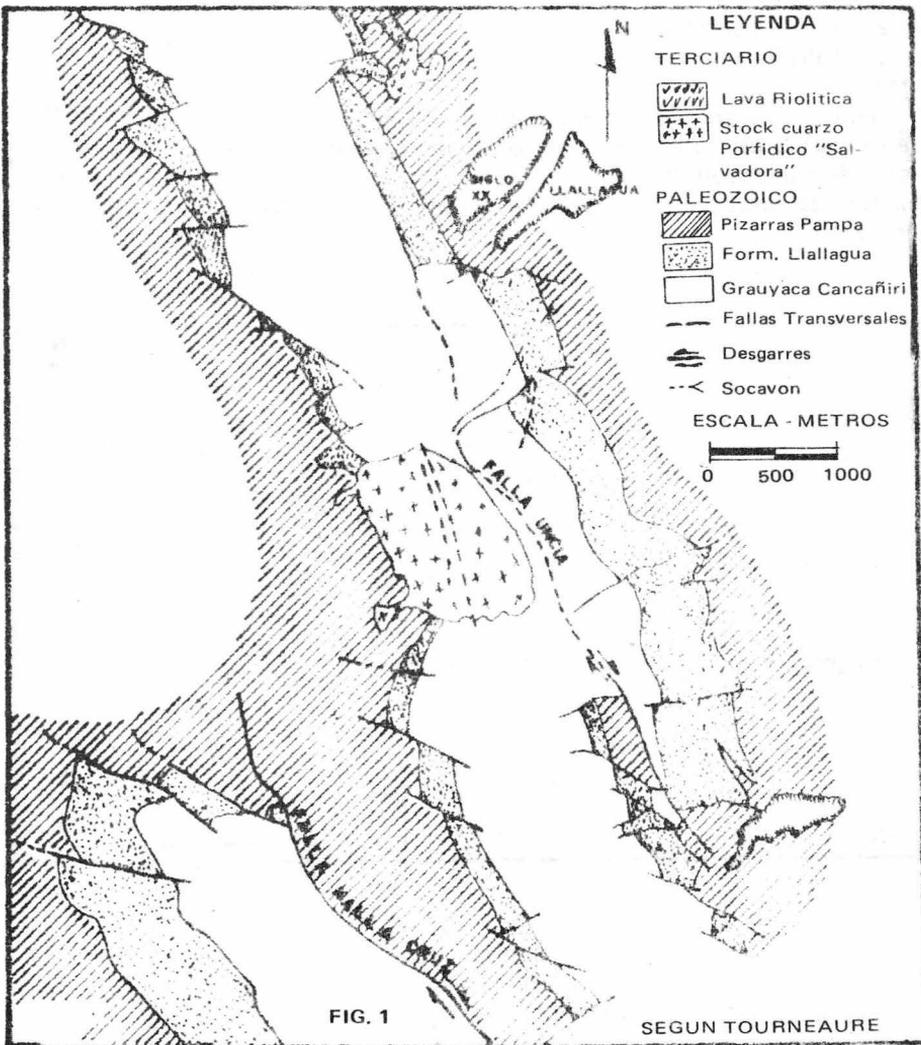
En Llallagua sobresale el cuerpo intrusivo La Salvadora. Es dentro del stock que se presenta lo fundamental de la mineralización distribuida en tres sistemas de vetas: 1) N 55° E 2) N 30° E y 3) N 06° E. Es llamativa la diferente distribución de las vetas en los dos bloques E y W en que queda dividido el Stock por la falla Stanton - Díaz, así como la existencia de un buzamiento variable al Este u Oeste para el primer sistema.

En la explicación dada, se supone que existen dos estados fundamentales de fracturamiento: En el primero, se habría producido el sistema N 55° E/70 al E u W que es interpretado como producido por el relajamiento de la compresión y posterior acción de la gravedad. En el segundo, existiría una reactivación de la compresión submeridiana (NW - SE) para producir fracturas de cizalla N 30° E y posteriormente por cambio en la orientación de los esfuerzos N 06° E.

La explicación sobre el origen de los sistemas de vetas presentes es bastante coherente, pero no así el lugar de emplazamiento del stock ya que Tourneure defiende la idea de que las líneas tectónicas Uncía, Stanton - Díaz y Kala Cruz serían posteriores a su emplazamiento y, por lo tanto, ambos fenómenos, - magmatismo y fracturamiento -, no adjudicables a un mismo mecanismo evolutivo de todo el yacimiento.

De esta manera, no resulta comprensible la actual ubicación del propio stock en su actual emplazamiento ya que vendría a ocupar un punto en el eje de un anticlinal que, en el momento de la intrusión, no se diferenciaba en nada de muchos otros situados al Sur o al Norte, donde también podría haberse producido al ascenso del magma.

En los yacimientos bolivianos está comprobado que los stocks van transformándose en profundidad en diques y es probable que éstos hayan aprovechado fallas para su emplazamiento, por lo que es más lógico suponer que los esfuerzos NW-SE compresionales hayan actuado incluso antes de la intrusión del stock, por lo que la intrusión misma formaría parte del mismo mecanismo. Por otra parte la ubicación del stock en la prolongación del "decrochement dextre" de Uncía, tal como lo demuestran los planos superficiales mas perfeccionados (fig. 1), es un argumento suficiente para asignarle una edad pre-stock.

