

INTERPRETACION GEOTECTONICA E INGENIERIL EN LAS SUBCUENCAS DE HONDA Y GIRARDOT, EN IMAGENES DE SENSORES REMOTOS

*Julio Alberto Triviño Torres **

El modelo tectónico de la vertiente occidental de la cordillera Oriental integrado por fallas inversas con sus planos de falla buzando al oriente y limitando la distribución de unidades sedimentarias de más nuevas a más antiguas de occidente a oriente (Julivert M., 1961), no se restringe al Valle Medio del río Magdalena, sino que continúa hacia el Valle Alto.

Las unidades estructurales en los mencionados valles se correlacionan así:

- Falla de El Alto del Trigo, con la Falla Quinini.
- Falla de Cambrás - Salinas - Cambao, con la Falla Prado-Suárez.
- Sinclinal de Guaduas, con el Sinclinal de Prado.

La geoforma Guataquí-Girardot comprendida entre las fallas Cucuana e Ibagué, corresponde a parte de la cordillera Oriental saliente hacia la cordillera Central; desplazamiento originado por la actividad de las fallas Cucuana e Ibagué.

Las características genéticas de las unidades litológicas definen las propiedades ingenieriles del material geológico de manera similar en las subcuencas de Honda y Girardot.

La conformación estructural de las subcuencas de Honda y Girardot definen en ellas similares características morfológicas-hidrológicas-hidrogeológicas, de estabilidad de taludes naturales, de fenómenos de remoción en masa y otras formas de erosión y de fuentes de materiales.

* Geólogo de la Universidad Nacional de Colombia. Jefe del Area de Geotecnia. Profesor de Geología y Fotointerpretación aplicadas a la Ingeniería Civil

INTRODUCCION

El valle superior del río Magdalena, comprendido entre las poblaciones de La Dorada al norte y Pitalito al sur, geológicamente se ha subdividido en tres subcuencas (F. Van Houten and Travis, 1968), así:

Las subcuencas de Neiva, Girardot y Honda, distribuidas de sur a norte, respectivamente. (Figura 1).

El presente trabajo incluye el extremo sur de la subcuenca de Honda y el extremo norte de la subcuenca de Girardot, y su objetivo general consiste en interpretar el modelo tectónico común a las dos subcuencas a partir del análisis tanto de las estructuras geológicas como de las unidades litológicas que afloran en cada una de las subcuencas en cuestión.

A partir de la interpretación de mapas e informes geológicos existentes elaborados y/o publicados por el Instituto de Investigaciones Geológico Mineras (INGEOMINAS), Centro Interamericano de Fotointerpretación (CIAF), Universidad Industrial de Santander (UIS), etc., y fundamentalmente apoyado en la interpretación de imágenes de Sensores Remotos de las cuales la TM cubre toda la zona de interés, se llega a obtener el conocimiento de un esquema tectónico que satisface la ocurrencia y comportamiento de estructuras y unidades litológicas locales. También explica el origen de la saliente de la cordillera Oriental hacia la cordillera Central en el tramo Guataquí-Girardot y por lo tanto la evolución del curso del río Magdalena en el tramo en que éste atraviesa las dos subcuencas; explicaciones antes no dadas en la literatura geológica existente o sólo dadas parcialmente.

De las geoforras generadas en ambas

subcuencas se interpretan las propiedades ingenieriles del material geológico a escala pequeña 1:100.000-1:250.000 a partir de las siguientes imágenes de sensores remotos:

Imagen de radar del Valle Medio del Magdalena
FLT 53031-2772 Line 3 CNA 75°25W

Imagen MSS 2716-14184-5,7 Sabana de Bogotá

Imagen TM-50388-14430-5.

Y a escala grande 1:35.000-1:28.000 se interpretan las propiedades ingenieriles del área Girardot-Tocaima-Agua de Dios, sobre las siguientes fotografías aéreas:

R 928	Nos	172-188
R 929	Nos	92 a 103
R 929	Nos	31 a 49
R 929	Nos	112 a 127
R 929	Nos	170 a 182
R 928	Nos	200 a 209
R 928	Nos	226 a 231
R 928	Nos	233 a 236
C 1959	Nos	52 a 56
C 2384	Nos	272 a 275

La información obtenida tanto a partir de las imágenes como de las fotografías, fue controlada con trabajo de campo en donde se identificó y analizó el estado de meteorización, erosión, sedimentación, consistencia, etc, del material geológico.

