

# Revisión morfoestructural y tectónica del norte de la cuenca Malacatos-Vilcabamba (Mioceno, provincia de Loja, sur de Ecuador)

Byron Solís<sup>1</sup>, Pedro Reyes<sup>2</sup>, Diego Corrochano<sup>3</sup>

*1 Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (Quito- Ecuador) byron.solis@geoinvestigacion.gob.ec*

*2 Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía, 17-01-2759. Facultad de Geología y Petróleos, Departamento de Geología, (Quito- Ecuador) pedro.reyes@epn.edu.ec*

*3 Universidad de Salamanca, E.U. de Magisterio, Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales, 49022 Viriato, (Zamora – España), dcf@usal.es*

## RESUMEN

El presente trabajo se enfoca en la descripción de los dominios morfoestructurales, la interacción tectono–estructural y la deformación sinsedimentaria del segmento norte de la cuenca Malacatos–Vilcabamba (sur de Ecuador), por medio de la caracterización de las unidades de relieve, sus relaciones con las formas superficiales del terreno y con la actividad de las fallas durante y después del relleno sedimentario.

En términos generales, se observan tres tipos de dominios morfoestructurales: el más antiguo corresponde al basamento formado por rocas metamórficas pre–jurásicas (unidades Chigüinda y Tres Lagunas); el segundo está representado por rocas paleógenas del basamento volcánico (Formación Loma Blanca) y por último, el más joven, que está formado por el relleno sedimentario miocénico de la cuenca (formaciones San José, San- to Domingo, San Francisco y Cerro Mandango). El relleno sedimentario puede subdividirse a su vez en dos bloques tectono–estratigráficos: La Merced al NW y La Granja al SE; ambos se encuentran limitados por fallas y sus estratos presentan una diferente inclinación regional. Las fallas son de carácter regional o local, tienen direcciones dominantes N–S, NW–SE y NE–SW, y constituyen los límites estructurales de la cuenca; a su vez, establecen contactos tectónicos entre unidades y formaciones geológicas del basamento y del relleno sedimen- tario. Algunas de estas estructuras han sido interpretadas como fallas sinsedimentarias que actuaron desde los primeros depósitos sedimentarios del Mioceno medio.

**Palabras clave:** Malacatos–Vilcabamba; dominios morfoestructurales; tectónica; deformación sinsedimentaria; Mioceno; Ecuador.

## ABSTRAC

This work focuses on reviewing the morphostructural domains, tectonics and synsedimentary deformation of the northern part of the Malacatos–Vilcabamba basin (southern Ecuador) by describing in detail the different relief units, their relationships with the surface forms and the role of fault interactions during and after the sedimentary infill.

Overall, three types of morphostructural domains are recognized: the oldest one, which correspond to the basin basement, consists of pre–Jurassic metamorphic rocks (Chigüinda and Tres Lagunas units); the second one is represented by the volcanic basement of the Loma Blanca Formation (Paleogene), and the youngest one is formed by the Miocene sedimentary basin infill (San José, Santo Domingo, San Francisco and Cerro Mandango formations). The majority of faults trend approximately N–S, NW–SE and NE–SW. They constitute the structural limits of the basin and bound by tectonic contacts several units and geological formations. Some of these structures have been interpreted as synsedimentary faults that were active from at least middle Miocene times onward.

**Keywords:** Malacatos–Vilcabamba; morphostructural domains; tectonics; synsedimentary deformation; Miocene; Ecuador.

## 1. Introducción

En el sur de los Andes Ecuatorianos se localizan potentes secuencias sedimentarias miocenas alojadas dentro de pequeñas cuencas sedimentarias situadas a una altitud actual entre 1000 y 2500 msnm. Estas cuencas, que presentan una evolución sedimentaria desde ambientes litorales de transición a ambientes puramente continentales (cuencas intramontañosas), se extienden en las áreas de Cuenca, Girón–Santa Isabel, Loja, Malacatos–Vilcabamba (donde se centra este trabajo) y Catamayo–Gonzanamá. Las cuencas de Nabón y Zumba se desarrollaron en un ambiente exclusivamente continental.

Steinmann, Hungerbühler, Seward y Winkler (1999) y Hungerbühler, Steinmann, Winkler, Seward, Égüez, Peterson, Helg y Hammer (2002) proponen la evolución de las cuencas en dos etapas: 1) Un período extensional desde el Mioceno medio al superior (15–10 Ma.), donde tuvo lugar una sedimentación continental y marina–marginal (“Pacific coastal stage”) asociada con el desarrollo de dos extensas bahías marinas (Loja y Cuenca desde Manabí y Pro-

greso) que conectaron dichas cuencas con el Océano Pacífico; y 2) Una etapa de compresión e inversión tectónica ocurrida en la Región Interandina al sur del Ecuador, que bloqueó la comunicación de las cuencas con el Océano Pacífico en el Mioceno superior (9–5 Ma), en la cual, la secuencia sedimentaria fue parcialmente levantada y deformada. Durante esta etapa se depositaron potentes sucesiones aluviales con abundantes intercalaciones de material piroclástico, que se acumularon en cuencas intramontañosas puramente continentales, cuyos límites aproximadamente coinciden con los afloramientos actuales (“Intermontane stage”).

La cuenca de Malacatos–Vilcabamba se localiza al sur de Ecuador, en la provincia de Loja, tiene orientación NW – SE, una longitud aproximada de 45 km de largo y de hasta 12 km de ancho; abarca el relleno sedimentario que cubre la depresión formada entre la cordillera Real (Terreno Loja) y los depósitos volcánicos eocénicos asociados con el evento Sacapalca.