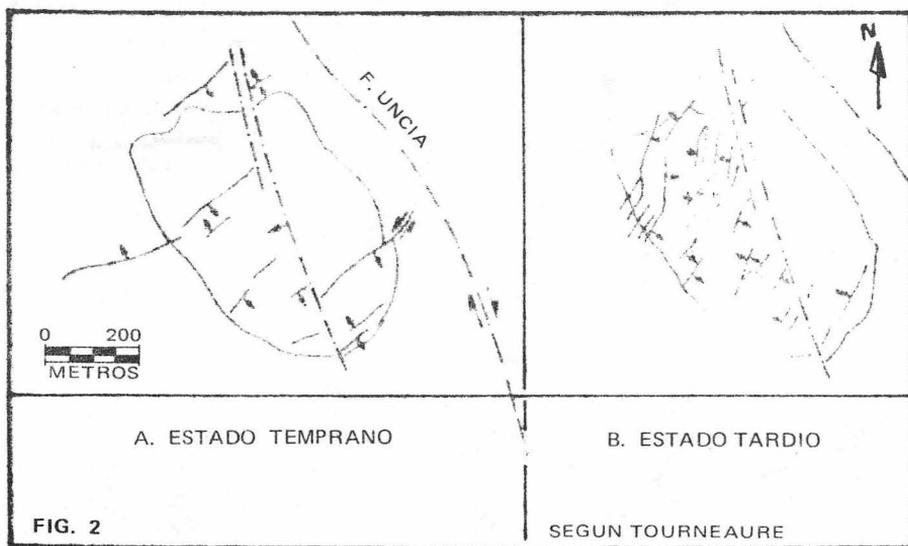


Según mi opinión, el magma aprovechó justamente la parte del acúñamiento de la falla para intruir como lo hizo y no en el núcleo del anticlinal como generalmente se piensa. Aquí se produjo seguramente una zona de trituración altamente permeable que inmediatamente después de la primera distensión que siguió a la ruptura, dió paso al ascenso del magma cuarzo - latítico y el englobamiento de una serie de zonas brechadas que mas tarde formarían los "black por phyry dikes".

La acción de estos esfuerzos compresivos NW - SE se produjo en varias fases. Es de suponer entonces que los esfuerzos se vayan desplazando de manera que las líneas vayan disminuyendo en edad del NE hacia el SW, lo que daría por resultado que el orden de su aparición haya sido:

- 1.- Falla Uncía
- 2.- Falla Sistema Stanton - Díaz
- 3.- Falla Kala Cruz

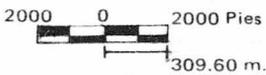
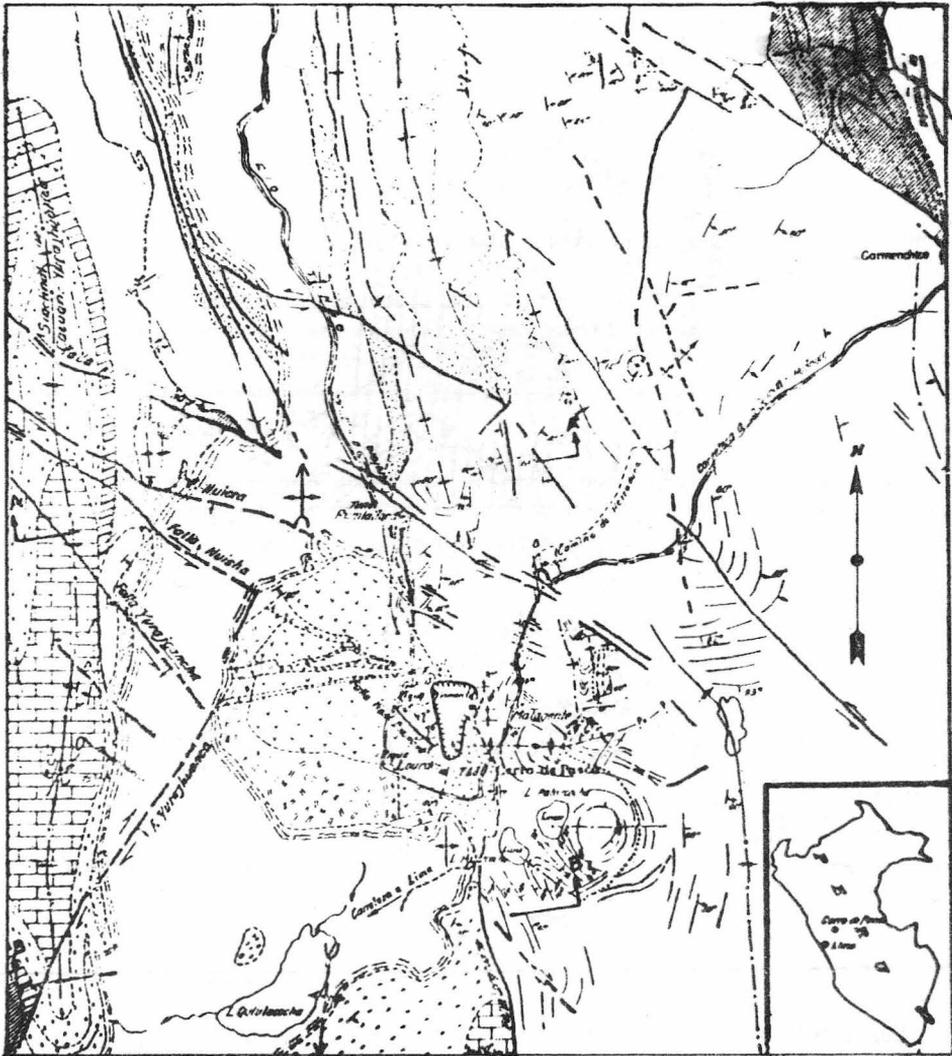
De esta manera podrían explicarse más coherentemente una serie de fenómenos en la formación del yacimiento. Sin embargo lo más importante es retener que el mecanismo de producción del yacimiento de Lllagua tiene estrecha relación con una fase compresiva de dirección submerideana y con los ulteriores efectos de un modelo de esta naturaleza.