Unidades Litológicas

Las unidades litológicas a nivel regional referenciadas a la literatura geológica existe (INGEOMINAS-CIAF-UIS-etc.) y diferenciadas sobre las imágenes interpretadas son:

Rocas Igneo-Metamórficas
de la cordillera Central

Pz - Ji

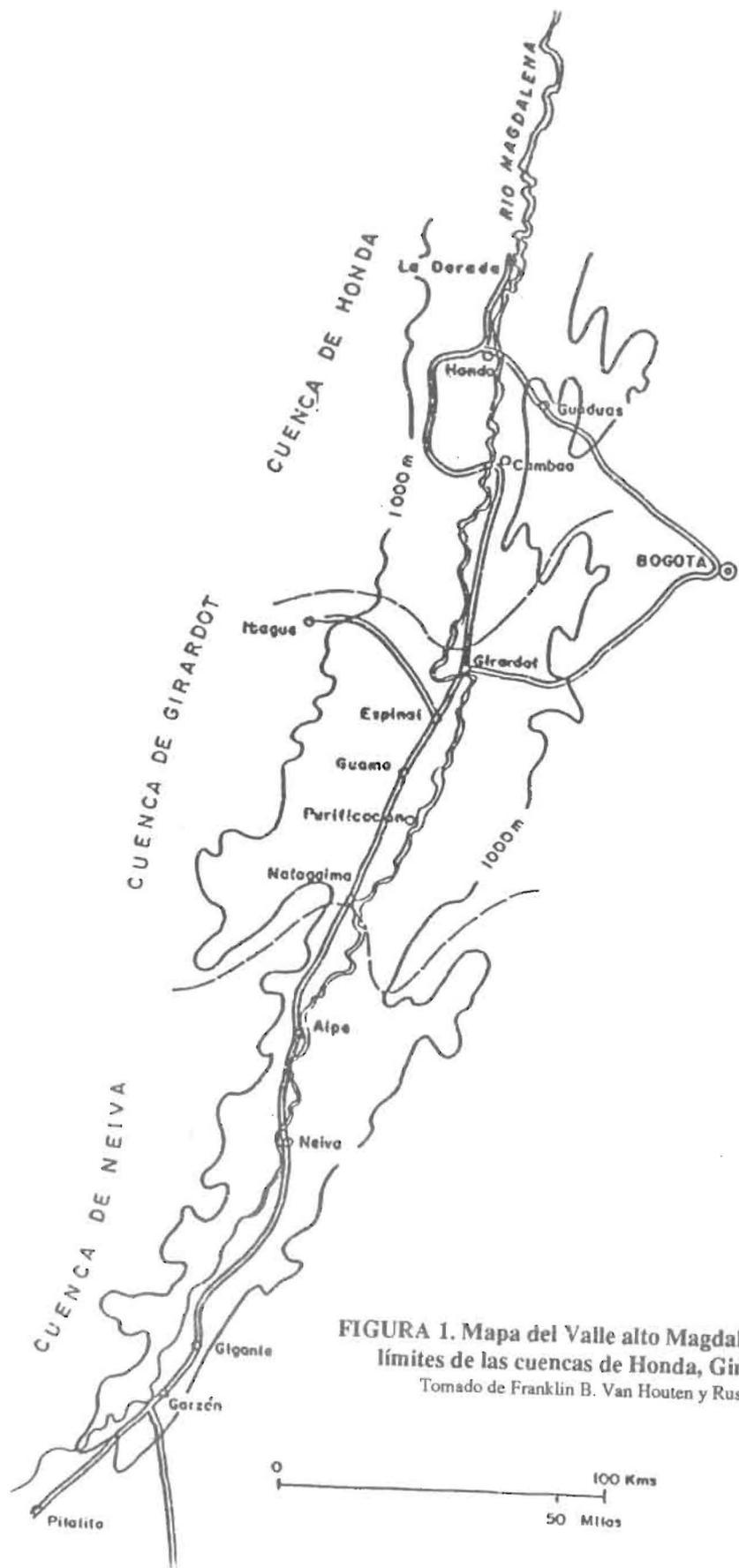


FIGURA 1. Mapa del Valle alto Magdalena mostrando los límites de las cuencas de Honda, Girardot y Neiva.