Está constituida por un sistema de bloques fallados que presentan un hundimiento al W con inclinación hacia el E, a causa de una falla N-S entre San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba (Kennerley, 1973). Fierro (1991), señaló que una falla con trazo N177 atraviesa el centro de la cuenca, divide el norte en dos bloques y genera una repetición de la secuencia sedimentaria al occidente y al oriente. Hungerbühler (1997), vinculó la repetición de las formaciones sedimentarias con la falla inversa “Picota”, nombró al bloque noroccidental como “La Granja” y, en el centro de la cuenca, identificó la presencia de un sinclinal con el eje en dirección NW-SE.

El principal objetivo de este trabajo es describir los dominios morfoestructurales y la relación entre la tectónica y la sedimentación al norte de la cuenca Malacatos-Vilcabamba mediante: cartografía geológica, estudio y caracterización morfoestructural, tratamiento estadístico de datos estructurales, determinación de estructuras y el estudio de la deformación sedimentaria.

## **2. Metodología**

Durante las fases iniciales de este trabajo, se ha elaborado la cartografía geológica a escala 1:50 000 y 1:100 000 de los depósitos miocenos y su relación tectono-sedimentaria con el basamento metamórfico y volcánico. Esta revisión está enmarcada en del Proyecto del Mapeo Geológico a escala 1:50 000 (INIGEMM). Se ha dividido la zona de estudio en dos bloques tectónicos diferentes (noroccidental La Merced y nororiental La Granja), separados por las fallas de San Francisco y Picota, con el objetivo de realizar una posterior comparación y correlación entre ambos.

La caracterización morfoestructural se realizó mediante la toma sistemática de medidas estructurales sobre el terreno y utilizando fotografías aéreas a escala 1:60 000, Modelos Digitales de Terreno (DTM) de 30 m x 30 m y de 3 m x 3 m, anaglifos de imágenes

satelitales ASTER y anaglifos de las ortofotos escala 1:30 000.

Los datos estructurales tomados en “azimut de buzamiento” sobre estratos sedimentarios, han sido tratados estadísticamente en proyección estereográfica con el fin de encontrar el plano más representativo para medir la inclinación de cada bloque. El procedimiento consistió en plotear estereográficamente para cada bloque, los polos (44 para el bloque La Merced y 14 para el bloque La Granja) de cada uno de los planos medidos en campo, con el fin de calcular el polo estático medio y de esta manera obtener el plano más representativo para cada bloque. Una vez realizado este proceso se determinó un eje de rotación capaz de bascular parte del bloque La Merced hacia la posición actual del bloque La Granja. En la práctica es posible obtener muchos ejes de rotación con diferentes ángulos de inclinación que satisfagan esta condición, sin embargo, se ha considerado restringir el ángulo de inclinación de dicho eje a 30 grados debido a que este valor representa el ángulo de ruptura más común en tectónica compresiva. Con este antecedente se procedió a determinar el azimut del eje de rotación a partir del ploteo de los dos polos representativos obtenidos estereográficamente, a fin de hacerlos coincidir con uno de los paralelos de la falsilla de Wulff y, de esta manera, extraer el azimut alineado con el norte de la falsilla a una inclinación definida de 30 grados.

## **3. Resultados**

### **3.1 Dominios morfoestructurales**

Las unidades de relieve son los espacios continuos que representan las formas superficiales (estructural y modelado) homogéneas, que han tenido un origen y evolución común. Estas se agrupan en unidades o dominios morfoestructurales (CEDE, 2012). La clasificación efectuada en la zona identifica tres tipos de dominios: sedimentario, metamórfico y volcánico.

**Tabla N° 1**  
**Clasificación de dominios morfoestructurales**

<b>Dominio</b>	<b>Tipos de relieve</b>	<b>Características</b>
Sedimentario	<u>Horizontales o acclinales</u> se forman por la acción de la erosión sobre estratos de distinta resistencia y sobre los que no ha actuado la tectónica o lo ha hecho muy débilmente.	Presentan relieves tabulares denominados plataformas estructurales de extensión variable, que están separadas por valles–cornisa formadas por la cornisa (fuerte pendiente y por rocas más duras) y por el talud (pendiente más suave y formada por rocas más blandas).
	<u>Cuestas o monoclinales</u> son relieves que se localizan en las vertientes o bordes de las cuencas sedimentarias adaptándose a la disposición de las capas subyacentes o como una consecuencia derivada de los procesos tectónicos.	Muestran cuestas con un frente, de gran pendiente, donde se diferencia la cornisa y el talud; y por el dorso de pendiente suave que es una estructura primaria (estratificación) o derivada.  Tienen una red hidrográfica compleja, en forma de rejilla, causada por los cursos fluviales que siguen los buzamientos de los estratos.
Metamórfico	Las rocas metamórficas forman el núcleo de plataformas, zócalos y macizos antiguos. Afloran en grandes extensiones, son muy coherentes y resistentes a la meteorización mecánica, aunque no a la meteorización química. En este tipo de rocas aparecen muchas debilidades o discontinuidades (diaclasa, fisuras, fracturas) donde se concentra la actividad erosiva.	El aspecto general del relieve metamórfico es el de una llanura ondulada u oblonga, donde aparecen depresiones muy estrechas y profundas. El contacto en la parte baja entre las rocas metamórficas y los sedimentos generados es muy claro.  La red hidrográfica se encaja profundamente y por lo general sigue una red de fallas o diaclasas, generando un relieve fracturado con líneas rectas y bruscos cambios de sentido.
Volcánico	<u>Volcán</u> es la acumulación de fragmentos de lava de diferentes tamaños, calderas y domos.	Su morfología varía dependiendo del carácter de la erupción, el tipo de material emitido y la posterior disposición del cuerpo rocoso.
	<u>Coladas</u> forman planadas donde se observan amplias mesetas estructurales limitadas por escarpes escalonados.	Morfológicamente pueden adquirir un aspecto rugoso.
	<u>Formas de excavación</u> se producen al actuar la erosión diferencial sobre rocas sedimentarias que cubren las formaciones volcánicas dejándolas al descubierto.	Se diferencian láminas o planadas, mostradas como una masa tabular con perfil de cornisas escalonadas y cuellos con una estructura que resalta en el relieve debido a su resistencia a la erosión.

