ACERIAS PAZ DEL RIO, S. A.
CORRESPONDENCIA INTERNA

Al contestar cítese este número
354800

Diciembre 14 de 1988

Lugar y Fecha

De: VICEPRESIDENTE EJECUTIVO
PRIMER VICEPRESIDENTE

Para: Ing. ARTURO RANGEL DUQUE
VICEPRESIDENTE DE OPERACION

Asunto:

Le acompaño fotocopia del trabajo "El Ferrocarril de Paz del Rio y los riesgos Geotécnicos" que a nombre de Acerias, presentó la firma Ingenieria y Geotecnia Ltda en el XIX Congreso Nacional de Ingenieria, organizado por la Sociedad Colombiana de Ingenieria el pasado mes en la ciudad de Popayán.

Atentamente,

FRANCISCO TRIANA MURCIA

anexo
ec: Dr. Benjamin Alvarado B. (Con anexo)
lbr.

anexo en:Biblioteca.

INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA.
INGENIEROS CONSULTORES

Bogotá, Noviembre 1 de 1988 748-222

Señores
ACERIAS PAZ DEL RIO S.A.
Atn. Dr. Francisco Triana
Carrera 8a. No. 13-31, Piso 7
Ciudad

Apreciados Señores:

Atentamente enviamos el original del trabajo "El Ferrocarril de Paz del Río y los Riesgos Geotécnicos", preparado por los Ingenieros de esta firma Manuel García López y Juan Manuel Martínez, para su presentación en el 19 Congreso Nacional de Ingeniería.

Sin otro particular, suscribimos cordialmente,

INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA.

Ing. JULIO E. MOYA BARRIOS
Gerente

cc Dr Rangel
B. Alvarado
Dic 14/88

Sociedad Colombiana de Ingenieros - Asociación Caucana de Ingenieros

19 CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA

EL FERROCARRIL DE PAZ DEL RIO Y LOS RIESGOS GEOTECNICOS

Por : Manuel Garcia López, I.C., MSCE. (*)
Juan Manuel Martínez R., I.C., M. en I.(**)
Asesores de Acerías Paz del Río S.A.

SINOPSIS

La cuenca del Río Chicamocha entre las poblaciones boyacenses de Belencito y Paz de Río presenta una variedad de problemas de índole geotécnica que van asociados con el tipo de materiales, el fallamiento geológico, el drenaje y las características climáticas de la región, entre otros factores. La existencia de recursos minerales en esta zona ha motivado el desarrollo industrial. Las obras de infraestructura necesarias han sido afectadas por dichos problemas y esto ha llevado al estudio cada vez más en detalle de los fenómenos geotécnicos.

El ferrocarril para transporte de materias primas de Acerías Paz del Río, S.A., está localizado a lo largo del cañón del Río Chicamocha, entre las poblaciones de Belencito y Paz de Río, Departamento de Boyacá. En 36 años de existencia del ferrocarril han ocurrido numerosos problemas de inestabilidad de laderas en ambas márgenes del río, y de socavación de su cauce, algunos de ellos muy graves por su magnitud y consecuencias. Se configura una situación de alta vulnerabilidad de la vía férrea y sus instalaciones complementarias, ante las amenazas físicas por deslizamientos, avalanchas y procesos de erosión. Para afrontarlas en forma sistemática, Acerías Paz del Río S.A. creó en 1.982 un Comité de Estabilidad, de carácter permanente, encargado de las actividades preventivas y correctivas necesarias para garantizar la estabilidad del ferrocarril. El Comité está integrado por personal directivo y técnico de la Empresa y Asesores en Geología y Geotecnia de firmas consultoras; reúne Geólogos, Ingenieros Geotécnicos e Ingenieros Civiles y de Transportes. Después de seis años de labores, la actividad del Comité ha sido bastante positiva, y se ha extendido a otras áreas como la de Minería, y la colaboración de la Empresa a los municipios de la región que se han visto seriamente amenazados por los fenómenos de inestabilidad del terreno, en especial el de Paz de Río.

El presente trabajo se basa en los de García y Martínez (1988) y Alvarado, García, Reyes y Jiménez (1987); destaca algunos aspectos técnicos relacionados con el dise o y construcción del ferrocarril, los problemas geotécnicos que se han presen tado, y el sistema adoptado por ACERIAS PAZ DEL RIO S.A. para enfrentarlos.

(*) Socio y Director de Estudios Geotécnicos de Ingeniería y Geotecnia Ltda., Ingenieros Consultores, Bogotá, Colombia. Profesor Asociado de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

(**) Ingeniero Especialista de Ingeniería y Geotecnia Ltda., Profesor de la Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.

INTRODUCCION

Acerias Paz del Rio S.A., extrae el mineral de hierro y el carbón para su producción, de yacimientos situados en los alrededores de la población de Paz de Rio, 35 km al norte de Belencito, sitio éste donde se construyó la Siderúrgica, que entró en operación hace 40 años. Para el transporte de los materiales se aprovechó un tramo de 12 km del ramal nordeste de los Ferrocarriles Nacionales entre las poblaciones de Belencito y Corrales, el cual fué prolongado hasta Paz de Rio, por el fondo del cañón del Rio Chicamocha (ver la Figura No.1). Desde un comienzo se reconocieron las desfavorables condiciones topográficas y geológicas del terreno, pero el estudio de otras posibles rutas llevó a descartarlas por ser impracticables o anti-económicas, de suerte que el trazado siguiendo el rio quedó establecido como el único factible. "El Ferrocarril del Nordeste se concibió en los años 20 como una via troncal, que partiendo de Bogotá, llegaria a Santa Marta siguiendo primero el altiplano de Bogotá-Sogamoso, para tomar, luego, el cañón del Rio Chicamocha hasta la población de Capitanejo, en el Departamento de Santander. El trazado se encomendó a un sindicato belga asesorado por un grupo de veteranos ingenieros nacionales expertos en ferrocarriles. La construcción avanzó rápidamente hasta Sogamoso, donde se suspendió por causa de la crisis económica del año 30, y por los fuertes costos que ya se contemplaban para su paso por el cañón de Chicamocha, donde se conocian las fuertes pendientes de las laderas, la inestabilidad de los terrenos y la frecuencia de derrumbes.

Cuando en 1948 el Instituto de Fomento Industrial decidió construir la planta siderúrgica en Belencito, obviamente contempló la prolongación del ferrocarril hasta Paz de Rio, punto forzado donde se encuentran reunidos los yacimientos de mineral de hierro más grandes del pais y ricos yacimientos de carbón coquizable.

Como el Consejo Nacional de vias de comunicación y los Ferrocarriles Nacionales habian aprobado yá el trazado y las especificaciones generales de la línea, el IFI solicitó del Gobierno la construcción del trayecto Sogamoso-Paz del Rio. Hasta Belencito se llegó fácilmente."Alvarado (1981) luego de una inspección geológica y geotécnica del tramo Belencito - Paz de Rio se concluyó que en vista de los innumerables deslizamientos, el trazado "siguiendo el rio quedó establecido como el único prácticamente factible". Más adelante dice Alvarado: " Por Decreto-Ley No. 04051 de 1949 se ordenó la construcción del Ferrocarril por cuenta de la Nación y la obra fue contratada por el Ministerio de Obras Públicas con la firma danesa Christiani & Nielsen Ltda. Mas tarde (tal vez en 1951) el Gobierno resolvió traspasar la propiedad del Ferrocarril a la antigua Empresa Siderúrgica Nacional de Paz de Rio, pero la construcción continuó bajo las órdenes del Ministerio." Se preveia la necesidad de "construir muros y buenos drenajes" y, en general, la de hacer "un continuo y cuidadoso mantenimiento", (Alvarado et al, 1948).

El ferrocarril, esencial para la operación de Acerias, fué puesto en servicio en Octubre de 1.952, y en el transcurso del tiempo se ha mejorado su rendimiento introduciéndole una serie de modificaciones fundamentales, como su electrificación, terminada en marzo de 1.964, siendo el único ferrocarril de este tipo en Colombia. Actualmente se transportan 3200 toneladas diarias de carbón y mineral de hierro.