Tomado de Franklin B. Van Houten y Russell B. Travis

Grupo Payandé	J
Grupo Villeta	Kiv
Grupo Guadalupe	Ksg
Formación Guaduas	Kgd
Grupo Gualanday	Tgy
Formación Honda	Th
Formación Mesa	Tm
Terrazas y Abanicos Antiguos	Q1
Abanicos y Depósitos Recientes	Q2
Depósitos Aluviales y Lacustres	Q3

Unidades Estructurales

Fallas con orientación regional norte-sur

Falla Quinini
 Falla Prado-Suárez
 Falla El Alto del Trigo
 Falla Cambrás-Salinas-Cambao
 Falla de Honda
 Pliegues
 Anticlinorio de Villeta
 Sinclinales de Prado y Carmen de Apicalá
 Pliegues de Gualanday
 Sinclinal de Guaduas

Fallas con orientación regional NE-SW:

Falla de Cucuana-Río Bogotá
 Falla de Ibagué
 Falla Beltrán-Ambalema

Falla-Quinini

Esta unidad descrita por Franco R. y Gómez H., 1978, es de tipo inverso, con el plano de falla buzando al oriente. Limita hacia el occidente al denominado bloque de la Sabana, el cual se levantó a fines del paleoceno sirviendo de barrera a la sedimentación del grupo Gualanday.

Falla Prado-Suárez

Es una estructura regional con orientación norte-

sur. Es una falla inversa, con el plano de falla buzando al oriente. Sirve de límite oriental al valle del río Magdalena en la subcuenca de Girardot, al sur de la localidad del mismo nombre. El bloque oriental levantado sirvió de barrera a la sedimentación de la Formación Honda, cuya fuente de aporte la construyó la cordillera Central (Van Houten and Travis, 1968). Entre las fallas Quinini al oriente y Prado-Suárez al occidente, aflora la unidad Gualanday como última unidad Terciaria de esa zona.

Falla de El Alto del Trigo

Es una estructura regional con orientación norte-sur. Es una falla inversa, con el plano de falla buzando al oriente. En la subcuenca de Honda, al bloque oriental levantado limita la sedimentación hacia el oriente de la Formación San Juan de Río Seco, la cual es correlacionable con el Grupo Gualanday de la subcuenca de Girardot (Van der Hammen, 1950).

Falla Cambrás - Salinas - Cambao

Es una estructura regional con orientación norte-sur. Es una falla inversa, con el plano de falla buzando al oriente (Julivert, 1961). Constituye el límite oriental del valle del río Magdalena en la subcuenca de Honda y parte norte de la subcuenca de Girardot.

El bloque oriental levantado en la falla sirvió de barrera a la sedimentación de la formación Honda cuya fuente de aporte la constituyó la cordillera Central (Van Houten and Travis, 1968).

Entre las fallas de El Alto del Trigo y Cambrás-Salinas-Cambao aflora la Formación San Juan de Río Seco, cuyo afloramiento es restringido a esa zona.

Falla de Honda

Esta estructura es restringida a la subcuenca de Honda; su orientación regional es norte-sur. Esta falla es inversa, con el plano de falla buzando al oriente. El bloque oriental levantado sirvió de barrera a la sedimentación de la Formación Masa cuya fuente de aporte la constituyó la cordillera Central.

Anticlinorio de Villeta

Es una estructura regional cuyo eje tiene una orientación norte-sur. Ocupa el extremo oriental de las subcuencas a Honda y Girardot. En el anticlinorio de Villeta afloran predominantemente los Grupos Villeta y Guadalupe.

Sinclinales de Prado y Carmen de Apicalá

Estos sinclinales se encuentran ubicados entre las fallas Quinini y Prado-Suárez y en ellos afloran como última unidad terciaria el Grupo Gualanday. Estas estructuras se originan por acción de las fallas que los limitan.

Pliegues de Gualanday

Aquí se incluyen varios anticlinales y sinclinales amplios, los cuales se desarrollan sobre el Grupo Gualanday cerca a la localidad del mismo nombre.

Los ejes de estos pliegues tienen una orientación norte-sur.

Sinclinal de Guaduas

Es una estructura conspicua, desarrollada sobre la formación San Juan de Río Seco y limitada al oriente al oriente por la falla de El Alto del Trigo y al occidente por la falla Cambrás-Salinas-Cambao.

El sinclinal de Guaduas debe su origen a la acción de las fallas que lo limitan.

Falla de Cucuana-Río Bogotá

Esta estructura descrita por Franco R. y Gómez H., 1978, presenta una dirección N40°E. Su lineamiento es el del río Bogotá, el cual se prolonga hacia el noroeste del área. Divide la subcuenca de Girardot en dos sectores. Un sector comprendido entre las localidades de Guataquí y Girardot y, un sector sur, desde Girardot hacia la localidad de Purificación.

Falla de Ibagué

Esta estructura presenta una dirección N40°-50°E, sirve de límite entre las subcuencas de Honda y Girardot. (Triviño J., 1989), corta y origina desplazamientos en las fallas de El Alto del Trigo y Cambrás-Salinas-Cambao.