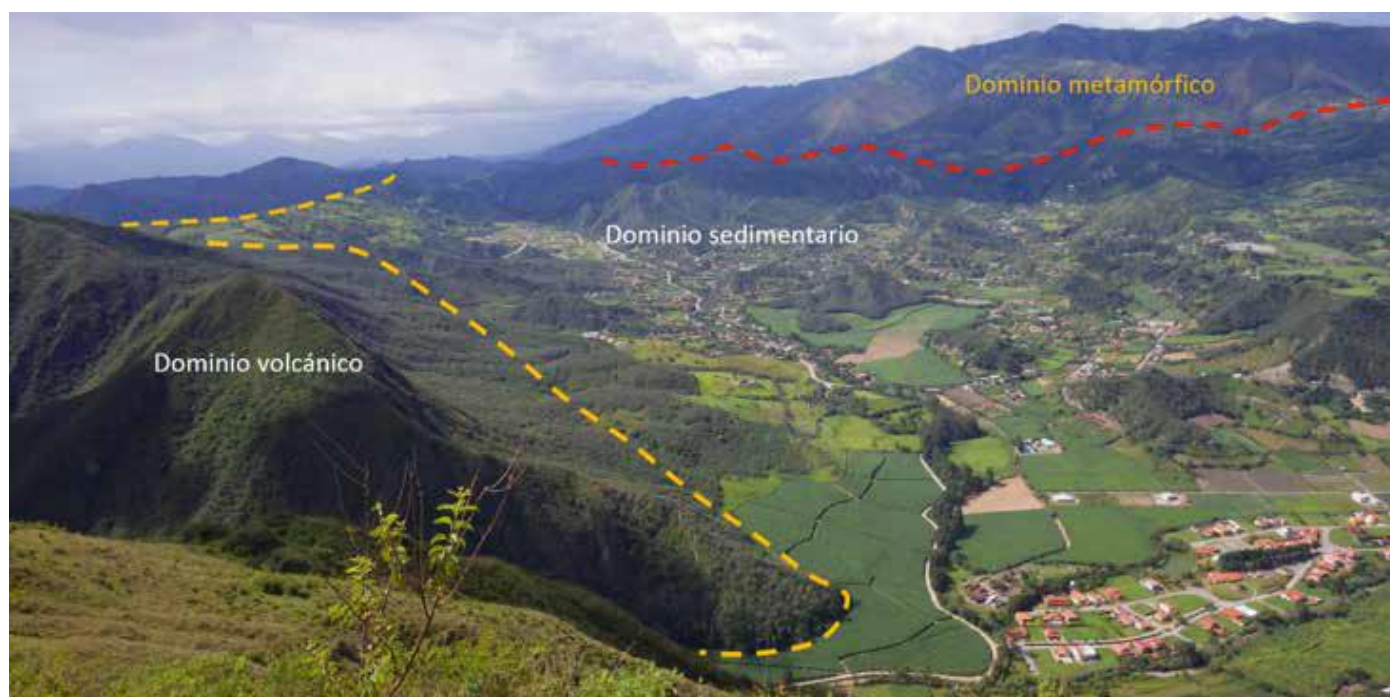
**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2 Caracterización morfoestructural

En el noroeste de la cuenca se observa una serie de montañas altas con laderas rectas a convexas muy empinadas ( $32^{\circ}$ - $75^{\circ}$ ), que cubren grandes extensiones y desarrollan, hacia las zonas altas, geformas de llanuras onduladas interrumpidas por depresiones muy estrechas y profundas. El desnivel relativo se ha determinado entre 700 y 1200 m. La red de drenaje es de tipo dendrítico que varía de subparalelo hasta rectangular, aparentemente controlado por las estructuras mayores. Este sector está conformado por las unidades Chigiüinda y Tres Lagunas que representan el dominio metamórfico. El contacto entre las rocas metamórficas y el relleno sedimentario está muy bien definido.

#### Fotografía N° 1

Vista panorámica de los dominios morfoestructurales del norte de la cuenca Malacatos–Vilcabamba



**Fotografía:** Byron Solís Alulima. Vista hacia el NE desde Cerro Minas (UTM: 691206; 9531391)

Al occidente se exhibe una cadena montañosa con laderas de pendiente moderada a fuerte ( $32^{\circ}$ -  $60^{\circ}$ ), hacia el tope se forman cuchillas estrechas y mesetas de poca extensión. Esta zona pertenece al dominio volcánico con relieve del tipo formas de excavación y respondería a una erosión diferencial de la formación Loma Blanca y su posterior exposición. Episodios erosivos relacionados con un tectonismo activo generaron el depósito constante de coluviales que cubrieron gran parte de los límites tectónicos y atenuaron los escarpes originales.

En el sector que corresponde al relleno sedimentario, predominan los relieves de laderas suaves hasta moderadamente empinadas ( $4^{\circ}$ - $16^{\circ}$ ) interrumpidas por lomas con cimas abruptas e irregulares ( $32^{\circ}$ - $60^{\circ}$ ),

donde se presenta un frente con grandes pendientes. El desnivel relativo no supera los 40 m en el bloque noroccidental y varía entre 100 a 300 m aproximadamente en el bloque nororiental. La red de drenaje es del tipo dendrítico con afluentes subparalelos. Este dominio sedimentario se clasifica como de tipo cuesta o monoclinial con estratos truncados, se lo interpreta como una cuenca sedimentaria afectada por una tectónica activa durante y posteriormente a la sedimentación.