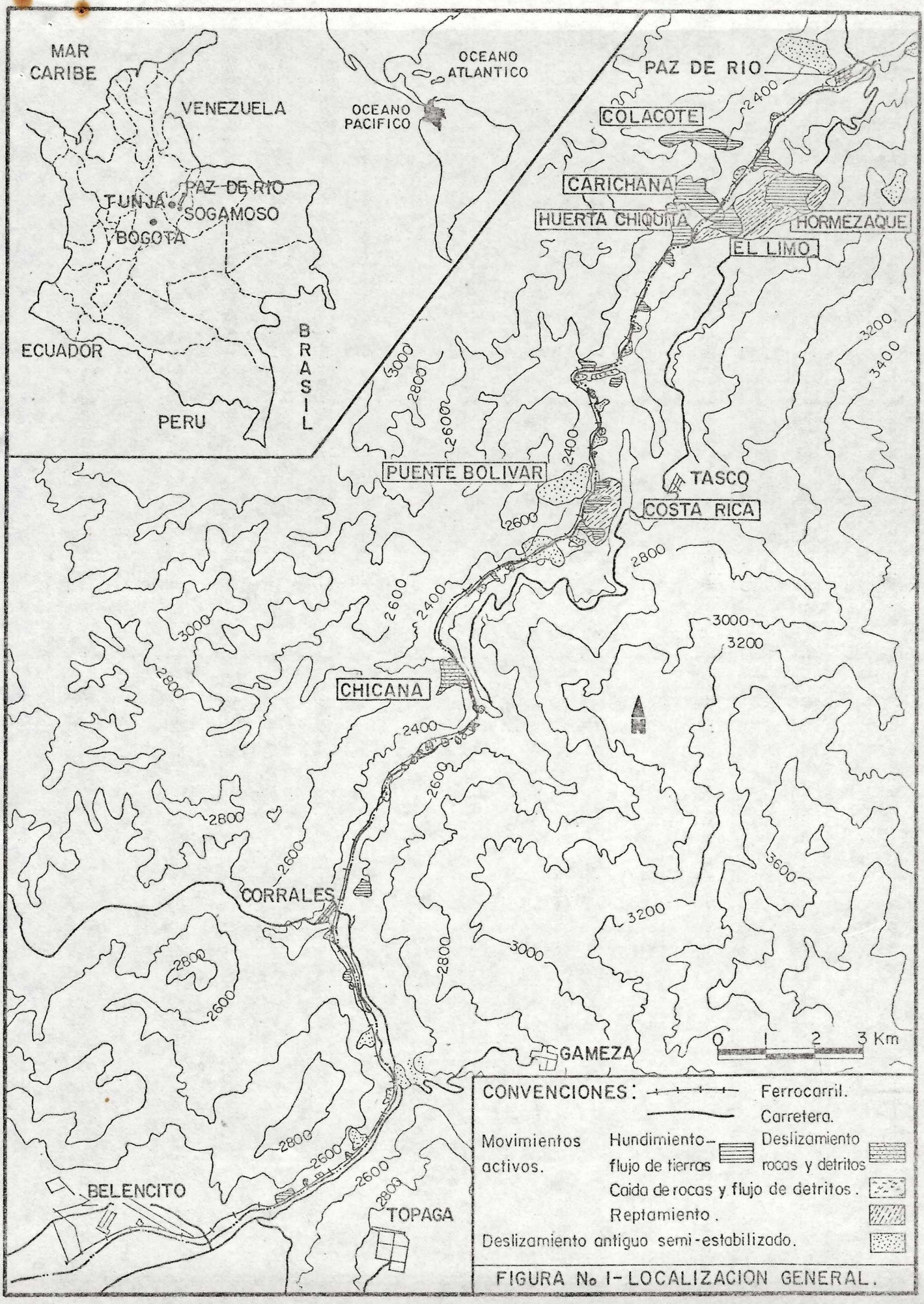


FIGURA No. 1- LOCALIZACION GENERAL.

SITUACION GEOLOGICA

La región entre Belencito y Paz de Rio está constituida por dos distintas provincias geológicas, separadas por la gran falla de Soapaga, de rumbo SW-NE (Figura No.2). Al occidente de la falla se levanta el Macizo de Floresta, un área compleja formada por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias del Paleozoico, sobre las cuales yacen en discordancia depósitos continentales del Jurásico y estratos marinos del Cretáceo inferior. Al oriente de la falla se extienden los terrenos plegados de la serie neocretácico-terciaria, constituidos principalmente de formaciones lutíticas, de origen marino en la parte inferior y continentales en la mitad superior de la columna estratigráfica.

La deformación tectónica de la serie neocretácico-terciaria es una combinación de pliegues y fallas, pero predomina el estilo plicativo, siguiendo los mayores plegamientos la orientación SW-NE. El anticlinal contiguo a la falla de Soapaga está afectado por numerosas fallas y fuertes cabeceos axiales, que lo desmembran en pequeñas estructuras discontinuas. La zona crestal de este anticlinal se encuentra desmantelada por la erosión y en ella se halla encajado actualmente el curso del Rio Chicamocha entre Belencito y Paz de Rio.

Dentro de las formaciones terciarias en el área de interés, predominan las areniscas a veces conglomeráticas y las lutitas; es frecuente en el paisaje de la región encontrar plataformas y repisas, o escarpes cuasi verticales de gran altura, formados por las primeras, que emergen en las laderas más suaves dejadas por las lutitas. El conjunto aparece casi siempre con intensa fracturación y el proceso dominante es la erosión. Es notable el deterioro de laderas bajo los ciclos climáticos caracterizados por dos periodos de lluvias intensas, Marzo-Abril-Mayo, y Septiembre-Octubre-Noviembre, y los seis meses restantes de periodo seco, a veces extremo. (Ver en la Figura No.2 la distribución de lluvias en dos estaciones meteorológicas de la región).

De gran importancia para los estudios de estabilidad son los depósitos postandinos, los cuales presentan mucha irregularidad e historia geológica compleja (Reyes, 1984). Los depósitos aluviales son probablemente los mas antiguos de la región (Pleistoceno Inferior). En vecindades de la población de Corrales (Figura No.1) aparecen terrazas de unos 25 m de espesor y al norte de Gámeza se encuentran acumulaciones de 100 m de espesor, a una altura de 400 m respecto al nivel del Rio Chicamocha, lo cual indica profundos cambios fisiográficos desde el momento de su acumulación. Los depósitos lacustres y fluvio-lacustres mas importantes se hallan en el valle Sogamoso-Belencito. Durante las excavaciones para la construcción de la Fábrica de Cemento de Paz del Rio S. A. en inmediaciones de la Siderúrgica de Belencito, se encontraron restos fósiles de mamíferos (Pleistoceno Final) dentro de arcillas limosas blandas, a 8 m de profundidad.

Los depósitos típicos de acarreo glaciar cubren extensos sectores por encima de los 3200 m sobre el nivel del mar. En el páramo al oriente de Tasco están constituidos por bloques aislados de arenisca, hasta de 20 m, englobados en arcillas limosas y arenosas grises a amarillas. Estos materiales se encuentran en muchos casos a cotas mas bajas por efecto de deslizamientos sucesivos, lo cual ha llevado a la formación de terrenos mixtos. La población de Tasco está construida sobre la zona frontal de uno de estos depósitos, y mas al norte de ella se reconocen acumulaciones coluvio-glaciales en sectores de las cabeceras de las zonas inestables El Limo - Hormezaque (Figura No 1).

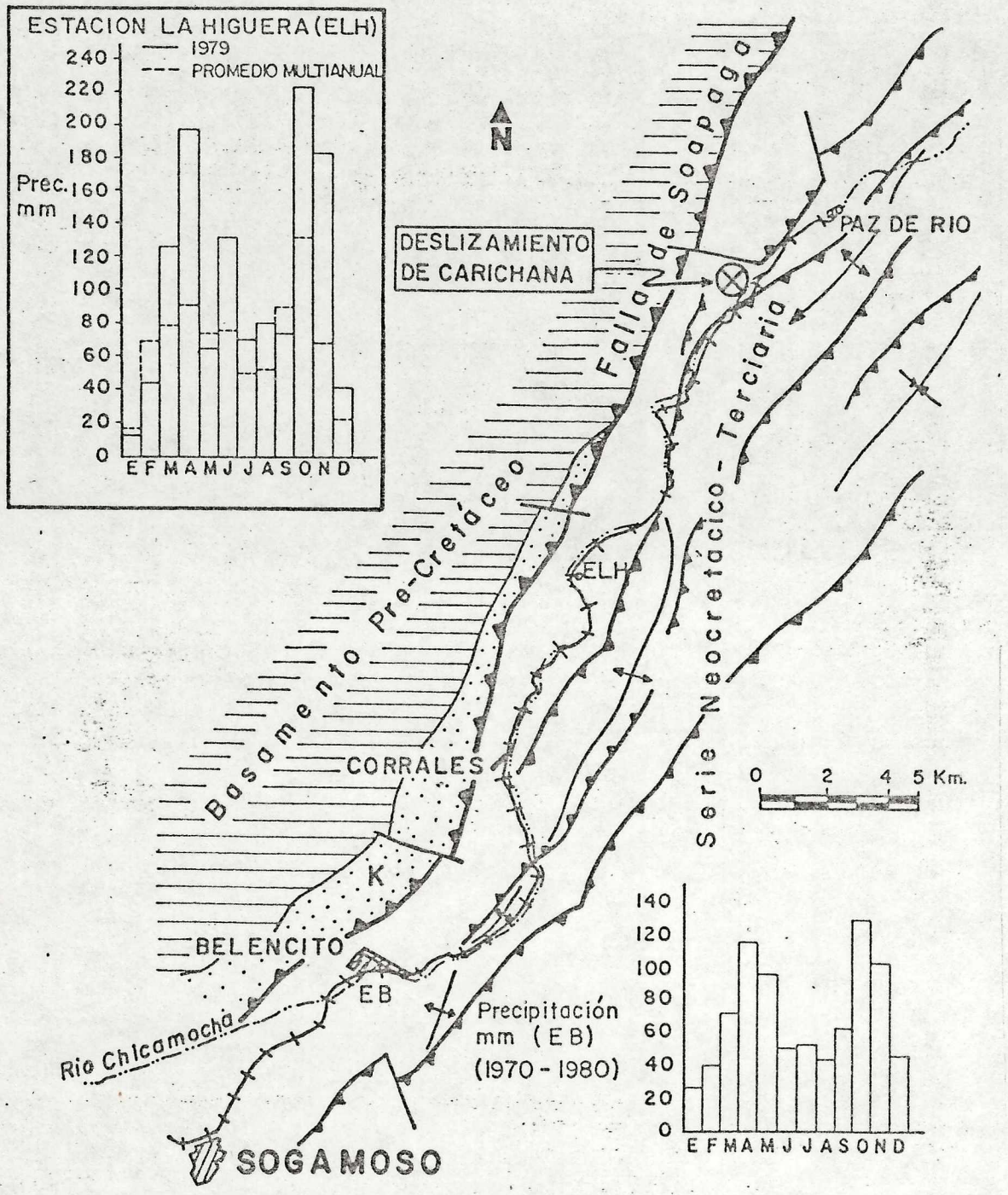


FIGURA No. 2 - Geología y pluviosidad de la región.