### CERRO DE PASCO

Al igual que el yacimiento de Lllagua, Cerro de Pasco es uno de los depósitos más conocidos desde el punto de vista geológico y más desarrollado en el aspecto minero.

Haciendo un breve resumen de la geología del distrito (fig. 3), podemos ver que ocupa una posición preeminente el cuerpo tubular de origen ígneo formado por el aglomerado Rumiallana, que al igual que en Llallagua se lo relaciona con la mineralización. Por ello, si se resuelven las razones del emplazamiento de la chimenea volcánica en su actual posición tendremos criterios de importancia para prospectar nuevos depósitos del mismo tipo.



PLANO GEOLOGICO  
CERRO DE PASCO  
PERU

FIG. 3

SEGUN N. RIVERA.

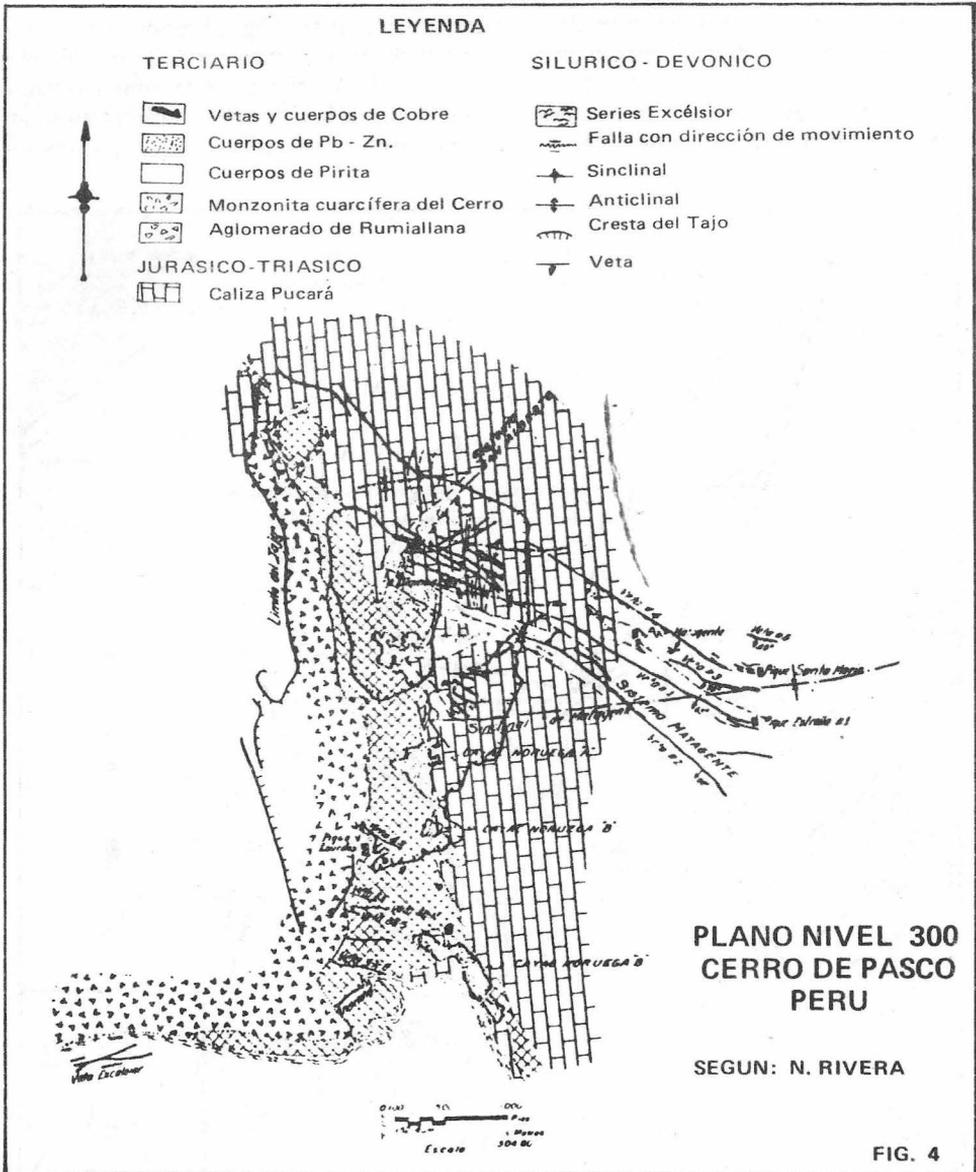


FIG. 4

Las síntesis más recientes sobre el yacimiento que recopilan el criterio de una serie de autores, le dan una importancia de primer orden tanto a la falla longitudinal de Cerro como al fracturamiento diagonal presente.