Falla Beltrán-Ambalema

Es una estructura regional (Triviño J., 1989), cuyo lineamiento tiene una dirección N40°E; corta y desplaza a la falla Cambrás-Salinas-Cambao y divide la subcuenca de Honda en dos sectores, al sur, el sector comprendido entre las localidades de Guataquí y Beltrán y el sector norte de Beltrán hacia la localidad de Honda.

Correlación estructural

Las fallas de Cucuana e Ibagué independizan en las cuencas de Honda y Girardot tres grandes unidades geomorfológicas:

Girardot-Purificación, Girardot-Guataquí, Guataquí-Ambalema-Cambao. (Figura 2).

Estas tres unidades geomorfológicas contienen elementos estructurales sincrónicos entre sí:

En bloque oriental levantado de la Falla Quinini sirve de barrera hacia el oriente de la sedimentación del Grupo Gualanday (Tgy).

El bloque oriental levantado de la Falla de El Alto del Trigo, en la geoforma Guataquí-Ambalema-Cambao, sirve de barrera a la sedimentación de la formación San Juan de Río Seco, la cual es correlacionable con el Grupo Gualanday (Van Der Hammen, 1957).

Por consiguiente las fallas Quinini y El Alto del Trigo corresponden a una misma estructura regional, la cual fue cortada y desplazada por las fallas de Cucuana e Ibagué.

El bloque oriental levantado de la falla Prado-Suárez, en la geoforma Girardot, sirve de barrera hacia el oriente de la sedimentación de la formación Honda.

El bloque oriental levantado en la Falla Cambrás-Salinas-Cambao, en la geoforma Guataquí-Ambalema-Cambao, sirve de barrera hacia el oriente de la sedimentación de la Formación Honda.

Por consiguiente, las fallas Prado-Suárez y Cambrás-Salinas-Cambao, corresponden a una misma estructura regional, la cual fue cortada y desplazada por las fallas Cucuana e Ibagué. Los pliegues sinclinales de Prado y Carmen de Apicalá en la geoforma Guataquí-Girardot y el sinclinal de Guaduas-San Juan de Río Seco en la geoforma Guataquí-Ambalema-Cambao, se desarrollan sobre unidades litológicas sincrónicas entre sí y están limitados al oriente y occidente por estructuras igualmente sincrónicas entre sí, lo cual sugiere que estos pliegues han tenido un origen común.

La geoforma Girardot-Guataquí, ubicada en la

zona intermedia entre las geoformas anteriormente descritas, corresponde a un bloque de la cordillera Oriental desplazado hacia la cordillera Central por acción de las fallas Cucuana e Ibagué.

En esta geoforma los elementos estructurales que contiene, incluyendo la falla Cambrás-Salinas-Cambao, son convergentes hacia el extremo noreste lo cual sugiere que el desplazamiento de esta geoforma fue mucho más intenso a lo largo de la Falla Cucuana que a lo largo de la Falla Ibagué.

Las fallas Beltrán-Ambalema, Ibagué y Cucuana conforman un sistema de fallamiento transversal al Valle de río Magdalena. Su actividad ha sido intermitente, evidenciándose actividad reciente de la falla de Ibagué sobre el abanico del mismo nombre.

INTERPRETACION DE LAS PROPIEDADES INGENIERILES DEL MATERIAL GEOLOGICO

Relación entre la litología y las propiedades físicas de las diferentes unidades de material.

— Unidad Metamórfica, Pz. Esta unidad consiste de esquistos cloríticos verdes, esquistos grafiticos o negros y esquistos cuarzosericíticos. Los primeros generalmente no se encuentran alterados; presentan una foliación fina intensamente apretada. Muestran una fracturación ortogonal a la foliación, con una densidad de 3-4 fracturas/metro lineal. Su permeabilidad primaria tiende a cero.

Los esquistos grafiticos generalmente se encuentran intensamente fracturados, más de 10 fracturas/metro, con foliación abierta, adquiriendo una alta permeabilidad secundaria la cual incrementa su grado de

meteorización pasando a formar material lodoso que en algunos casos fluye en las zonas de afloramiento.

- Unidad Ignea Plutónica, I.J.I. Esta unidad constituye principalmente el denominado Batolito de Ibagué y/o Stock de Payandé.

Se presenta como material ígneo intensamente meteorizado como saprolito y/o suelos residuales el cual presenta poca o mínima resistencia a su remoción. Los suelos residuales adquieren mayor cohesión y porosidad que el saprolito donde el material puede comportarse como un suelo granular. El espesor de este material es superior a 5 metros.