Los cambios morfológicos se asocian con la diversa litología que presenta la zona y, principalmente, con las fallas de borde y de intracuenca, se infiere que la mayor actividad reciente es aquella desarrollada con las fallas El Tambo, Picota y San Francisco.

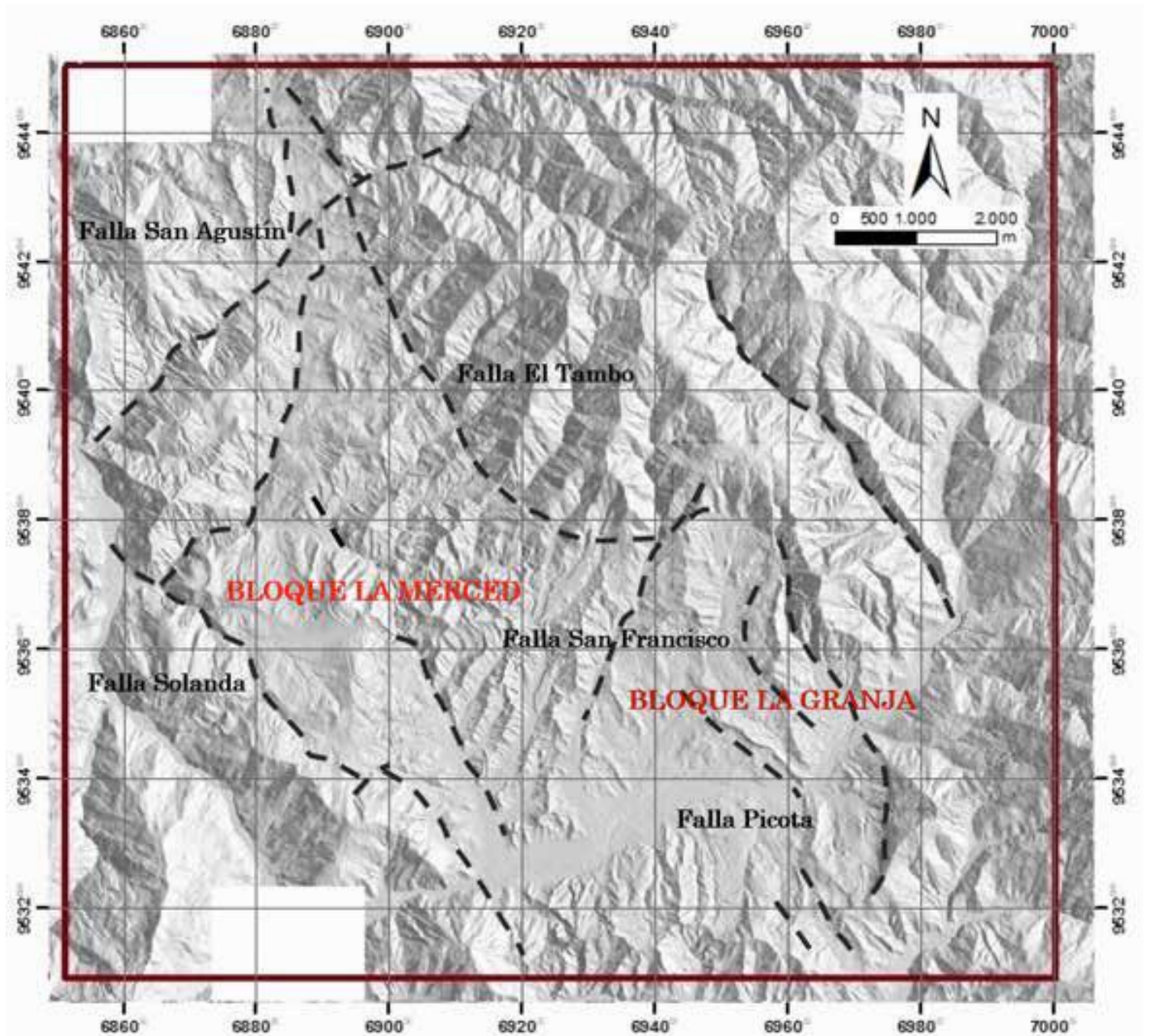


### 3.3 Fallamiento

Parte de los límites entre las formaciones sedimentarias y las unidades del basamento metamórfico y/o volcánico, está constituida por las fallas San Agustín, Vilcabamba, El Tambo y Solanda. Las estructuras intracuenca corresponden a las fallas Picota y San Francisco, que se desarrollaron durante y después de la colmatación de la cuenca, abarcando los periodos litoral (Mioceno medio – superior) e intramontañoso (Mioceno superior – Plioceno).

Mapa N° 1

Mapa esquemático de falla del norte de la cuenca Malacatos–Vilcabamba



Fuente: Elaboración propia

La falla inversa San Agustín, con dirección NE–SW y buzamiento vertical, es el límite con la Unidad volcánica Huayco. En el borde oriental la falla inversa Vilcabamba con dirección N–S y buzamiento al este, levanta las rocas de la Unidad Chigüinda. Al nororiente la falla inversa El Tambo, con dirección variable entre N–S y ENE–WSW y buzamiento entre este y noreste, levanta la Unidad Tres Lagunas. Su prolongación sur al ingresar en la cuenca muestra una dirección NW–SE y buzamiento al noreste, donde toma el nombre de Picota y se subdivide en segmentos que han controlado el levantamiento de las secuencias sedimentarias. Al occidente, la falla inversa Solanda se presenta segmentada con direcciones entre N–S y NW–SE y buzamiento hacia el oeste, elevando la Formación Loma Blanca. En el centro norte la falla inversa San Francisco, con dirección NE–SW y buzamiento vertical, divide la cuenca en dos bloques.