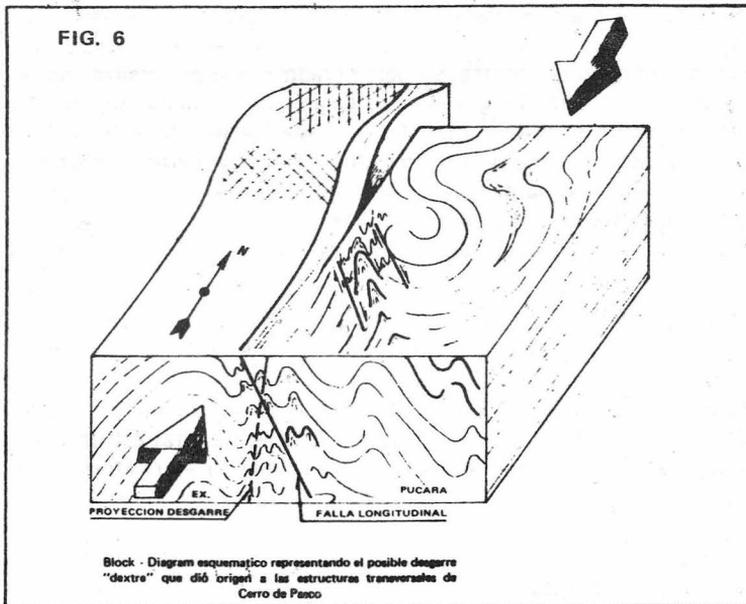
Rivera, en el resumen presentado al Congreso Latinoamericano de geología cita seis períodos de fracturamiento premineral y dos postminerales. En general, la sucesión dada explica con relativa coherencia la mayor parte de los fenómenos observados. De esta

manera, resulta comprensible el fallamiento longitudinal como producto de las fuerzas que produjeron el plegamiento regional, así como la existencia del conjunto de fracturas de Huislamachay – Yurajhuanca, de manera que ambos pueden ser deducidos de una casi idéntica orientación de los esfuerzos principales. El elipsoide de deformación resultaría con su eje mayor en dirección de la fuerza orogénica compresiva (E–W) y; el eje menor estaría en el primer caso vertical y, en el segundo, horizontal en dirección N–S.

Lo que resulta incomprensible con la orientación dada de los esfuerzos orogénicos son las estructuras transversales situadas al E. del distrito entre los que sobresale el sinclinal Matagente y la estructura domal de Patarcocha. Pero solo se trata de estas estructuras; al E del cuerpo mineralizado de Pirita se puede observar un anticlinal cerrado y todavía más al Sur una amplia curvatura de las estructuras regionales que evidencian una otra orientación de los ejes de deformación (fig. 3).

La presencia de tales estructuras, sólo puede ser explicada bajo la suposición de que el elipsoide de esfuerzos se coloque con su eje mayor en dirección submeridiana y con el eje menor en la horizontal y que una falla de desgarre de traza superficial coincidente con la falla longitudinal, se encuentre ubicada en la zona de Cerro. La deformación existente, sobre todo la inclinación de los pliegues secundarios ("deversement") al N indica que el probable carácter de esta falla es "dextre" ya que el bloque E ha sido empujado hacia el Sur y el bloque W hacia el Norte.

Es entonces muy probable que al Oeste, en lugar que hoy ocupa la chimenea de Cerro se haya presentado una zona de combamiento y/o deformación semejante a la del Este y sea justamente éste el punto de debilidad que hayan aprovechado los gases y el magma para irrumpir en el área (fig. 6)



No existen datos directos para medir el desplazamiento producido, pero por la forma y medida de las estructuras presentes se puede concluir que el acortamiento fué de alrededor de 500 m.

En profundidad no está muy claro el plano a lo largo del que se produjo este movimiento; con los datos existentes lo más probable es que coincida con el plano de la falla inversa de Cerro. Sin embargo, hay determinadas dificultades para concebir el movimiento de esta manera ya que en general este tipo de fallamiento suele tener un buzamiento vertical o próximo a la vertical. Además el buzamiento del cuello volcánico en su pared E. indica una zona de debilidad que muy probablemente siga una línea de falla por lo que no estaría descartado el pensar que la falla de desgarre tendría un buzamiento hacia el W, es decir, contrario al de la falla longitudinal.