- Unidad o Grupo Payandé, J. Esta unidad está integrada por las Formaciones Luisa, Payandé y Saldaña, las cuales consisten de conglomerados —areniscas y lutitas rojas, calizas y rocas volcánico-sedimentarias, respectivamente. Los conglomerados y las areniscas rojas presentan ligamento de tipo cemento el cual genera en la roca una muy alta consistencia y por consiguiente alta resistencia a su desintegración y remoción. Las lutitas son de tipo limolita-arcillolita; generalmente se encuentran intensamente fracturadas lo cual incrementa temporalmente su permeabilidad. Saturadas, originan flujos de lodos.

Las calizas se presentan en estratos de 0.5-1.0 m de espesor, tienen gran continuidad lateral, son consistentes y resistentes a la desintegración pero susceptibles a la meteorización originando paisajes kársticos; por consiguiente su permeabilidad secundaria puede ser máxima y su compacidad de alta a baja.

El material volcánico-sedimentario está constituido por ignimbritas y limolitas rojas.

Las primeras presentan alta resistencia a su desintegración y remoción. Su alteración genera saprolitos y/o suelo residuales.

- Grupo Villeta, Kv. Esta unidad consiste predominantemente de lutitas negras, areniscas, calizas y liditas. Las lutitas son laminares y sueltas; presentan por consiguiente características de permeabilidad y alta susceptibilidad a la erosión.

Las areniscas que se encuentran interestratificadas con las lutitas son generalmente carbonatadas, de color oscuro, dispuestas en estratos de 0.05-0.20m de espesor y presentan baja resistencia a la desintegración.

Las areniscas que conforman niveles independientes están dispuestas en estratos de 0.3-1.0 m de espesor, son consistentes, de gran extensión lateral y presentan fracturas ortogonales a la estratificación. El ligamento es comúnmente de tipo cemento sílice.

- Grupo Guadalupe, Kgs. Esta unidad está integrada por los siguientes niveles:

Nivel de areniscas blandas, las cuales presentan muy baja resistencia a su desintegración, su permeabilidad primaria es alta y su estratificación fina.

Nivel de plaeners, constituidos por fragmentos angulares de roca predominantemente tipo lidita, la cual se encuentra intensamente fracturada con una densidad de 10 fracturas/m. La roca es de alta consistencia. Su permeabilidad primaria tiende a cero. El macizo rocoso adquiere alta permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las capas de liditas tienen espesores de 0.05-0.15 m.

Nivel de areniscas duras, las cuales se encuentran en estratos de 0.3-0.7 m de espesor. Estas areniscas contienen un ligamento de tipo cemento silíceo del cual depende la alta consistencia de la roca. Se encuentran interestratificadas con capas arcillo-arenosas cuyo comportamiento es predominantemente plástico. Las areniscas duras presentan fracturamiento ortogonal a los planos de estratificación.

- Formación Guaduas-La Seca, Kgd. Esta unidad consiste predominantemente de arcillolitas abigarradas, finalmente estratificadas, las cuales son impermeables, de alta plasticidad en presencia de agua y susceptibles a formar flujos de lodos.
- Grupo Gualanday-San Juan de Río Seco, Tgy-Trs. En esta unidad se distinguen los siguientes niveles:

Nivel de arenisca, las cuales se encuentran en estratos de 0.2-0.5 m de espesor. Presentan contenido variable de cemento-matriz y por consiguiente su consistencia es de alta a baja. Su permeabilidad es predominantemente de origen secundario, por fracturamiento. Las areniscas son cuarzosas, de grano medio, subangular y subredondeado.

Nivel de arcillolitas abigarradas. El material de este nivel es plástico, impermeable, susceptible a la formación de flujos de lodos y se encuentra finalmente estratificado.

Nivel de conglomerados. Este nivel está integrado por bancos de conglomerados y de areniscas conglomeráticas. Los conglomerados consisten de clastos de chert-cuarzo lechoso y localmente fragmentos de rocas ígneas de origen plutónico, bien redondeados, con diámetros de 0.01-0.04 metros unidos entre sí por un ligamento en el cual predomina el cemento sobre la matriz, llegando a hacerse

necesario el uso de explosivos para su remoción. La permeabilidad primaria en los conglomerados tiende a cero.

Las areniscas son blandas, cuarzosas, de grano grueso a muy grueso, pasando a conglomeráticas. Su permeabilidad primaria es alta. Son susceptibles a la erosión por socavación.