Entre los depósitos post-glaciales se mencionan las terrazas fluviales que aparecen a lo largo del Río Chicamocha, entre Belencito y Paz de Río, y los coluviones. Hay algunos casos donde la terraza está constituida por sedimentos finos, tales como limos, arenas y gravillas, que indican represamientos temporales del río a causa de grandes deslizamientos en las laderas de sus márgenes; uno de estos depósitos se encuentra aguas arriba de la zona inestable Carichana-El Limo, a unos 30 m de altura sobre el cauce actual del Chicamocha.

Los depósitos coluviales abundan en la región. Algunos abarcan decenas de hectáreas y corresponden a deslizamientos antiguos masivos y profundos como es el caso en las zonas de Costa Rica - Puente Bolivar, Huerta Chiquita, Carichana y Paz de Rio (Figura No 1). En varios sectores se encuentran depósitos superpuestos de flujos de lodo separados por horizontes orgánicos sepultados; en otros, hay depósitos fluvio-glaciales y aluviales cubiertos por coluviones más recientes.

NOCIONES DE RIESGO

Aunque cada problema de riesgo debe ser examinado individualmente, de acuerdo con su situación particular, es interesante plantear algunos conceptos generales basados principalmente en A. Hansen (1984) y E. Brabb (1984), que ya habia tocado los autores de este informe en otros textos (Garcia, 1986., Martinez y Garcia, 1988).

Definición del tipo de riesgo.

Es necesaria para tratar de unificar conceptos, dado que los distintos procesos geomorfológicos son susceptibles de diferentes métodos de evaluación. La tendencia reciente de definición del riesgo abarca varios aspectos:

- Amenaza (hazard). Significa la probabilidad de ocurrencia, de un fenómeno potencialmente destructivo, en un periodo especifico de tiempo y en un area dada.

- Aspecto economico. Los elementos en riesgo están dados por la poblacion, propiedades y actividades economicas, incluyendo servicios públicos, en riesgo en un área dada.

- Vulnerabilidad. Significa el grado de pérdida de un elemento dado o un grupo de elementos en riesgo, resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud dada.

- Riesgo Especifico. Significa el grado esperado de perdidas debido a un fénómeno natural particular.

- Riesgo Total. Significa el numero esperado de pérdidas de vidas, personas lesionadas, danos a propiedades e interrupcion de la actividad económica debido a un fenomeno natural particular.

La magnitud del riesgo para una zona o región determinada puede ser la resultante de evaluar las siguientes cuatro componentes:

a. Riesgo para la vida.
b. Peligro para estructuras.
c. Peligro (permanente, cíclico o temporal) para el bienestar social.
d. Peligro de pérdida del terreno.

En relación con el proceso que causa el riesgo, un movimiento rápido de materiales de la corteza terrestre en una región dada, por ejemplo una avalancha, puede ser una amenaza mas directa a la vida que un flujo lento de tierras, aunque ambos pueden constituir un peligro indirecto al estar en potencia de ocasionar colapso de estructuras. Es posible establecer diferencias entre una falla rapida y otra

muy lenta de una ladera, en términos de la velocidad necesaria para esquivarlas o, en otras palabras, del tiempo disponible para escapar a sus efectos, en primer lugar por la población y después por equipos y bienes portátiles o móviles.

Calidad de la evaluación.

Los riesgos geotécnicos pueden ser evaluados en tres formas básicas, según Hansen (op. cit.):

a. El método histórico, en el cual se recolectan todos los datos previos registrados sobre la magnitud, frecuencia y fecha de los eventos.

b. El análisis geomorfológico, en el cual se recoge toda la evidencia de campo (las señales dejadas en el paisaje natural, las columnas estratigráficas) sobre la frecuencia y magnitud de los eventos en cuestión.

c. Experimentación, modelos y procedimientos analíticos y de cálculo, para suministrar información cuantitativa adicional sobre los procesos responsables de cualquier evento riesgoso.

En el caso del valle del Alto Chicamocha se ha acudido hasta el momento, de preferencia, a los dos primeros. En el país, se ha trabajado en la formulación de un modelo para el estudio de avalanchas y flujos de lodo y el tratamiento de los riesgos consiguientes; dicho estudio, que entraría en la clase c de las tres anteriores, se basa en la reconsideración de las avalanchas disparadas por el Volcán Nevado del Ruiz en Noviembre de 1985. La aplicación de éste último se ha iniciado en la región para el caso de las avalanchas de la Quebrada La Chapa, que se describirán más adelante.

Una evaluación completa del riesgo exige la utilización de más de un método, siendo preferible emplear los tres en conjunto. Sin embargo, siempre habrá un elemento subjetivo que dependerá en parte de la experiencia del observador y que puede reducirse al aplicar técnicas que sean tan objetivas como lo permitan las condiciones financieras , de tiempo, y de política, impuestas al proyecto de evaluación de riesgo.

COMITE DEL FERROCARRIL

En el valle del Alto Chicamocha son frecuentes los movimientos de falla de taludes, desde las caídas de roca hasta los casos de hundimiento-flujo de tierras. Los principales se indican en la Figura No.1, con su nombre entre rectángulos. Todas las corrientes de agua han indentado profundamente, de manera que fluyen por cañones o cárcavas de paredes verticales; esto favorece la inestabilidad local y la ocurrencia de flujos y avalanchas de detritos en los aguaceros fuertes.

La Empresa venía afrontando muchos de estos problemas desde la construcción del ferrocarril, hasta llegar a una condición crítica con motivo de la reactivación del gran deslizamiento de Carichana en Diciembre de 1.979, y el del Limo un poco después. El Río Chicamocha fué represado y un tramo de la vía férrea destruído por el primero; la reconstrucción tardó un año y fué dificultada en alto grado por el movimiento de falla del segundo. A comienzos de 1.982 creó un Comité permanente encargado de las actividades preventivas y correctivas necesarias para la estabilidad de la banca del ferrocarril.

En recomendaciones a la Empresa, Alvarado (1.981), después de destacar la gigantesca tarea de afrontar la inestabilidad y "los cuantiosos gastos que demandará el sostenimiento de la vía", expresó: "La magnitud de esta labor sobrepasará las posibilidades de atenderla con el personal que normal y rutinariamente está encargado de mantener el tráfico y operar el ferrocarril. En consecuencia, debería organizar una Comisión permanente y bastante autónoma, dirigida por un ingeniero geotécnico, ampliamente experimentado, quien pudiera organizar un grupo de trabajo adecuado, y eventualmente pudiera recurrir a la asesoría extranjera. Lo importante sería responsabilizar al grupo de trabajo y dotarlo de la suficiente agilidad para el oportuno suministro del personal y elementos necesarios".

"La labor principal de la Comisión sería la de inspeccionar permanentemente la línea; estudiar las soluciones de defensa propuestas, ó las que ella proponga; delimitar los terrenos por comprar y ejecutar las obras correspondientes, siguiendo el orden de prioridad que indiquen sus investigaciones."

En agosto de 1.981 se encomendó a Ingeniería y Geotecnia Ltda. la elaboración de un Programa de Asesoría. El objeto del programa, aceptado más tarde por la Empresa, abarcaba: " el estudio, control, prevención y corrección de problemas de estabilidad de taludes; control de cauces para evitar hasta donde sea posible los efectos de avenidas, especialmente la socavación de márgenes y el ataque a estructuras; estudio de medidas de drenaje superficial y subterráneo, locales y en áreas extensas, para contener procesos de erosión e inestabilización de laderas; planeación y ejecución de programas de investigación de mecanismos de falla y de la efectividad de las medidas puestas en práctica; diseño y supervisión de la construcción de las obras que se recomienden a partir de los estudios realizados; otras labores complementarias que surjan a lo largo del desarrollo del programa". (García, 1981).

Como el Comité para cumplir con su objetivo final, de procurar que el tráfico férreo no se vea interrumpido por problemas de estabilidad, necesitaba contar con una organización que agilizara la ejecución de sus recomendaciones, fué integrado por los funcionarios de la Empresa autorizados para estudiar y dar su concepto sobre los proyectos correspondientes, (para presentarlos a la aprobación de la Directiva), además de los Asesores en Geología y Geotecnia encargados de la parte técnica, y de un Coordinador responsable de la ejecución de los trabajos. Ver la Figura No.3. El Comité entró en funciones en Marzo de 1.982. Los Directivos de la Empresa hicieron hincapié en "la importancia de ajustar las obras futuras y el trabajo del Comité a los plazos, presupuestos y programas aceptados por la Junta Directiva, y según las necesidades de la División de Servicios, la Subdivisión de Transportes y el Ferrocarril mismo". Se acordó actuar mediante reuniones mensuales y cuando lo requirieran las situaciones de emergencia.

ACTIVIDADES DEL COMITE

Como era lógico, las labores iniciales del Comité consistieron en la recopilación, evaluación rápida y actualización de la información técnica previa, los estudios geológicos y geotécnicos, levantamientos topográficos, inventarios de zonas problemáticas, exploración del subsuelo y ensayos de laboratório. De inmediato se acometió el tratamiento de la zona inestable Carichana-El Limo, y más tarde el de otro casos; los principales se describen a continuación.