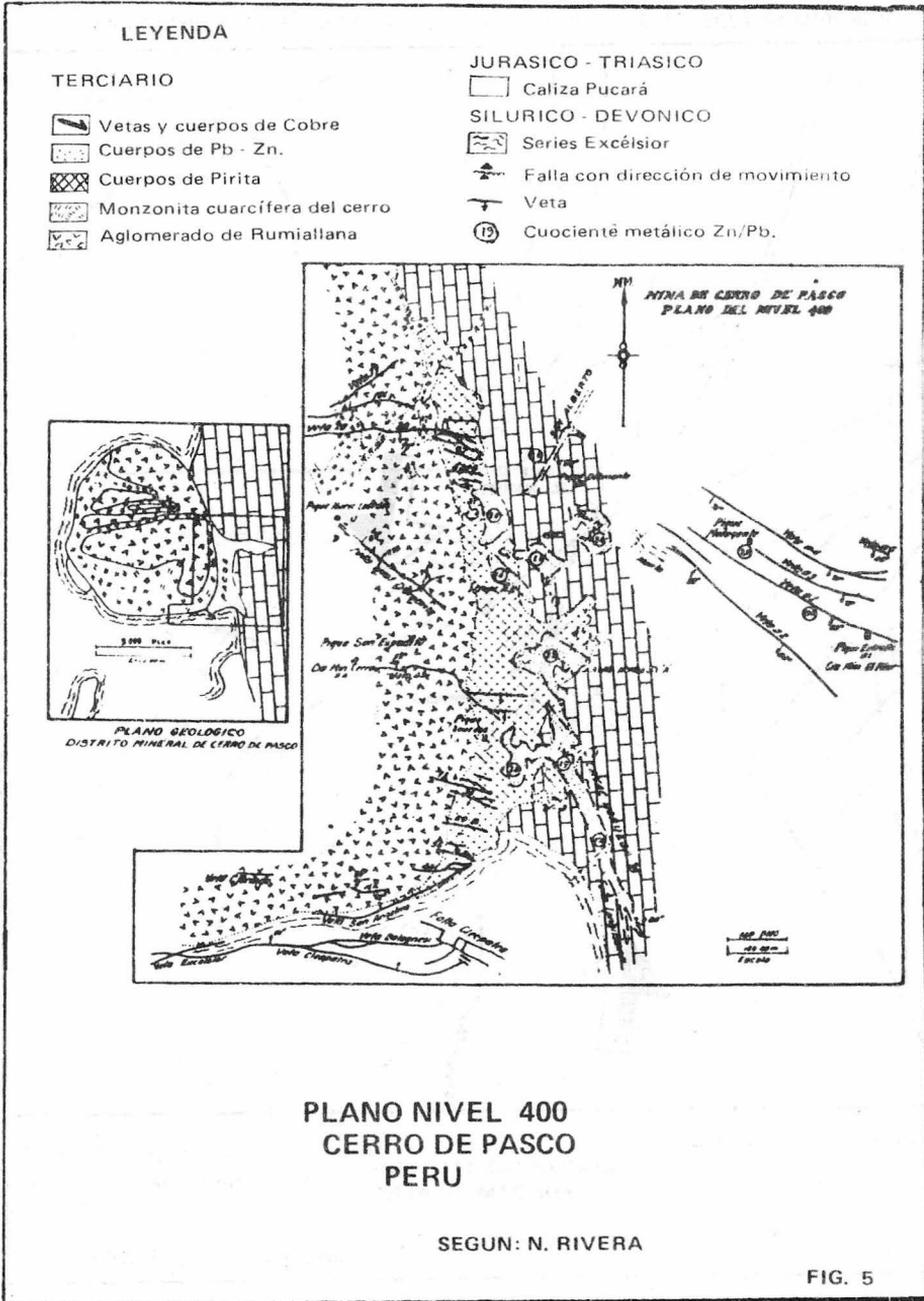
Este es el punto de vista sustentado por el autor ya que se explicaría más coherentemente tanto el emplazamiento del cuello volcánico como la presencia del cuerpo de pirita como reemplazo de una zona de evidente trituración y deformación. También quedaría explicado al buzamiento de la mayoría de los cuerpos mineralizados ya que es de esperar que el eje de esta deformación se incline hacia el NW.

En el plano de Noble 1960 existen al Norte del cuello algunas líneas de falla cartografiadas y que probablemente podrían representar a esta falla de desgarre, pero en general dentro de las lutitas Excelsior hay evidentes dificultades para seguir con certeza las líneas de falla. Tal ocurre por ejemplo con el sistema Huislamachay - Yurajhuanca. Por ello, la traza de esta falla debe buscársela a lo largo del lecho del río Tingo. (fig. 5).