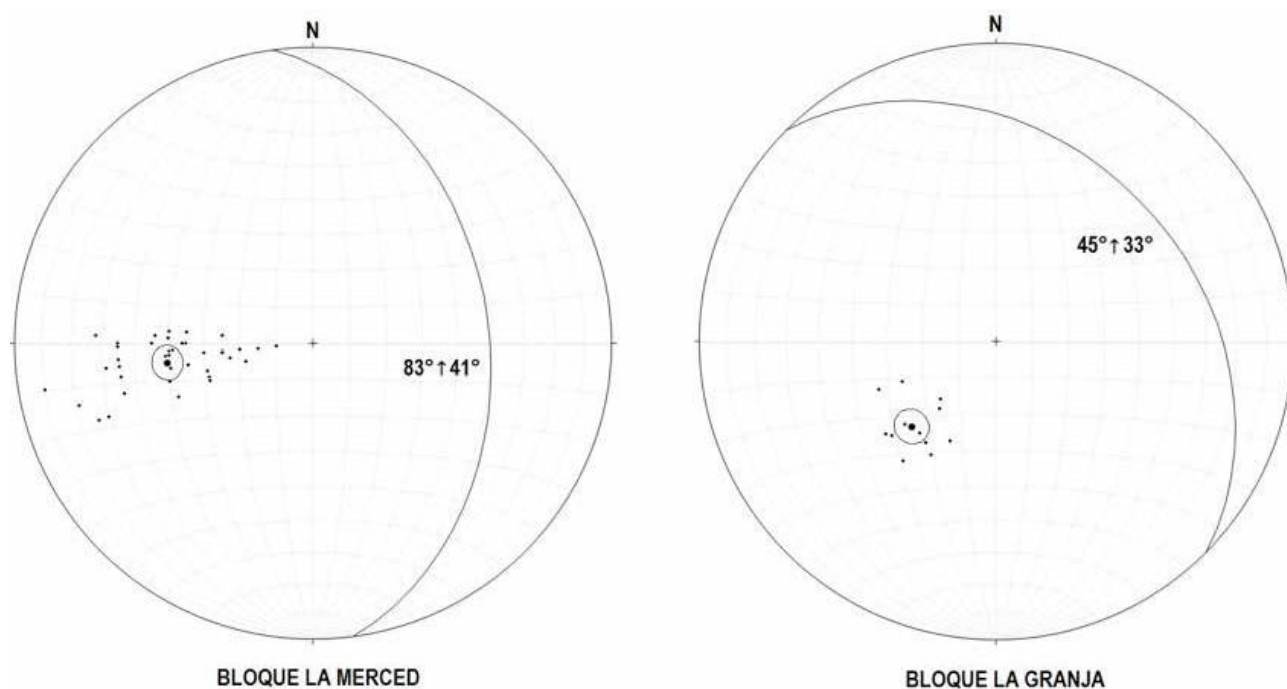
### 3.4 Estructuración de los bloques

Los dos bloques que conforman el norte de la cuenca de Malacatos–Vilcabamba presentan entre sí una disposición estructural distinta y separadas por rasgos tectónicos evidentes (Solís, 2015).

El bloque noroccidental–La Merced está limitado al norte por la falla San Agustín, al este por las fallas El Tambo y San Francisco y al oeste y al suroeste por la falla Solanda; exhibe la secuencia sedimentaria completa de la cuenca, con la Formación San José en su base, seguida de las formaciones Santo Domingo, San Francisco y Cerro Mandango. Los resultados del ploteo estadístico de los polos forman una nube alargada que presenta muy poca dispersión en la dirección del azimut, pero sí una considerable en el ángulo de buzamiento. El plano representativo obtenido tiene una inclinación de  $41^\circ$  hacia el azimut  $83^\circ$  ( $N7^\circ W/41^\circ$ ).

El bloque nororiental–La Granja está limitado al norte por la falla El Tambo, al este por la de Vilcabamba, al oeste por la falla San Francisco y al sur por la falla Picota. Preserva los niveles basales y medios de la secuencia sedimentaria de la cuenca (formaciones San José, Santo Domingo y San Francisco). Los datos estructurales tomados en este bloque se plotearon en proyección estereográfica, que en este caso, presentan una nube de puntos menos dispersa. El plano representativo obtenido tiene una inclinación de  $33^\circ$  hacia el azimut  $45^\circ$  ( $N45^\circ W/33^\circ$ ).

**Gráfico N° 1**  
Ploteo de medidas estructurales



Fuente: Elaboración propia

### 3.5 Basculamiento de los bloques

La disposición geométrica de los planos representativos de ambos dominios indica dos tendencias marcadas para cada bloque: una hacia el este (La Merced) y otra hacia el noreste (La Granja).

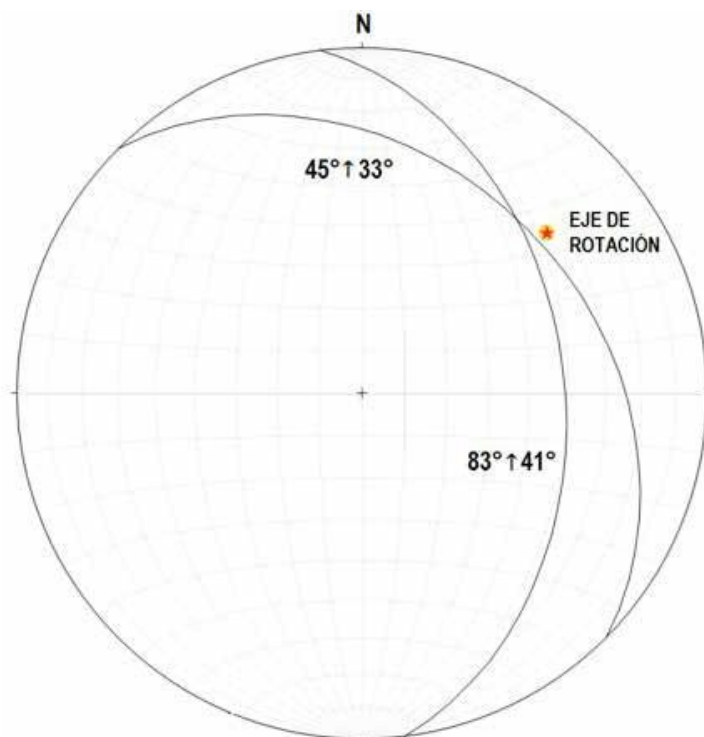
Las evidencias de campo sugieren que un límite tectónico separa los dos bloques (Falla San Francisco). La estratigrafía indica que un salto vertical ha puesto en contacto las formaciones basales del bloque nororiental contra las formaciones más jóvenes del bloque noroccidental. Dicho salto correspondería a una falla con fuerte componente vertical (sea normal o inversa). Sin embargo, una ramificación de la falla Vilcabamba que limita la parte nororiental contra el basamento metamórfico, tiene una tendencia NW-SE y sugiere movimientos inversos con cortos cabalga-