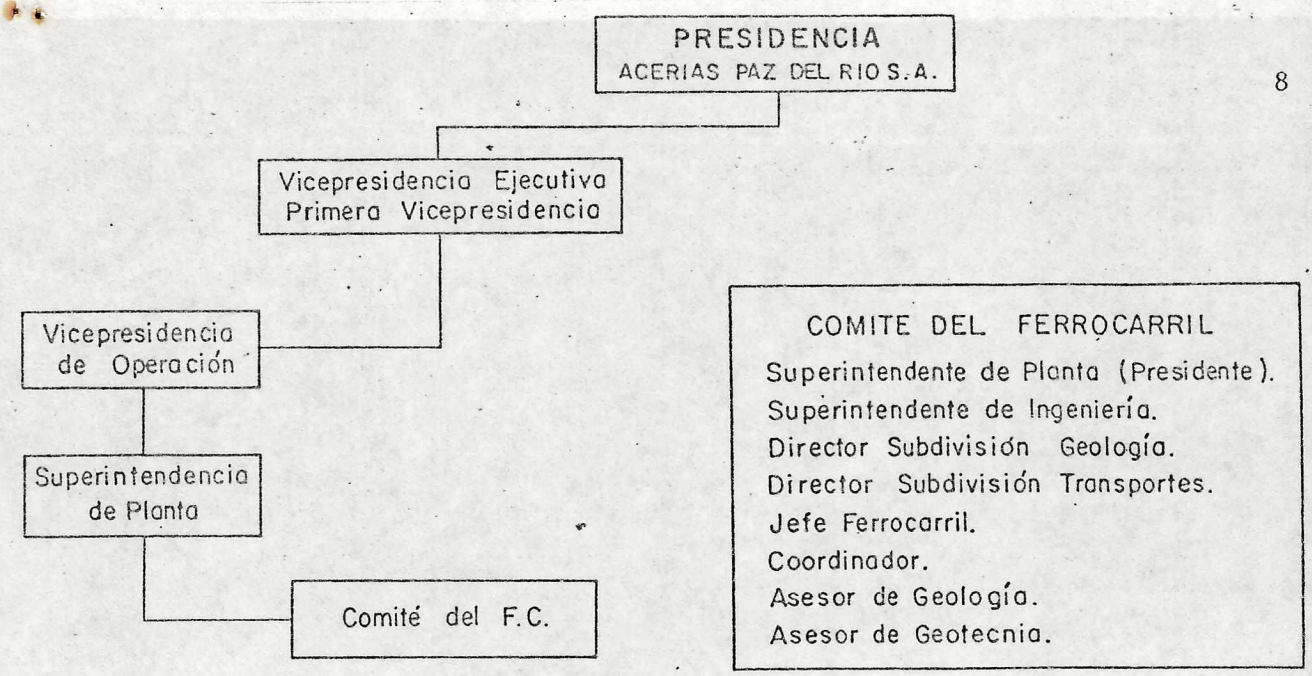


FIGURA No. 3 - Organización dada al Comité.

Deslizamiento de Carichana

Al amanecer del 10 de diciembre de 1.979, se inició un gran deslizamiento de tierras de 350 m de ancho, 900 m de largo y alrededor de 45 m de profundidad promedio, sobre la margen izquierda del Río Chicamocha, el cual se represó al ser levantado su lecho unos 15 m, originando un embalse de más de 3 km de largo que inundó terrenos agrícolas a ambos lados del río. El ferrocarril, que en la zona ocupa la margen derecha, sufrió la destrucción directa de un tramo de 700 m, y numerosos daños locales de la banca o de instalaciones auxiliares en una longitud de 2,5 km, por efecto del embalse (Figura No 4).

El deslizamiento fué de tipo complejo, con hundimientos sucesivos y traslación general, sobre superficie de falla compuesta. Ocurrieron también varios deslizamientos satélites en los contornos del inicial, con hundimiento y flujo de detritos hacia la hoya del gran derrumbe. Dos de éstos (A y B en la Figura No.4) alcanzaron magnitud apreciable y han contribuído a acentuar los movimientos de la masa principal.

El cuerpo deslizado es un coluvión formado por bloques de arenisca y fragmentos de arcillolita con ocasionales bolsas o lentes de carbón, embebidos en una matriz arcillo-limosa de consistencia firme que predomina en el conjunto. Se emplaza en la base de las Areniscas de la Formación Socha (Paleoceno). Las evidencias geomorfológicas y el estudio de fotografías aéreas de años anteriores, permitieron establecer que el terreno movido correspondía con un antiguo deslizamiento de proporciones mayores que el actual, cuyo avance frontal condicionó la forma del curso del río en el sector.

Según Reyes (1.980, 1.987), se distinguieron dos unidades con movimiento diferencial, (Figura No.5). La primera, de menor tamaño, de carácter rotacional, mostró una zona de hundimiento en correspondencia con el frente de la unidad superior, y una zona de cabalgamiento a la altura del cauce del río, observándose levantamientos hasta de 35 m con respecto a la posición inicial del talud; la segunda, principal y superior, presentó un hundimiento de 20 a 25 m en la cabeza, con

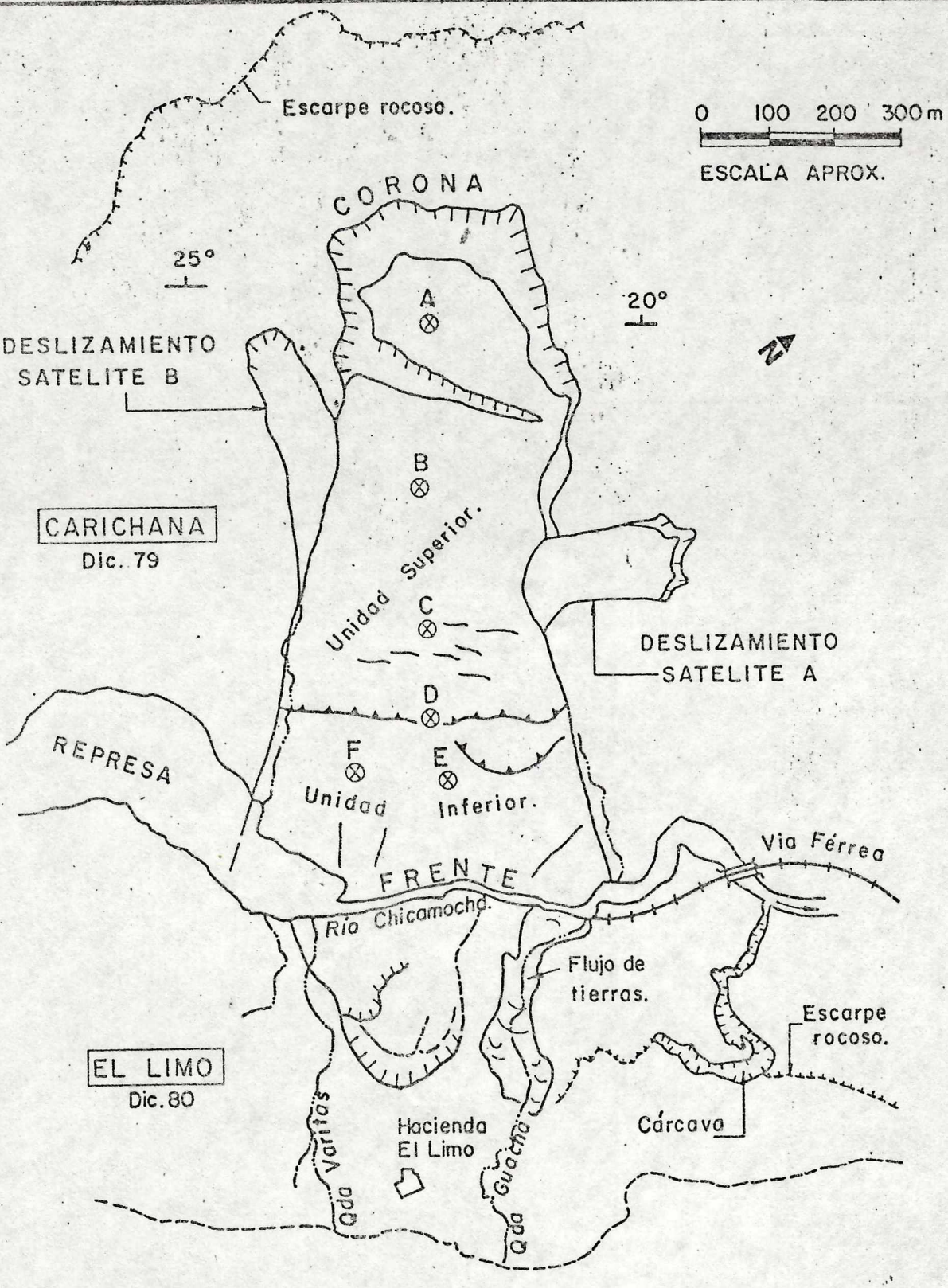


FIGURA No 4 - Zona Inestable Carichana - El Limo.