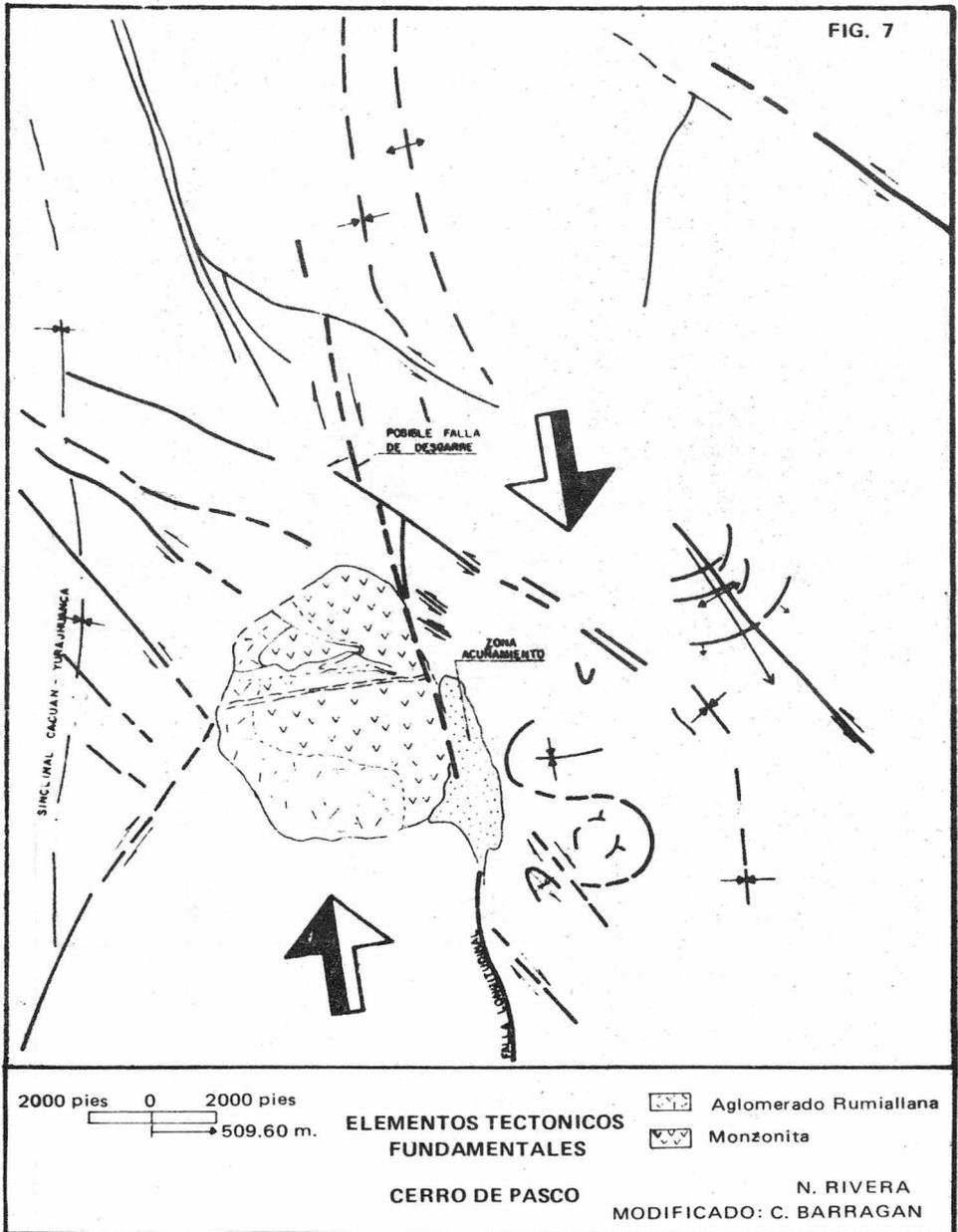
Otro aspecto que merece una nueva consideración es el referente a la edad relativa de este plegamiento transversal especialmente con referencia al fallamiento Huislamachay - Jurajhuanca N. Rivera sostiene que estos plegamientos que los denomina secundarios, se han producido por reactivación de la fuerza orogénica compresiva y por acción de una componente local de la misma. Sin embargo, la existencia de fracturas de esta dirección, rellenas de monzonita, dentro del aglomerado y con mineralización en la zona de Matagente y Mesapata, indicaría que este fracturamiento sería con seguridad anterior a la mineralización, a la intrusión de monzonita y, desde luego, a las estructuras de Matagente y Patarcocha a las cuales corta; por otra parte, el movimiento "senestre" débil que lo caracteriza es contrario a toda orientación posible de los esfuerzos que hayan producido las estructuras que estamos viendo; finalmente este fallamiento no es modificado por ningún otro posterior, lo que aboga por su relativa juventud.

Por lo expuesto resulta entonces lógico suponer la siguiente gran secuencia de fenómenos:

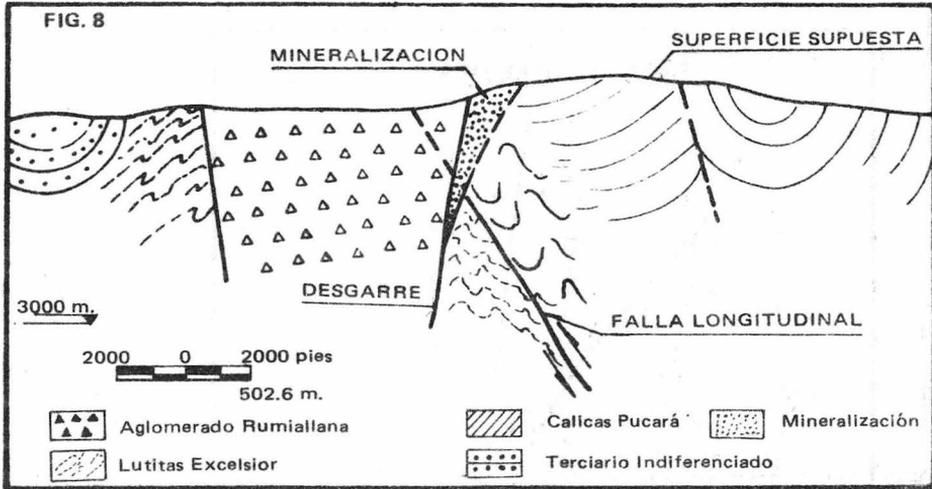
- 1) Las fases premiocénicas actuantes en el área han producido el plegamiento de dirección "andina". El anticlinal de Cerro pertenece a estas estructuras y el funcionamiento de la falla longitudinal como falla inversa es relativamente contemporánea con el plegamiento.
- 2) En el Miócenio, se produce un cambio radical en la orientación del elipsoide de esfuerzos. La comprensión mayor es ahora N-S y produce sobre todo una tectó-