mientos y pliegues de arrastre. La falla Picota afecta sólo al relleno sedimentario en el bloque La Granja y levanta notablemente la parte sur por medio de una trayectoria curva. De esta manera, con un movimiento inverso sobre una falla curva, es posible generar un basculamiento secundario de la secuencia estratigráfica del bloque La Granja hacia la dirección NE, partiendo de una inclinación inicial hacia el E como la registrada en el bloque La Merced.

El eje de rotación del bloque a lo largo de dicha falla curva (Picota) ha sido determinado por medio de técnicas de rotación estereográfica. Dicho eje tiene una inclinación de  $30^\circ$  hacia el azimut  $49^\circ$  y el valor angular de rotación, necesario para bascular el bloque La Granja desde el E hacia el NE es de  $24^\circ$  en sentido horario por medio de una falla curva, cuyo buzamiento general corresponde a la inclinación del eje de rotación.

**Gráfico N° 2**

Determinación de eje de rotación del bloque a lo largo de una falla curva (Picota)



**Fuente:** Elaboración propia

### 3.6 Deformación sin-sedimentaria

En la cuenca Malacatos-Vilcabamba se evidencia el desarrollo de una tectónica activa coetánea con el depósito de los sedimentos en los dos periodos de sedimentación desde el Mioceno medio (de transición e intramontañoso).

La secuencia sedimentaria asociada con el ambiente de transición (formaciones San José, Santo Domingo y San Francisco), presenta abundantes evidencias de deformación sinsedimentaria, relacionada con las fallas de Picota, San Francisco y Vilcabamba, tales como deslizamientos sinsedimentarios (slumps) y un pliegue con eje NNE-SSW, asociado con la actividad de la falla Vilcabamba al nororiente de la cuenca.



En la zona de estudio los deslizamientos sinsedimentarios que no suelen superar los 2 m de espesor (small-scale slumps), se encuentran claramente diferenciados (y fosilizados) en la vertical por depósitos no deformados. Un buen ejemplo de este tipo de estructuras puede observarse en la Formación San Francisco en el sector de El Carmen (Bloque La Granja). En ese afloramiento, el deslizamiento está formado por 4 zonas bien diferenciadas (Gráfico N° 3): zona no deformada, de transición, frontal y de colapso. La zona de transición se caracteriza por presentar el inicio del deslizamiento; su contacto con la zona no deformada es de falla normal inferido (superficie de despegue); esta zona está caracterizada por la presencia de un ligero plegamiento de los estratos a favor de la pendiente y del flujo sedimentario. La zona frontal del slump está caracterizada por la elevada presencia de bloques plegados y replegados (enrollamiento dextrógiro) y, por pliegues más o menos isoclinales cuyos planos axiales coinciden con la superficie de deslizamiento. Además, a partir de esta zona, se observa un basculamiento del bloque deslizado de hasta 12° E.

La zona de colapso se caracteriza por la avalancha final del deslizamiento, avalancha que no es caótica sino organizada, y se caracteriza por el desarrollo de clinofomas de pequeña escala donde aparecen bloques laminares paralelos a la estratificación, bloques irregulares y bloques replegados. Gracias a las observaciones de campo y al estudio de dos láminas delgadas, se ha comprobado que los bloques del slump que se deformaron plásticamente durante el deslizamiento, fueron cementados previamente por calcita blocky, probablemente de origen meteórico.

Los slumps o deslizamientos sinsedimentarios pueden ser atribuidos a: 1) actividad tectónica; 2) talud sedimentario de elevada pendiente; 3) alta tasa de sedimentación que crea un exceso de carga; 4) diferente naturaleza del material sedimentario que crea diferentes grados de consolidación o carga; 5) elevado contenido en agua intersticial dentro del sedimento; 6) rápida degradación de la materia orgánica; y, 7) deformación del sustrato debido a intrusiones, por ejemplo, evaporíticas. En el caso de estudio, si bien la presencia de finas intercalaciones de lutitas en las capas amal-

gamadas canaliformes pudo favorecer el desarrollo de los deslizamientos, parece que el factor activador fue la existencia de una inestabilidad tectónica, probablemente asociada con la actividad de la falla Vilca-bamba. El hecho de que los slumps se encuentren en facies de canal de llanura deltáica, donde la pendiente sinsedimentaria debió ser muy baja (<1°), descarta que ésta haya jugado un papel predeterminante en los deslizamientos.