— Formación Honda, Th. Esta unidad está integrada por una interestratificación de:

1. Arcillolitas abigarradas, impermeables y de alta plasticidad en presencia de agua.
2. Areniscas arcillosas de color gris verdoso de baja permeabilidad primaria. Presentan alto contenido de material de origen volcánico el cual ha alcanzado un avanzado grado de meteorización disminuyendo la permeabilidad primaria y aumentando la plasticidad de la roca.
3. Conglomerados finos y/o areniscas conglomeráticas los cuales presentan alta capacidad aunque baja resistencia. Su permeabilidad primaria es baja.

— Formación Mesa, Tm. En esta unidad se distinguen tres niveles, así: El inferior constituido por conglomerados de clastos gruesos de origen ígneo volcánico y sedimentario, bien redondeados y de presencia aluvial. Presenta alta permeabilidad primaria y baja compacidad. El ligamento es arenoso y areno-arcilloso.

El nivel medio está integrado predominantemente por material ígneo de tipo piroclástico, cenizas, lapilli y fragmentos de rocas volcánicas ácidas en estado relativamente inalterado, favoreciendo el desarrollo de una alta permeabilidad primaria. El material de este nivel es de baja

consistencia y su comportamiento físico es el de un suelo granular.

El nivel superior se comporta similarmente al inferior.

Correlación entre la génesis de las macroestructuras desarrolladas en las cuencas de Honda y Girardot y el comportamiento litoestructural-morfométrico-hidroológico-hidrogeológico y de estabilidad del material que las constituye.

En la subcuenca de Honda, el sinclinal de Guaduas-San Juan de Río Seco se desarrolló por reactivación de las fallas del Alto del Trigo y Cambrás-Salinas, las cuales definieron una zona donde está restringido el afloramiento de la unidad Gualanday-San Juan de Río Seco.

Al Oriente de la falla del Alto del Trigo la formación Gualanday no existe y al occidente de la falla Cambrás-Salinas, está cubierta por la Formación Honda.

El flanco oriental del Sinclinal Guaduas se encuentra fuertemente inclinado, adquiriendo localmente una posición invertida, permitiendo el afloramiento de los diferentes niveles de esta unidad en la vertiente oriental del Río Seco.

La estructura del pliegue sinclinal controla morfológica y topográficamente la cuenca del Río Seco, principal drenaje de la región. La morfológica de la vertiente oriental de este río es escalonada como resultado de la erosión diferencial sobre las diferentes unidades litológicas que afloran a consecuencia de las fuertes pendientes estructurales allí desarrolladas, originando drenajes angulares con segmentos rectilíneos controlados por la litología y por fracturamiento.

Sobre las litologías blandas se desarrolla drenaje

de tipo dendrítico.

La morfológica de la vertiente occidental del Río Seco está determinada por una superficie plana e inclinada donde se desarrolla un sistema de drenaje subparalelo y angular controlado principalmente por fracturamiento de la roca. Los cauces tienden a ser rectilíneos y sus taludes fuertemente inclinados. El Río Seco sigue a lo largo del eje del sinclinal; sus cauce es rectilíneo con taludes suavemente inclinados dependiendo de la pendiente estructural local.

El sinclinal de Guaduas determina una cuenca hidrológica sensiblemente igual a la cuenca hidrogeológica, o sea, aquella delimitada por cierres litoestructurales. Las características de permeabilidad de las diferentes litologías, la continuidad y disposición de éstas dentro del pliegue sinclinal, la densidad de fracturamiento en los niveles de material de mayor consistencia como son las formaciones Guadalupe y Gualanday, originada por los esfuerzos que desarrollaron el plegamiento y el carácter sinclinal del pliegue junto con el de las fallas inversas de Cambrás-Salinas y del Alto del Trigo, definen el comportamiento del agua subterránea en esta geoforma desarrollando acuíferos a diferentes profundidades con diferentes características de recarga y por consiguiente con diferentes características de potencialidad de recurso hídrico.

La estabilidad de los taludes naturales en la vertiente oriental del Río Seco tiende a ser menor que en la vertiente occidental ya que allí existe mayor contraste litológico, desintegración del material consistente y susceptibilidad a la formación de flujos de lodos, además las pendientes estructurales localmente son muy fuertes, mientras que, en la vertiente occidental, la pendiente estructural es más suave, la litología más homogénea, de mayor consistencia y con menor grado de desintegración.

En la subcuenca de Girardot los sinclinales de Melgar-Carmen de Apicalá y Prado se desarrollaron por la reactivación de las fallas de Quinini y Prado-Suárez al oriente y occidente del plegamiento, respectivamente.

Estas fallas delimitan una zona donde aflora la unidad Gualanday. Al oriente de la falla Quinini esta unidad no existe y al occidente de la falla Prado Suárez se encuentra cubierta por la formación Honda.