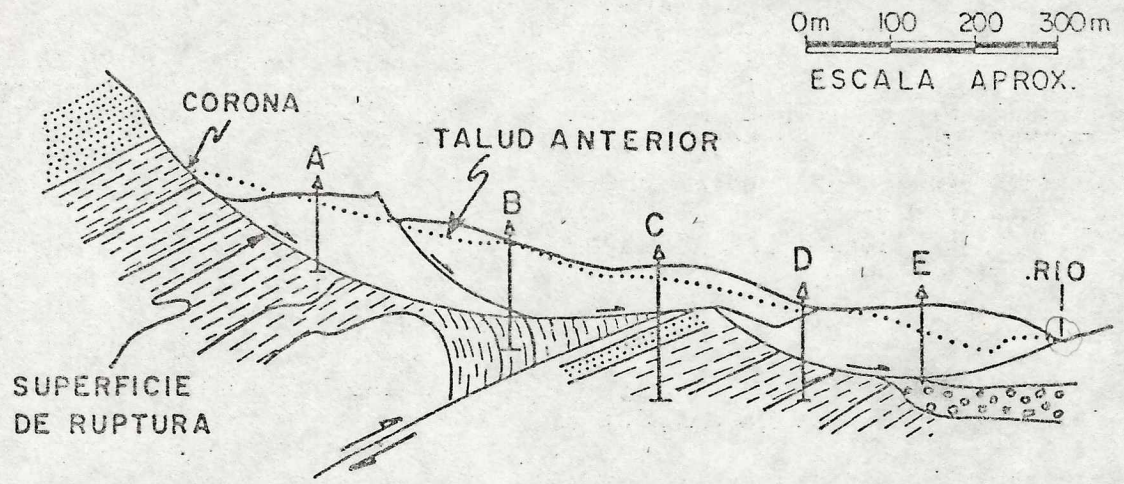


FIGURA No. 5 - Corte longitudinal por el eje mayor del deslizamiento de Carichana. (A,B,... perforaciones).

desplazamiento neto de 52 m sobre el substrato. La corona de forma semicircular seguía la linea de nivel 2.460 msnm en una longitud de 250 m y doblaba hacia ambos flancos para completar un perímetro de 800 m. El movimiento intenso continuó al menos durante los 30 dias siguientes, a una tasa entre 0,5 y 1,0 m/dia; tres dias después de iniciado el fenómeno se formó un escarpe secundario que dividió en dos partes la unidad principal. (Ver la Figura No.4).

Entre las causas principales de la reactivación de Carichana, se han contemplado los efectos de la infiltración (incrementos notables de la presión de poros, saturación), al final de un periodo largo de lluvias intensas en el segundo semestre de 1979, descrito en el histograma de la Estación La Higuera en la Figura No.2, y la acción de un sismo ocurrido el 23 de noviembre de dicho año, con epicentro en una zona del occidente de Colombia, a raiz del cual hubo numerosos desprendimientos en la región Belencito-Paz de Río. Se anota además la influencia del tectonismo, pues el área de Carichana al igual que la mayor parte de los deslizamientos fósiles y recientes registrados, se localiza a lo largo de la falla geológica de Soapaga, a la cual se le asigna cierto grado de actividad. También se ha dado alguna consideración al efecto de profundización del cauce del río, que en la zona adquiere régimen torrencial. En grado mucho menor se cuenta la influencia de una actividad minera local y rudimentaria, para explotación de varios mantos o bolsas de carbón en socavones, tanto en las colinas rocosas que enmarcan el derrumbe como en el cuerpo mismo de éste.

La reconstrucción de la línea férrea constituyó una tarea formidable para la Empresa. Incluyó la excavación de un canal provisional para el río, en el borde de la pata del deslizamiento, aproximadamente en la posición que podría tener la carrilera; casi simultáneo se excavó otro canal dentro de la pata del derrumbe, paralelo y muy cercano al primero, por el cual se encauzó la corriente de agua, procediendo a sellar la entrada del inicial, el cual se destinó para reinstalar la vía férrea. La operación completa duró un año, de diciembre /79 a diciembre/80, e implicó el movimiento de cerca de 1'800.000 m de tierra del deslizamiento, con empleo de 63.500 horas de maquinaria.

Durante este período hubo que transportar 453.000 ton de mineral de hierro y carbón por la Carretera Paz de Río-Belén-Duitama-Belencito, con una longitud de más de dos veces la del ferrocarril. Al terminar el segundo canal fué posible organizar un transbordo de materiales sobre el terraplén que quedó entre los dos canales; los minerales eran traídos por ferrocarril hasta un puente metálico sobre

el rio, vecino al flanco izquierdo del deslizamiento, estructura a la cual se le adicionaron tolvas para descarga de fondo; allí eran vaciados a volquetas que circulaban casi 1 km por el terraplén hasta otras instalaciones provisionales de carga a carros del ferrocarril, para su traslado final hasta la Siderúrgica. Más de 100.000 ton fueron transportadas por este procedimiento.

Puede decirse que la Empresa vió seriamente comprometidos sus recursos económicos a raiz de todo lo anterior, sumado a los costos de las medidas de estabilización del deslizamiento de Carichana y El Limo, otro que se activó sobre la margen opuesta del rio, al cual nos referiremos después.

Medidas Correctivas:

En la planeación y desarrollo de medidas correctivas tuvieron gran influencia tres factores: el gran tamaño de la masa en estado de falla, la limitación de recursos económicos y la necesidad de evitar en lo posible nuevos movimientos que pudieran afectar el funcionamiento del ferrocarril. Se puso en práctica la conformación de la superficie del terreno deslizado por medio del terraceo, el relleno de depresiones o lagunas y el rebanado de montículos o protuberancias locales; la excavación de un sistema de zanjas y canales de desague; la construcción de filtros en trinchera con materiales granulares gradados ; el escalonamiento del talud de más de 30 m de altura de la pata del deslizamiento, en el borde del canal ocupado por el rio; la protección de las márgenes del canal contra socavación, por medio de enrocados, estructuras de gaviones y pilotes metálicos hincados (rieles del ferrocarril); la arborización de toda la zona.

El programa de trabajo fué revisado y complementado por Golder Asociados, asesores temporales de la Empresa (Brown y Rippere, 1984); tanto éstos como los integrantes del Comité, han contemplado el drenaje profundo mediante galerías subterráneas, e incluso, la colocación del ferrocarril en un túnel excavado en la roca bajo la base del deslizamiento. El alto costo de estas obras, en una etapa de esfuerzos por la recuperación financiera de la Empresa, ha llevado a descartar o por lo menos a aplazar la consideración formal de esos proyectos.

El Comité recomendó la colocación de dos series de drenes horizontales de 60 a 100 m de longitud, localizadas en la pata y una zona intermedia del deslizamiento; la Empresa dió su aprobación para desarrollar este programa, lo cual se está adelantando actualmente.

Instrumentación:

Desde 1982 se colocó una serie de puntos de referencia en varias filas en la pata de Carichana, el terraplén intermedio y el cuerpo, flancos y corona del deslizamiento de El Limo. Su movimiento se controla mediante lecturas mensuales con distanciómetro. Ingeniería y Geotecnia Ltda. desarrolló un programa de microcomputador que permite la interpretación de datos, la representación gráfica de movimientos y su correlación con las lluvias registradas en una estación meteorológica que se estableció en la vecindad del flanco izquierdo de Carichana. (García-López y Amórtegui, 1.985; Rodríguez, 1.986).

El desplazamiento promedio de Carichana ha variado entre 8 y 15 cm/año. Las áreas de la parte inferior de ambos flancos muestran mayor movimiento y alteración de materiales. Se anota que durante los años 1.982 a 1.985, el terraplén se movía hacia el occidente, solidario con el deslizamiento de El Limo, pero despues de

lograr una notable estabilización de este último, en proceso que culminó en el segundo semestre de 1.985, el terraplén ha comenzado a desplazarse hacia el oriente, junto con Carichana, según el análisis de mediciones de 1.986 (Garcia-López y Rodríguez, 1.987). Las implicaciones de este cambio en el comportamiento de la zona inestable se encuentran bajo cuidadoso estudio en el momento de escribir el presente artículo.

Deslizamiento de El Limo.

Este deslizamiento ocurrió enfrente de Carichana (Figura No 4), poco después de iniciada la excavación del primer canal para desague del embalse. Causó varios problemas durante la construcción, en especial el cerrado y levantamiento del canal y las complicaciones de manipulación de materiales arcillosos blandos, de la pata del deslizamiento.

Con grandes dificultades y merced a trabajos correctivos de corta duración, casi siempre relacionados con drenaje superficial, descarga por remoción de materiales en la parte superior y colocación de rellenos de contrapeso en sectores de la pata, los técnicos de la Empresa (con la asesoría temporal de la firma consultora colombiana Hidroestudios Ltda.) pudieron completar los dos canales que ya se mencionaron y restablecer la vía férrea. A pesar de todo la carrilera mostraba con frecuencia desplazamiento horizontal y sobre todo vertical, por avance de la pata del Limo. También se producía el avance de Carichana con la consecuencia de tender a cerrar el canal de flujo del río, el cual entonces inició un proceso de socavación intensa y permanente que amenazó la existencia del terraplén divisorio de los canales, y desde luego al ferrocarril.

En 1.980 se ejecutó un programa de exploración del subsuelo con 8 perforaciones verticales hasta profundidad de 20 m. El perfil estratigráfico mostraba materiales coluviales heterogéneos y patrones muy erráticos de flujo del agua subterránea. Algunas de las perforaciones fueron cizalladas por deslizamientos superficiales locales. En ese tiempo se instalaron 3 drenes horizontales de unos 15 m de longitud; debido quizás a lo cortos, no tuvieron efectividad alguna.

Es de interés reseñar aquí algo sobre la historia de la zona Carichana-El Limo, en relación con la construcción del ferrocarril, con base en recopilación muy completa debida a Alvarado (1.981). Inicialmente la línea iba por la margen izquierda del río, o sea, en la actual pata de Carichana. En 1.951 el Ingeniero Jefe del Contratista "anotó un serio peligro de derrumbe" en este sitio y "propuso construir una variante por la margen derecha del río (El Limo)." Los geólogos conceptuaron en favor de la variante aunque establecieron que "también presentaba una zona de unos 300 m afectada por antiguos derrumbes", pero en todo caso "mostraba menores desventajas" que las del trayecto de la margen izquierda. Durante la construcción del tramo se presentaron numerosos problemas por "continuos derrumbes en El Limo, los cuales en la noche cerraban la banca que se había abierto en el día"; estos problemas hicieron crisis en enero y abril de 1.952 y llevaron a la suspensión parcial de la obra y su casi abandono por el contratista. El Profesor William Housel asesor de la Empresa en ese entonces, realizó visita al área en Junio del 52; coincidió en sus puntos de vista con los geólogos de ingeniería vinculados al proyecto (B. Alvarado y V. Suárez Hoyos) y dió una serie de recomendaciones para obras de corrección,(Housel,1952), las cuales se consideraron muy acertadas. El ferrocarril entró en servicio en Octubre del 52 y desde ese momento comenzó (o continuó) la larga serie de problemas. Housel regresó en Enero de 1.953 y Julio de 1.954.