nica de rotura y escasos pliegues. En la zona de Cerro se produce un acortamiento a lo largo de una falla de desgarre tipo "dextre" y en el acuífamiento se forma una intensa zona de deformación diferente a ambos lados de esta línea por la di-



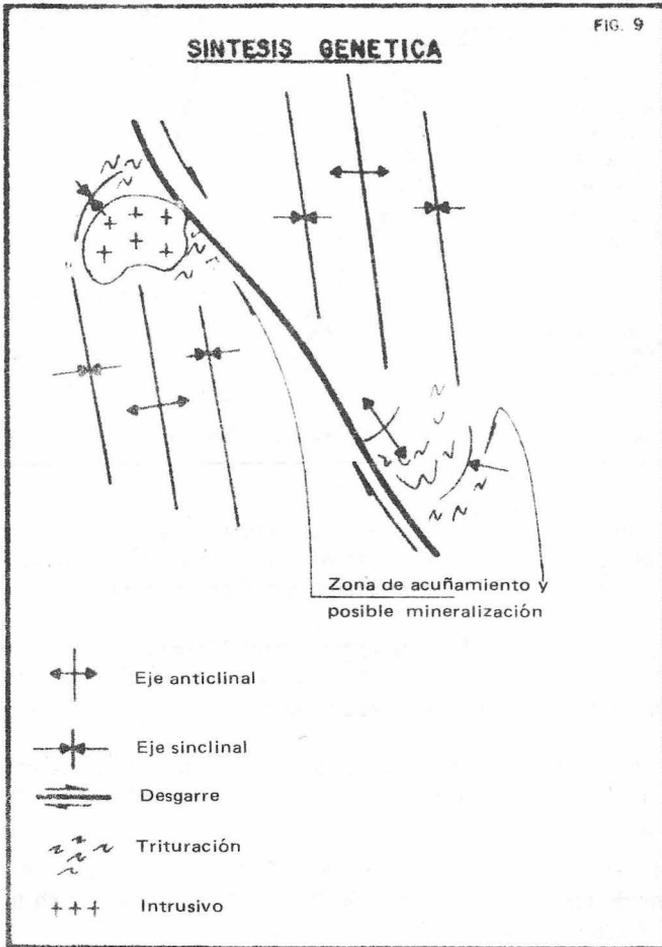
ferencia composición litológica de los bloques. El plano a lo largo del que se produce este movimiento se inclina probablemente con alto ángulo hacia el W, es decir, con un buzamiento opuesto al de la falla longitudinal. (fig. 7)



- 3) En la zona de debilidad al W de la falla, formada por combamiento y/ o un fuerte diaclasamiento de las lutitas Excelsior, irrumpe una actividad volcánica de tipo explosivo que produce el cuerpo de aglomerado rumiallana. (fig. 8).
- 4) Mientras tanto el elipsoide de esfuerzos va cambiando hasta que se puede hablar de una reactivación de la compresión E-W y que produce en la zona las fracturas del sistema Huislamachay - Jurajhuanca y otras similares.
- 5) Recién después de estos eventos se produce la intrusión de monzonita en cuerpos irregulares dentro de la chimenea así como en las fracturas NW producidas por la compresión orogénica.
- 6) Las soluciones hidrotermales iniciaron un reemplazamiento en la zona de trituración y que coincide con el acuñamiento de la falla de desgarre – y en profundidad – con el contacto volcánico – calizas.
- 7) La secuencia posterior de los fenómenos sería la descrita por N. Rivera.

Volviendo entonces a la comparación entre los dos "colosos de los Andes" podemos encontrar las siguientes similitudes: (fig. 9).

- a) Ambos se encuentran ligados a zonas de acuñamiento de fallas de desgarre tipo "dextre",
- b) En los acuñamientos se produce la intrusión de cuerpos ígneos tipo stock o cuellos volcánicos.
- c) En las zonas de trituración o dentro del intrusivo tectonizado se produce la mineralización fundamental.



Como se puede observar, si las suposiciones del modelo se confirman, significaría que habría que darle una gran importancia a los esfuerzos de dirección submeridiana como los localizadores concretos de una buena parte de la mineralización de los Andes.

Los geólogos estructuralistas Soulas y Mégard (1975, 1973) en sus estudios recientes en el Perú han determinado justamente la existencia de una fase compresiva con dirección de acortamiento  $Z = 00^0$  y de edad comprendida entre 14 y 10.5 M.A. Es posible que la fase detectada por ellos sea la que mencionamos en los casos concretos aquí expuestos; y, de serlo así, podríamos datar la más exactamente utilizando las investigaciones más favorables en la zona de los yacimientos.