El flanco oriental del sinclinal de Prado conforma la vertiente oriental de esta geoforma sobre la cual afloran las unidades Villeta, Guadalupe y Gualanday.

La vertiente occidental de la geoforma está determinada por el flanco occidental del pliegue y allí aflora la unidad Gualanday.

Sobre la vertiente oriental se desarrolla una morfología escalonada como consecuencia tanto de la distribución de litologías contrastantes, como de la erosión diferencial ocurrida sobre ellas. El drenaje desarrollado en esta vertiente es angular a subdendrítico controlado parcialmente por lineamientos estructurales y litológicos y por la propia condición litológica del material. La pendiente topográfica no es uniforme, lo cual indica la no identidad de ésta con la pendiente estructural.

La vertiente occidental de la geoforma está determinada por el flanco de la estructura. Aquí, la pendiente topográfica es homogénea dado que está controlada por la pendiente estructural. El material en superficie corresponde a la unidad Gualanday. El drenaje desarrolla un sistema paralelo de cauces cortos con taludes fuertemente inclinados.

La estructura del pliegue controla morfológica y topográficamente el desarrollo del relieve. La depresión es por consiguiente de carácter

estructural. El drenaje principal sigue a lo largo del eje de la estructura adquiriendo una sinuosidad irregular.

Los sinclinales de Melgar-Carmen de Apicalá y Prado delimitan cuencas hidrogeológicas. La disposición espacial, la continuidad lateral, el carácter sinclinal de los pliegues, el carácter inverso a las fallas y las características de consistencia del material en ambas geoformas, sometidas a esfuerzos similares, desarrollan sistemas y densidades de fracturamiento igualmente similares entre sí, determinando el comportamiento del flujo subterráneo y de las características cualitativas de los acuíferos desarrollados a diferentes profundidades en estas geoformas.

La estabilidad de los taludes naturales en la vertiente oriental de la geoforma del sinclinal de Prado tiende a ser menor que en la vertiente occidental ya que allí existe heterogeneidad litológica y morfológica, presentando mayor susceptibilidad a los fenómenos de erosión. La vertiente occidental, el cambio, es homogénea en litología y estructura y presenta un material de relativa alta consistencia.

La zona Girardot-Tocaima-Agua de Dios es tectónicamente compleja y corresponde al límite entre las subcuencas de Honda y Girardot. Las geoformas aquí desarrolladas como son los pliegues anticlinales de Girardot y Agua de Dios al norte y sur del río Bogotá, respectivamente, y las fallas del río Bogotá y Prado-Suárez determinan una cuenca hidrológica y dos cuencas hidrogeológicas con características contrastantes en cuanto a la profundidad, condiciones de permeabilidad y comportamiento de aguas subterráneas.

La morfología del Cerro Alonso Vera coincide con el plegamiento del anticlinal de Girardot. Las vertientes corresponden a los flancos del pliegue, lo cual determina homogeneidad

litológica y de estabilidad en ambas vertientes.

El Cerro de Agua de Dios está conformado por un pliegue de tipo anticlinal tumbado hacia el norte, lo cual hace que la vertiente sur coincida con la pendiente estructural, mientras la vertiente norte lo hace con la contrapendiente estructural sobre la cual pasa la falla Prado-Suárez desarrollando un intenso fracturamiento en la roca de la unidad Guadalupe.

El drenaje en las vertientes del Cerro Alonso Vera es angular-subparalelo. Lo mismo ocurre en la vertiente sur del Cerro Agua de Dios mientras que en su vertiente norte el drenaje es desordenado y desintegrado sugiriendo un proceso de infiltración.

A lo largo del lineamiento de la falla Prado-Suárez ocurren frecuentemente fenómenos de inestabilidad.

CONCLUSIONES

- Las geoformas desarrolladas en las subcuencas de Girardot y Honda son genética y morfológicamente similares entre sí y han sido desarrolladas bajo eventos tectónicos comunes.
- Las características ingenieriles del material geológico guardan una estrecha relación en las dos subcuencas.
- Las características ingenieriles del material geológico dependen además de sus condiciones genéticas, de los cambios estructurales introducidos por eventos tectónicos.
- La similitud litológica estructural y morfológica de las subcuencas de Girardot y Honda permite delimitar o establecer zonas homogéneas en cuanto al comportamiento físico-ingenieril del material geológico.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, T.A. Paleogene nonmarine Gualanday Group, Neiva Basin, Colombia, and Regional Development of the Colombian Andes. Geological Society of America Bulletin, V. 83 VIII-72.
- ARGUELLO YEPES, Cesar. FORERO E. y Otros. Estudio Fotogeológico con chequeo de campo de la región de Prado-Dolores-Natagaima. Sureste departamento del Tolima. CIAF. 1977.
- BARRERO, L.D.: ALVAREZ A. DASSEM, T. Actividad ígnea y tectónica en la cordillera Central durante el cenozoico. *Boletín Geológico*. Vol. VII, I-1969, Nos. 1-3.
- BUCHELI, Fernando Y Otros. Estudio fotogeológico con control de campo de los alrededores de Dolores (Tolima), CIAF.
- BURGL, Hans. Sedimentación cíclica en el geosinclinal cretáceo de la cordillera Ori-