Al iniciar actividades el Comité, y debido a que era escasa la información disponible sobre las condiciones del subsuelo y los movimientos del terreno, se postuló que el deslizamiento del Limo era de tipo rotacional. Esta suposición se basaba en la observación del hundimiento en la corona y el levantamiento de la pata junto con la vía férrea, y en un reconocimiento geológico general, según el cual el deslizamiento ocurría en depósito coluvial de espesor notable que descansaba sobre una sucesión de arcillolitas con intercalaciones de areniscas. En consecuencia se recomendó la descarga de la cabeza y mitad superior del cuerpo del deslizamiento por medio de un terraceo, y el contrapeso en la parte inferior mediante la colocación de enrocados. Además se llevó a cabo un sistema de drenaje superficial con zanjas y canales, y subsuperficial con filtros de tipo "francés". Se efectuó la canalización y revestimiento parcial de dos quebradas que llegan a los flancos del deslizamiento.

El escalonamiento del talud requirió un proceso de tanteos hasta dar con la altura e inclinación más adecuadas de cada terraza. El enrocado de contrapeso principal, que ocupaba un sector vecino al flanco izquierdo del deslizamiento fué ineficiente, y más bién nocivo, pues no operó como sostén del talud (el movimiento en esa dirección no cesó), y ocasionó una falla local por hundimiento de parte de la terraza inferior sobre la banca del ferrocarril.

A pesar de las diversas obras correctivas, la masa continuó desplazándose en forma intermitente, aún durante períodos secos, levantando los rieles e incrementando hasta más allá del límite permisible la pendiente de la vía férrea. Dentro de las labores de restablecimiento del ferrocarril y el canal del río, fué entonces posible realizar tres perforaciones profundas que permitieran determinar la estratigrafía, la profundidad del depósito y las condiciones del agua subterránea. Además, se puso en práctica el sistema de mediciones topográficas al que ya se hizo mención.

Los resultados de las mediciones mostraron el carácter traslacional del deslizamiento, sobre superficie de falla compuesta; la exploración del subsuelo descubrió la presencia de zonas de corte por falla geológica en las rocas subyacentes (areniscas y arcillolitas), y la existencia de capas de arenisca con agua artesiana. Se comprobó además, que dentro del cuerpo principal del deslizamiento hay unidades inestables más activas que el resto.

Se llevaron a cabo varios análisis de estabilidad por el método de Janbu, basados en las secciones topográficas, en niveles piezométricos extrapolados de los hallados en las perforaciones, y en parámetros de resistencia determinados mediante ensayos de esfuerzo cortante directo sobre muestras de arcilla pre-cortadas, y ensayos triaxiales CU, los cuales arrojaron los siguientes resultados: $c' = 0.0$, $\emptyset'r = 17°$; $c' = 1.5$ t/m , $\emptyset' = 23°$.

Los análisis de estabilidad han sido útiles para definir en parte las medidas correctivas, y en carácter cualitativo, para establecer la posible localización de las superficies de falla, pues se ha concluído que pueden actuar dos o tres mecanismos de movimiento sobre superficies de falla distintas o parcialmente comunes. Se ha detectado tal localización en dos de las perforaciones que fueron cizalladas por deslizamiento del terreno. No obstante, todavía hay muchos interrogantes sin resolver, en especial lo referente al régimen de agua subterránea.

El programa de monitoreo ha permitido establecer que El Limo continuó moviéndose a una tasa de 10 a 15 cm/año durante 1983, 84 y 85. En 1.986 se mantuvo dicha tasa

para el movimiento general de Carichana, pero la del Limo se redujo a un valor entre 4 y 8 cm/año. Entre las medidas correctivas que han favorecido esta relativa estabilización, se cuentan:

-El drenaje superficial intenso y permanente, por medio de canales, zanjas y filtros, y el sellado de grietas, todo esto con inspección y mantenimiento constantes. Para el drenaje profundo se han instalado tres drenes horizontales en disposición radial desde la base del flanco izquierdo, de 56 a 102 m de longitud, en los cuales se ha establecido un flujo permanente desde su terminación.

-El completar la canalización y revestimiento con concreto de las dos quebradas que llegan al rio siguiendo los flancos del deslizamiento. En la del izquierdo se construyó un conducto metálico elevado, que la lleva al rio por encima del ferrocarril.

-El hincado de dos filas de pilotes metálicos (rieles de desecho del ferrocarril de 12 m de longitud), en el sector más activo de la pata del Limo sobre el borde interior de la vía férrea. Las filas tienen 60 y 70 m de longitud y están separadas entre sí 1 m; el espaciamiento promedio de pilotes es de 0,70 m. La profundidad de hincado ha variado entre 4 y 9 m, y se estima que la gran mayoría han quedado embebidos en las capas de depósitos subyacentes más firmes y estables.

-El mejoramiento del canal del rio mediante ampliación de la sección útil y la protección de márgenes con enrocados y defensas de gaviones.

-La arborización, muy exitosa como tal, acometida por la Jefatura de Administración de Terrenos de la Empresa en todo el cuerpo del deslizamiento; un gran bosque de eucaliptos cubre hoy un área que antes mostraba el terreno desnudo sometido a erosión.

Chicana

Problema complejo en forma de inmensa cuña, que tiene lugar sobre la margen izquierda del Rio Chicamocha en un sector donde el ferrocarril ocupa la margen opuesta. En la cara occidental de la cuña se produce el deslizamiento superficial de suelo areno-arcilloso, y de bloques de arenisca fracturada, a lo largo de planos de diaclasas. En la cara oriental hay deslizamientos de detritos de arcillolita sobre la estratificación. En el fondo de la cuña (extremo sur) se producen flujos locales de detritos de arcillolita meteorizada entre riscos de arenisca (Garcia-López, 1984). Los derrumbes se acumulan en la base de la cuña, y desde ella se genera un gran flujo de detritos, que avanza en amplio frente hacia el rio y varias veces, en los inviernos más fuertes, lo ha bloqueado por completo. Es en esta circunstancia que el deslizamiento de Chicana impone una amenaza al ferrocarril, pues al represar el rio, sus aguas desbordan sobre la margen derecha y destruyen la vía.

Costa Rica

Consiste en el movimiento lento de una masa coluvial de casi 100 hectáreas, sobre arcillolitas con intercalaciones de arenisca. El desague natural del área ocurre en cañadas que descienden hacia la margen derecha del rio, atravesando la carrilera; en ellas se producen flujos de lodo en los periodos invernales, que se acumulan sobre la banca del F. C. y a veces la sobrepasan para caer al rio; los problemas de mayor importancia afectan varios sectores en un tramo de 2.7 km de

vía, con frecuencia y magnitud más acentuadas en los 1.4 km de la mitad norte del tramo. Se han presentado los peores problemas, en Mayo de 1963, Noviembre de 1966 (con flujo de lodos en un frente de 200 m, sobre la banca), Mayo de los años 1969, 1970, 1971 (flujo de tierras de 100 m de ancho, Reyes, 1971) y 1972, Octubre - Noviembre y Diciembre de 1979, Mayo y Octubre de 1980, Mayo y Agosto de 1982 (varios flujos de lodo de 30 m de ancho). El tránsito ha sido interrumpido hasta por 16 dias continuos. La coincidencia de éstos eventos con los periodos de máxima pluviosidad es notable (ver en la Figura No. 2 el histograma de precipitación de la cercana estación de La Higuera). Debe mencionarse que el evento de Agosto de 1982 y otros menores no reseñados, tuvieron lugar en periodo seco, relacionados con actividades de riego agrícola (Reyes, 1971; Parra, 1982).

Hormezaque

Se trata de un hundimiento y flujo de tierras lento que abarca unas 100 has, en coluvión sobre plataforma de areniscas situada a casi 100 m arriba de la margen derecha del rio. Los materiales saturados y blandos entran en flujo de lodos y se despeñan sobre la margen por una sola cañada dando origen a un gigantesco cono de deyección que amenaza con bloquear el río y desviarlo a la izquierda donde está la vía férrea. Su actividad se notó desde 1953 y en Mayo de 1955 se agravó de manera impresionante (Alvarado, 1981). Se ha procurado mitigar la posibilidad de movimiento mediante el drenaje superficial (zanjas y filtros) y la conformación del terreno con bulldozer (sellado de áreas agrietadas, relleno de depresiones donde se acumula el agua). El uso y propiedad de la tierra, en minifundio, ha dificultado estas operaciones.