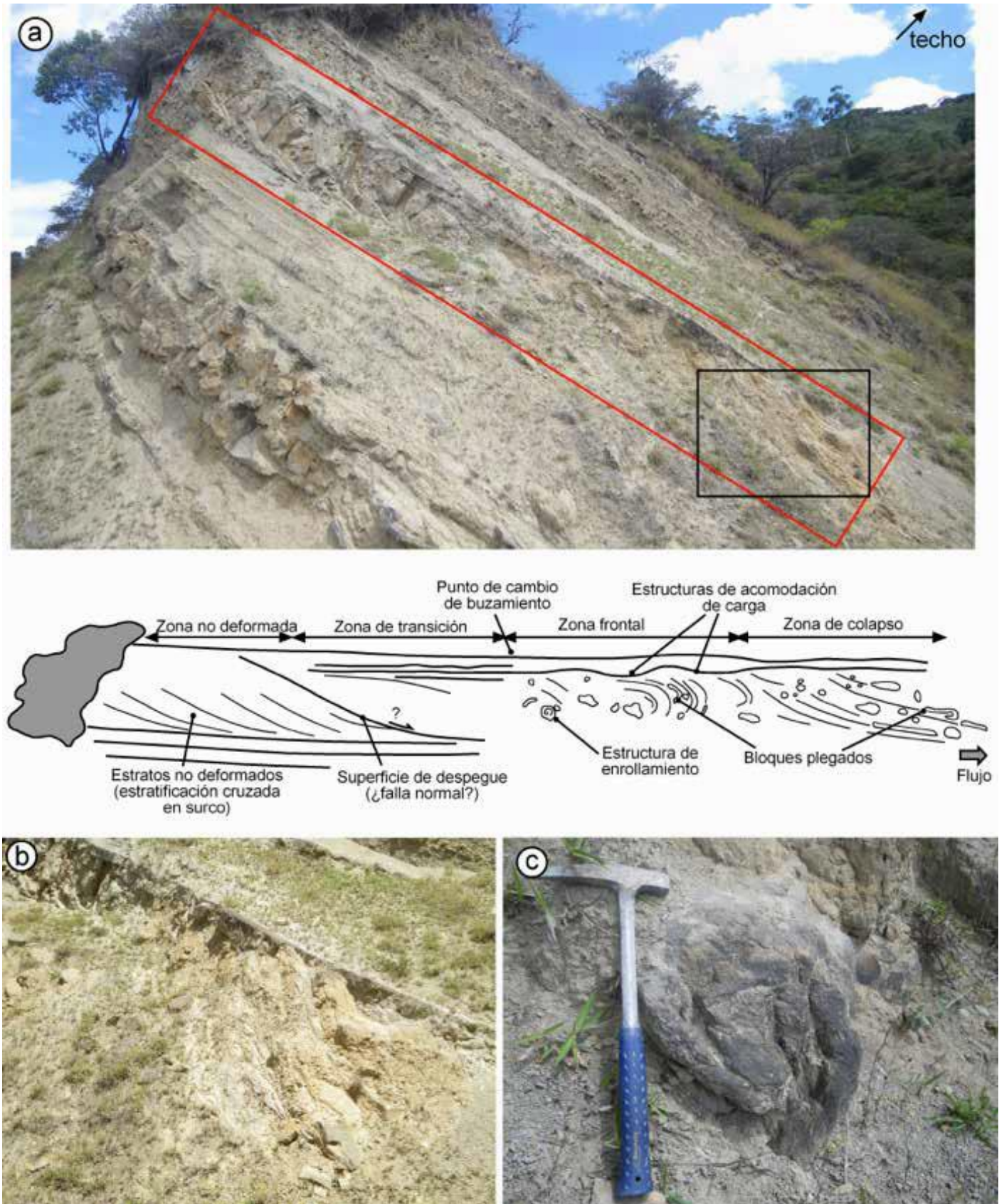
Otra de las evidencias se obtiene de la comparación litoestratigráfica entre los bloques noroccidental y nororiental, que ha permitido determinar diferencias de espesor y facies en sentido NW-SE en la Formación Santo Domingo (presencia y ausencia del Miembro Carbón), que son atribuidas principalmente a diferencias paleogeográficas y a una marcada deformación sinsedimentaria. En este sentido, la falla Picota se interpreta como una zona de discontinuidad sincrónica con la sedimentación. Posiblemente comenzó a actuar durante el Mioceno medio en un régimen extensional, provocando tanto el hundimiento de la parte noroccidental de la cuenca, como favoreciendo el desarrollo de zonas pantanosas en La Merced y las importantes diferencias de espesor observadas en la Formación Santo Domingo.

Luego de depositarse la Formación Santo Domingo y, posiblemente también después o durante el depósito de la Formación San Francisco, la falla se invirtió durante la etapa compresiva del Mioceno superior (Hungerbühler y otros, 2002), generando un cambio en su disposición espacial. Esto produjo un basculamiento regional evidenciado en el bloque La Merced y el basculamiento del bloque La Granja, a su posición actual.

La colmatación de la cuenca continuó en un ambiente continental-intramontañoso, concentrándose principalmente al sur. En este período, la reactivación de las fallas de borde de cuenca con dirección NNW-SSE, influyeron para que la deformación sinsedimentaria afectara principalmente a la Formación Cerro Mandango. Esto se evidencia por la presencia de un sinclinal en el centro de la cuenca con un eje de dirección NW-SE, por discordancias progresivas y las fuertes variaciones de espesor en el borde de la falla Solanda.

Gráfico N° 3

a) Fotografía y esquema del deslizamiento de La Granja; nótese que el dibujo está rotado en sentido antihorario a la fotografía. b) Detalle de la zona de colapso del deslizamiento (encuadrada en negro en la Fig. a). c) Pliegue (rolling structure) en la parte frontal del deslizamiento.