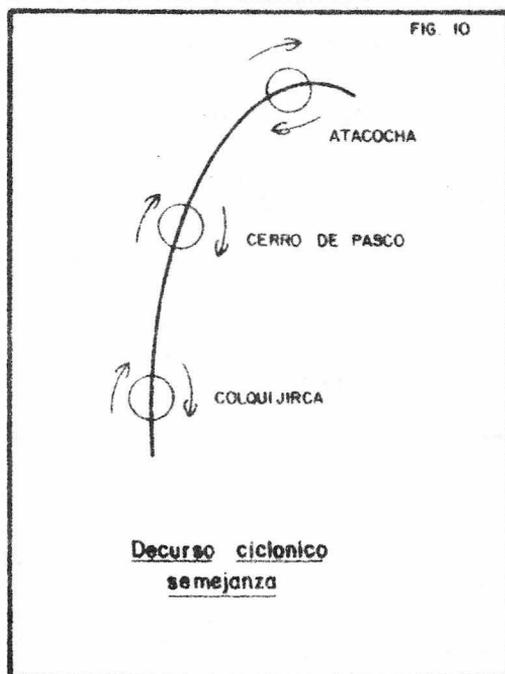
## IMPLICACIONES

La dependencia mencionada podría tener adicionalmente otras consecuencias a nivel de la metalogénesis andina:

- 1) En general, la existencia de una fase de rotura que no va acompañada de plegamiento generalizado, actúa a lo largo de líneas y con gran intensidad en algunos de sus puntos.

Bajo los principios del movilismo esto exige un movimiento similar a nivel del manto y el único fenómeno semejante en la naturaleza lo proporciona el movimiento ciclónico en los fluidos. Por ello, habría que pensar tal vez en centros ciclónicos para la mineralización de los Andes.

- 2) La fuente de mineralización habría que buscarla en el manto o más abajo, tal como sugirió para el estaño Ohñikimovsky en 1971.
- 3) Si en los Andes, ciertos yacimientos responderían a este modelo ciclónico, es posible que el ordenamiento de las zonas mineralizadas no obedezca a lineamientos simples sino, — siempre a semejanza con los fluidos —, a ordenamientos parabólicos (fig. 10).



## REFERENCIAS

- Ahlfeld. 1967. Metallogenic Epochs and Provinces of Bolivia. *Mineralium Deposita*. 2. 291 - 311.
- Schneider — Scherbina. 1964. Los Yacimientos Minerales y de Hidrocarburos en Bolivia.
- Audeban, Capdevilla, Dalmayrac, Debelmas, Laabacher, Lefevbre, Marocco, Martinez, Mattauer, Megard, Paredes, Tomasi. 1973. Les Traits Géologiques Essentiels des Andes Centrales (Pérou - Bolivie). *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*. Vo. XV. Fac. 1 - 2 ps. 73-114. Paris 1973.
- Barragan C. 1978. Nuevas Guías para la prospección de yacimientos estanníferos.
- Bielbin, 1969. Metallogenic Provinces and Metallogenic Epochs. N. Y. Queens LCollege, Press. Geol. Bull. Dept. Geol.
- Caire Aj. 1975. Sur la Tectonique Tourbillonnaire dans la Méditerranée Conference Faculté de Sciences d'Orsay.
- Dewey J.F. and Bird J. M. Mountain Belts and the New Global Tectonic Jour. *Geogrj. Researchs* V. 75 p. 2625 - 2647. 1970.
- Levashev, Strizhkova, Golubeva. 1971. Geochemistry of Tin in the Granitoids of Different Tectonic Zones of the maritime province. *Geochemistry International*. 1971.
- Kelly W. C. and Tourneure F.S. 1970. Mineralogy, Paragenesis and Geothermometry of the Tin and Tungsten Deposits of the Eastern Andes. Bolivia. *Economic Geology*. Vol. 65 No. 6.
- Mergard F. 1973. Etude Géologique d'une Transversale des Andes au Niveau du Pérou Central. These Académie de Montpellier.
- Onikhimovsky V. V. Problem of the Origin of Tin Ore Deposits. *International Geologic Revue*. V. 14. No. 6.
- Petersen U. 1965. *Bull. of the Soc. of Econ. Geol.* Vol. 60 No. 3
- Soulas J. P. 1975. La Chaîne Andine du Pérou Central. *Bull. Institute Français d'Etudes Andins*. IV. No. 3.
- Las Fases Tectónicas del Terciario Superior en Perú. Corte Ayacucho - Pisco. Tercer Congreso Latinoamericano de Geología. México 1976.
- et Megard F. Decrochement Sigmoides et Structures Associées dans Les Andes du Pérou. 5<sup>ème</sup>. Réunion Annuelle des Sciences de la Terre Rennes 1977.
- Smirnov V.I. The Sources of the Material of Hipogene Minerals Deposits. *International Geologic Revue*. V. 12 No. 7.
- Tourneure. 1960. A comparative Study of Mayor Deposits of Central Bolivia. *Economic Geology*. V. 55 No. 2.