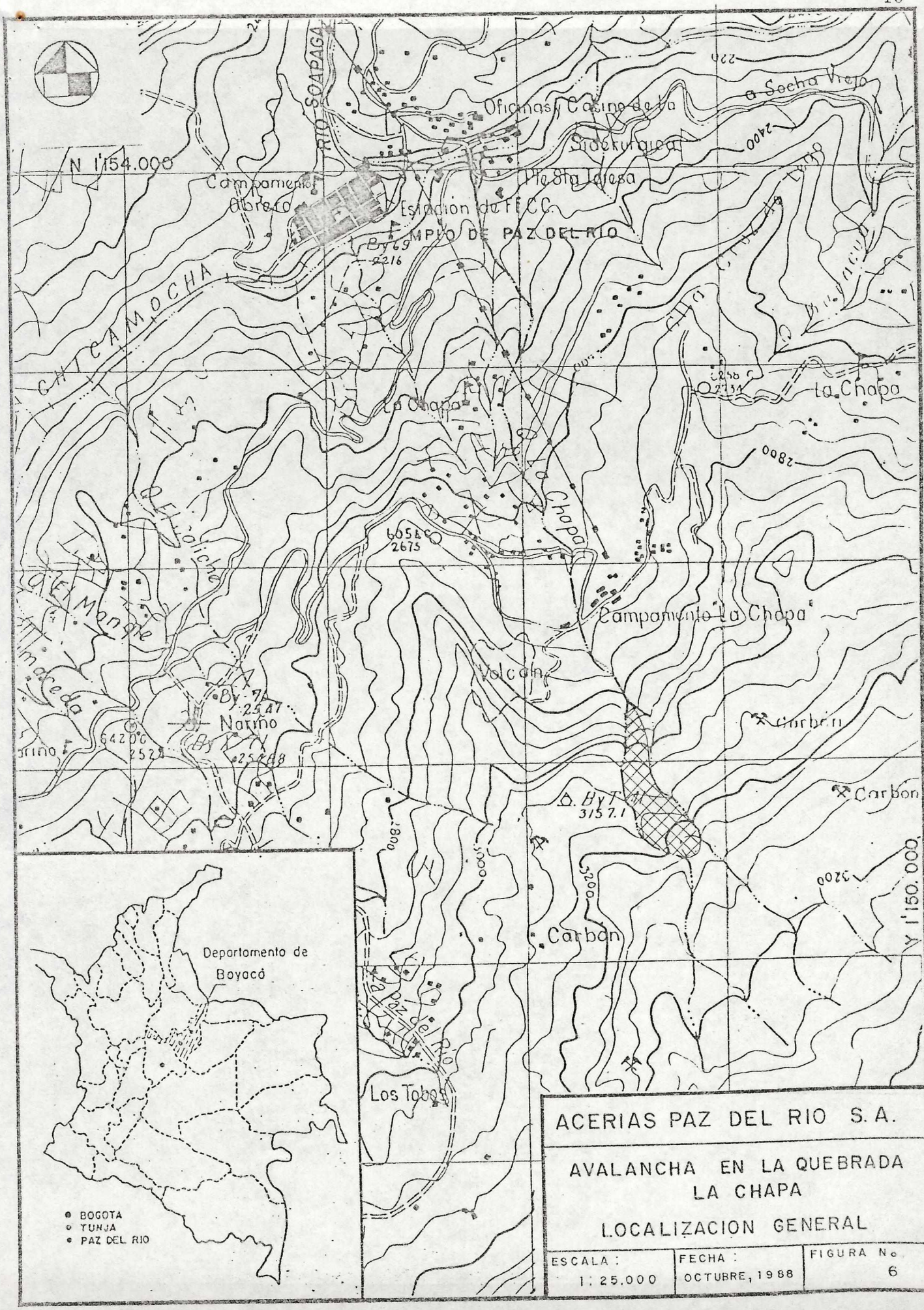
OTRAS LABORES DEL COMITE

Además de atender al control y corrección de los deslizamientos descritos, el Comité se ha encargado de muchos otros que aunque no afectan directamente a la línea del ferrocarril, constituyen una seria amenaza para los habitantes de la región y para algunas de las minas que explota la Empresa. Entre estos casos se destacan la avalancha de la Quebrada La Chapa y el deslizamiento de El Salitre, eventos que han tenido resonancia nacional y en cuyo tratamiento han participado además, entidades públicas nacionales, departamentales y municipales.

Avalanchas en la Quebrada La Chapa

Se presenta aquí la descripción de las avalanchas de detritos que ocurrieron en la Quebrada La Chapa (Paz de Rio, Boyacá) el 6 y el 9 de Noviembre de 1986, las cuales han continuado imponiendo una amenaza seria para las instalaciones principales de la mina de Carbón de La Chapa, de Acerías Paz del Río S.A., y para zonas urbanas cercanas a Paz de Río, dentro de las cuales se halla la Estación del ferrocarril. En la Figura No. 6 se muestra la localización general de la región bajo estudio.

En informes preparados por Alvarado (1986), Reyes (1986) y Sarmiento (1986) se encuentra una descripción muy completa de los factores que pudieron concurrir en la causa y desarrollo de las avalanchas, aspectos geológicos regionales y locales, características del deslizamiento, las medidas preventivas y correctivas, el enfoque del riesgo para la comunidad y la responsabilidad o colaboración en el tratamiento actual o futuro del problema por parte de los organismos gubernamentales, el Comité de Emergencia y la Empresa misma, así como la necesidad de



ACERIAS PAZ DEL RIO S.A.

AVALANCHA EN LA QUEBRADA LA CHAPA

LOCALIZACION GENERAL

ESCALA :	FECHA :	FIGURA No.
1 : 25.000	OCTUBRE, 1988	6

estudios geológicos y geomorfológicos detallados y el análisis geotécnico de sectores amenazados y obras de defensa.

Dentro del sistema de clasificación usual en el estudio geotécnico de movimientos de falla de taludes, los problemas que tuvieron lugar en las cabeceras y cauce de la Quebrada la Chapa, corresponden al tipo de avalanchas de detritos, en el cual se produce el desplazamiento rápido a muy rápido de masas de materiales granulares (grandes bloques, cascajo, y arena) con ciertas cantidades de suelos más finos, arcilla y limo arenoso, agua y aire atrapado.

El área afectada se puede dividir en tres zonas, en cada una de las cuales ocurre una fase del fenómeno y puede aplicarse un determinado conjunto de medidas correctivas.

A. Zona de suministro o fuente de los materiales

Corresponde al deslizamiento de Mesalta, páramo y vereda que existe arriba y al oriente del sector de La Chapa. Está localizado de la cota 3300 hacia arriba, en terreno con pendiente promedio cercana a los 15°. Consiste en un deslizamiento múltiple y complejo en remanentes de antiguos depósitos de origen glacial, constituidos por bloques angulares de arenisca gris clara embebidos en una matriz de arcilla arenosa de color amarillo a gris. Los suelos de la matriz no son homogéneos, sinó que en unos sitios abunda la arena arcillosa y en otros la arcilla arenosa y limosa de plasticidad media, de manera que la permeabilidad y el drenaje interno son variables de un sector a otro.

El desplazamiento se produce sobre el contacto con los estratos rocosos subyacentes (areniscas y arcillolitas). Las areniscas forman escarpes y plataformas o repisas. El macizo rocoso se halla afectado por dos fallas cuya intersección se produce en la vecindad del extremo inferior del deslizamiento; se asigna a estas fallas un papel importante entre los factores previos que han llevado a que el deslizamiento ocurra en ese sitio, por inducir mayor fracturación de las rocas e influir en el patrón de drenaje superficial y subterráneo.

La magnitud de la zona deslizada se puede estimar con base en las dimensiones dadas por Sarmiento y Reyes. La longitud fluctúa entre 470 y 500 m, en dirección NW-SE; el ancho promedio del cuerpo principal se ha fijado en 170 m, para la porción mayor, comprendida entre la corona, en la cota 3400, y la cota 3340; bajo ésta se presenta un efecto de emboquillado o de embudo, reduciéndose el ancho a unos 50 m a la cota 3300. El Ingeominas (1987) llevó a cabo un estudio geofísico mediante el cual se establecieron profundidades de la masa en movimiento de 8.5 a 30.2 m.

En el extremo inferior (NW) del deslizamiento se pasa a la fase de vertido o derrame del material, todavía dentro de la zona de suministro, y por efecto de embudo que según Reyes se debe a estrangulamiento impuesto por el afloramiento de areniscas masivas de la Formación Picacho. En la Cota 3320 hay un cambio de pendiente, de 15° a 27°, valor éste que se mantiene hasta la cota 3220. En este tramo los materiales deslizados comienzan a vertir, con intenso agrietamiento, separación y volteo de bloques; hay dilatación, incorporación de agua y remoldeo de la masa; la resistencia al corte disminuye bastante y en algunos sectores se ablanda por completo la matriz y se originan flujos de lodo locales.

B. Zona de flujo canalizado

Se localiza esta zona entre las cotas 3200 y 2690. La quebrada se encañona entre paredes verticales de areniscas con intercalaciones de arcillolita, desciende en escalones, con trechos intermedios de pendiente variable entre 24 y 47° y escarpes desde los 70 a 90°. Esta Zona se caracteriza por la incorporación de nuevos materiales, por arrastre de rocas, suelos y vegetación, la acumulación temporal en repisas ó por represamientos (lo que representa mayor peligro potencial de avalanchas menores pero de todas maneras destructivas), y el aumento parcial de la eficiencia hidráulica del cauce (traducido en mayor velocidad en el descenso de las avalanchas).

C. Zona de sedimentación

La constituye el área de menor pendiente en la base de la zona escarpada. Por debajo de la cota 2690 la pendiente general es del orden de 5 a 8°. La tendencia a sedimentar en esta área se aumenta por existir sectores planos correspondientes a patios y carretera de acceso, y obstáculos tales como una banda transportadora con sus columnas metálicas, la cafeteria, la Casa de Lámparas y otras edificaciones. De hecho, todas estas instalaciones de la mina sufrieron el impacto e inundación de las avalanchas del 6 y 9 de noviembre de 1986, y allí permanecen con el mayor grado de riesgo al producirse nuevos episodios de flujo de detritos y flujo de lodos.