Fuente: Corrochano (2014)



## Resumen de resultados

- El dominio metamórfico comprende una serie de montañas con laderas rectas o convexas muy empinadas, que ocupan una gran extensión y, en cuyas zonas altas se han formado llanuras onduladas interrumpidas por depresiones muy estrechas y profundas. La red de drenaje es de tipo dendrítico variando a rectangular.
- El dominio volcánico es de tipo formas de excavación y exhibe una cadena montañosa con laderas de pendientes moderadas a fuertes, cuchillas estrechas y mesetas de poca extensión. Los frecuentes depósitos coluviales cubrieron gran parte de los límites tectónicos y, en cierta manera, atenuaron los escarpes originales.
- El dominio sedimentario es de tipo cuesta o monoclinial y abarca las zonas bajas socavadas por valles subparalelos, donde predominan los relieves de laderas suaves hasta moderadamente empinadas interrumpidas por montículos con bordes abruptos e irregulares. La red de drenaje es del tipo dendrítico con afluentes subparalelos. Se interpreta que la cuenca sedimentaria estuvo afectada por una tectónica activa durante la sedimentación y luego de ella.
- El norte de la cuenca neógena Malacatos–Vilcabamba se divide tectónicamente en dos bloques netamente estructurales. Los límites del bloque noroccidental La Merced son las fallas El Tambo y San Agustín al norte, San Francisco al este y Solanda al oeste. Para el bloque nororiental La Granja los límites están definidos por las fallas San Francisco al este, Vilcabamba al oeste y Picota al sur.
- La comparación litoestratigráfica entre los bloques noroccidental y nororiental, ha permitido determinar diferencias de espesores y facies en sentido NW–SE (en la Formación Santo Domingo la presencia y ausencia del Miembro Carbón), que son atribuibles principalmente a diferencias paleogeográficas y a una marcada deformación sinsedimentaria que actuó desde el Mioceno medio.
- Asociado con esta tectónica sinsedimentaria, se observa un basculamiento regional del bloque La Merced hacia el este ( $83^{\circ}/41^{\circ}$ ) y un basculamiento del bloque La Granja hacia el noreste ( $45^{\circ}/33^{\circ}$ ). Se ha podido determinar la presencia de un eje de rotación con azimut de  $49^{\circ}$  e inclinación de  $30^{\circ}$ , asociado con un plano de falla curvo que ha desprendido y basculado el bloque La Granja, a partir del bloque La Merced.

## 4. Discusión de resultados y conclusiones

El estudio de los dominios morfoestructurales ha permitido corroborar la distribución y los límites de la cuenca y las características morfológicas del basamento metamórfico y volcánico. Además, ha servido para confirmar que el relleno sedimentario estuvo afectado por una tectónica activa en la sedimentación y posteriormente a ella. Para las otras cuencas esta herramienta permitirá identificar qué tipo de relación existe entre la geomorfología y la tectónica.

Estructuralmente la cuenca presenta límites tectónicos y fallas intracuenca que fueron previamente referenciadas (Kennerley, 1973; Fierro, 1991; Hungerbühler, 1997; Hungerbühler y otros, 2002). Se planteó que la repetición de las formaciones sedimentarias al occidente y al oriente del norte de la cuenca, es causada por un falla N–S (Kennerley, 1973; Fierro, 1991) o por la falla Picota (Hungerbühler, 1997; Hungerbühler y otros, 2002). También se ha determinado que los límites y la relación entre los bloques noroccidental y nororiental son exclusivamente tectónicos y que la Falla Picota tiene una relación únicamente tectónica con el Bloque La Granja y no genera ninguna repetición sedimentaria.

Se han descrito y caracterizado además de las fallas, la deformación sinsedimentaria, el basculamiento regional de la cuenca hacia el este observado en el bloque noroccidental y, finalmente, el basculamiento del bloque La Granja hacia el noreste.

## Referencias

- CEDE (2012). Capítulo 2 Las grandes unidades morfoestructurales del planeta tierra. Estructuras y relieves. Madrid – España: CEDE. Recuperado de [http://www.cede.es/n\\_temas\\_2012/t2\\_geografia.pdf](http://www.cede.es/n_temas_2012/t2_geografia.pdf)
- Corrochano, D. (septiembre, 2014). Geología Sedimentaria y Sedimentología dentro del Proyecto del Mapeo Geológico a Nivel Nacional a escala 1:50 000. Informe Técnico PROMETEO – INIGEMM, pp. 37 (inédito).
- Fierro, J. (1991). Evolución Geodinámica Neógena de la Cuenca Intramontañosa de Malacatos – Vilcabamba, Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador, pp. 114.
- Hungerbühler, D. (1997). Tertiary basins in the Andes of southern Ecuador (3°00'–4°20'): sedimentary evolution, deformation and regional tectonic implications. PhD Thesis, Institute of Geology ETH, Zürich, Switzerland, pp. 182.
- Hungerbühler D., Steinmann, M., Winkler W., Seward D., Égüez A., Peterson D.E., Helg U. y Hammer C. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador, Earth Science Reviews 57, pp. 75 – 124. Kennerley, J.B. (1973). Geology of Loja Province, southern Ecuador. Institute of Geological Sciences (Over-seas Division), London. Unpublished Report 23, pp. 34.
- Solís, B. (2015). Sedimentología y estratigrafía del norte de la Cuenca Malacatos – Vilcabamba (Mioceno, provincia de Loja – Sur de Ecuador). Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional: Quito – Ecuador, pp. 136.
- Steinmann, M., Hungerbühler, D., Seward, D. y Winkler, W. (1999). Neogene tectonic evolution and exhumation of the southern Ecuadorian Andes: a combined stratigraphy and fission-track approach. Tectonophysics, N° 307: pp. 255–276.



Instituto Nacional de  
**Investigación Geológica**  
Minero Metalúrgico

***Investigación!***  
***para el desarrollo!***

[http:// www.geoinvestigacion.gob.ec](http://www.geoinvestigacion.gob.ec)

Las Malvas E15-142 y De Los Perales  
Sector Monteserrín

Telf.: (593 2) 297 6100  
ext. 1515 ó 1527  
Quito-Ecuador