- ental de Colombia. *Boletín Geológico*. Vol. 7. 1959.
- CANDANEDO V., Norma y Otros. Estudio Fotogeológico con control de campo, de Prado y comarcas aledañas, CIAF, 1976.
- CEDIEL, Fabio. El grupo Girón, una malasa mesozóica de la cordillera Oriental. *Boletín Geológico*. Vol. XVI.
- DEPORTA, J. 1966. La Geología del extremo sur del Valle Medio del Magdalena.
- FAJARDO F., LLINAS R. The Geology of the Eastern Cordillera. Bogotá-La Mesa-Fusagasugá (1966). Geological field trips Colombia 1957-1978. Colombian Society of Petroleum Geologist and Geophysicists.
- FRANCO L.R., GOMEZ M.H. La geología del Valle del Alto Magdalena y áreas circundantes mediante el uso de imágenes ERTS. Revista CIAF. 1977-1978.
- HOWE, M.W. Nonmarine Neiva Formation (Pliocene), Upper Magdalena Valley, Colombia: Regional Tectonism. Geological Society of America Bulletin. VII-1974. V.-85. Nº 7.
- IRVING, E.M. La evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia. *Boletín Geológico*. Vol. XIX, Nº 2. 1971.
- JULIVERT, M. Las estructuras del Valle Medio del Magdalena y su significación. *Boletín Geológico*. Nº 6, 1961. Uis.
- La morfoestructura de la zona de Mesas al SW de Bucaramanga. *Boletín Geológico*. Nº 1, 1958. Uis.
- MARTINEZ PANFILO R., PECHO G. Víctor y Otros. Geología del área de Ibagué. CIAF. 1979.
- MOREIRA, Hilton. Estudio fotogeológico de la plancha 283 Purificación, departamento del Tolima y Huila. CIAF. 1978.
- TRIVIÑO, J. Evolución de la depresión del río Magdalena. Compilación Geológica Bibliográfica. CIAF. 1982.
- Interpretación estructural del extremo sur del Valle del río Magdalena, Colombia, a partir de imágenes de sensores remotos. *Boletín Geológico*. Bucaramanga, 1989.
- VAN DER Hammen T. Periodicidad climática y evolución de floras suramericanas del maestrichtiano y del terciario.
- Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes Colombianos. Servicio Geológico Nacional.
- VAN Houten, F. and TRAVIS, E. Cenozoic Deposits, Upper Magdalena Valley, Colombia AAPG, Bulletin. Vol. Nº 52, 1968.
- WELLMAN Samuel S. Stratigraphy and Petrology of the Nonmarine Honda Group (MIOCENE), Upper Magdalena Valley, Colombia. Geological Society of America Bulletin V-81. VII-1970.

MAPAS GEOLOGICOS

- Mapa Geológico de Girardot, plancha L-9, escala 1:200.000. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras.

- Mapa Geológico de Armero, plancha K-9, escala 1:200.000. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras.
- Mapas Geológicos de Cambao-Armero-Honda, escala 1:25.000 Geología del extremo sur del Valle Medio del Magdalena. J. de Pota. Boletín Geológico. Uis. 1966.
- Mapa Geológico-Geotectónico de los Andes más septentrionales de Colombia.
- Mapa Geológico General del Terciario Marino. Boletín Geológico. Vol. XIX. Nº 3.
- Esquema Geológico del Valle Medio del Magdalena. Las Estructuras del Valle Medio y su significación. Por M. Julivert. Boletín Geológico Nº 1. Uis.
- Mapa Geológico Regional del Valle Alto del Magdalena (Nevado del Tolima-Sabana de Bogotá), Escala 1:500.000. R. Franco L. H. Gómez, CIAF.
- Mapa Geológico de Colombia, escala 1:1.500.000. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras.
- Esquema estructural de las principales fracturas geológicas a lo largo de la depresión del río Magdalena, CIAF.

* * * * *