Existe un cierto riesgo para casas ribereñas en la Vereda de La Chapa (Figura No. 6), y alguna posibilidad de que los detritos que lleguen al río, ocasionen un taponamiento cuya magnitud y duración son muy difíciles de prever. La ocurrencia de estos fenómenos aguas abajo de la mina depende de la magnitud de la avalancha, de la cantidad de agua que se le incorpore, de la existencia de obras de protección y otros factores; se comprende que el control ya sea total o parcial, de varios factores, puede exceder los alcances corrientes de la Ingeniería. La puesta en práctica de medidas preventivas y correctivas del deslizamiento y de protección contra avalanchas, sumada a la preparación de la comunidad amenazada que ya han adelantado las entidades correspondientes (Cruz Roja, Defensa Civil, Alcaldía, Comités de Emergencia Departamental y Municipal) permitirá reducir las condiciones de riesgo. El INGEOMINAS (1987), elaboró el mapa de riesgos correspondiente.

Medidas correctivas y preventivas:

De acuerdo con los mecanismos de falla descritos y con los análisis de las condiciones de las avalanchas, se han realizado diversas obras que comprenden:

Zona A: Zanjas de drenaje, canales de intersección, captación y desague, filtros poco profundos, desvío de corrientes de agua, tratamiento de cauces, limpieza, rectificación y ampliación, colocación de trinchos, sellado de grietas, filtros profundos, drenes horizontales, terraceo local.

Zona B: Eliminación o descarga gradual de depósitos en repisas o recodos del cauce, excavación de canales laterales de alivio, intercepción de afluentes para conducirlos a otras vertientes, construcción de diques transversales o trinchos.

Zona C: Obras de contención para resistir presiones e impacto y obras de desvío y conducción, muros, barreras o pilotajes, rellenos o terraplenes y canales.

Deslizamiento de El Salitre.

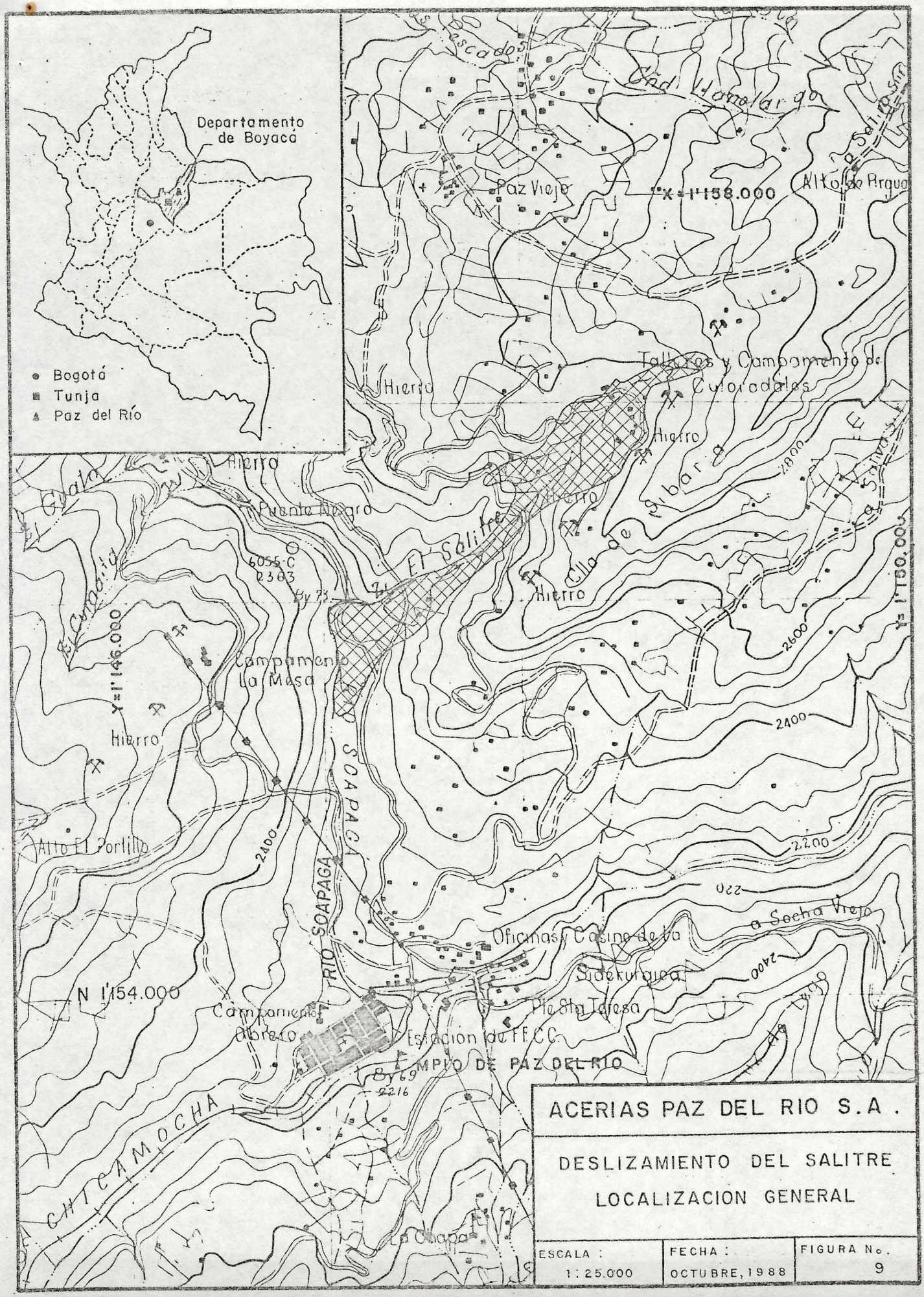
En la noche del Domingo 6 de Diciembre de 1.987, comenzó a evidenciarse un deslizamiento de tierras en las cabeceras de la Quebrada El Salitre, a unos 4,5 km al noreste de la Población de Paz de Río, en el Departamento de Boyacá. Su localización general se muestra en la Figura No.7. La inestabilidad del terreno evolucionó a una tasa alarmante desde su iniciación, adquiriendo el carácter de deslizamiento complejo, en el cual tienen lugar diversos tipos de movimientos de falla, algunos de ellos múltiples y retrogresivos, agravando las condiciones del conjunto. El área abarcada tiene una longitud de 2,6 km y ancho variable; el volumen deslizado se estima en 3,5 millones de metros cúbicos.

El deslizamiento afectó 58 hectáreas, cortó tramos del sistema vial de la región, integrado por las carreteras que unen a Paz de Río con Belén, Sátiva Sur y Paz Vieja, y los carreteables de acceso a los distintos frentes de explotación minera de Acerías Paz del Río S.A.; destruyó varios centenares de metros de la conducción del acueducto de Paz de Río y un valioso bosque de eucaliptos de la propiedad de Acerías con 80.000 árboles de 6 a 14 años de edad; desaparecieron 13 viviendas campesinas y los terrenos agrícolas que las circundaban. El avance de la masa inferior del deslizamiento sobre el cauce del Río Soapaga, impuso una situación de alto riesgo para la población de Paz de Río y para instalaciones esenciales de Acerías; se interrumpió la explotación de mineral de hierro en cantidad que asciende a un 30% de las necesidades anuales de la Siderúrgica.

Importantes recursos humanos y materiales de Acerías, secundados por los provenientes de entidades nacionales, departamentales y municipales, fueron comprometidos en la atención del caso. Desde el 7 de Diciembre se acometió un programa de obras correctivas centrado en el drenaje y el movimiento de tierras, el cual se ha venido ajustando a las diferentes facetas que ha mostrado el problema. Para comprender mejor el fenómeno se dividió el área inestable en tres zonas:

Zona 1: Ocupa la parte superior del terreno afectado, inmediata al flanco norte del Filo de Sibaría, en la base de la estratificación en la cual se halla la Mina de Hierro de Coloradales. El problema comenzó como un hundimiento sucesivo y el flujo de tierras posterior, abarcando un área de 500 m de longitud y 110 m de ancho promedio, desde la cota 2970, cerca de áreas de disposición de estériles de la mina, hasta un sector entre las cotas 2775 y 2825, donde se produjo una gran acumulación de suelo arcillo-arenoso y bloques de arenisca y mineral de hierro, éste procedente de montones que se derrumbaron a manera de deslizamientos satélites, al perder apoyo en el flanco izquierdo del flujo.

Zona 2: La acumulación de los detritos desplazados de la Zona 1 se produjo en la parte superior de una gran cubeta o plataforma del terreno de 900 m de longitud por 350 m de ancho promedio, inclinada en el sentido NE-SW, en la cual existía un valioso bosque de eucaliptos. Dicha cubeta falló a su vez, como consecuencia de la sobrecarga impuesta por el derrumbe anterior. La masa se deformó y rompió en forma compleja, con hundimientos múltiples, desplazamiento de bloques, levantamiento de varios sectores, volcamiento de bloques de suelo y roca, y flujos de detritos localizados en especial en el flanco norte. En general, predominó la traslación, y el frente avanzó incontenible, destruyendo vías de acceso a los diversos afloramientos de mineral de hierro, así como la carretera a Sátiva Sur y a La Paz Vieja.



ACERIAS PAZ DEL RIO S.A.

DESLIZAMIENTO DEL SALITRE

LOCALIZACION GENERAL

ESCALA :	FECHA :	FIGURA No.
1 : 25.000	OCTUBRE, 1988	9

Zona 3: A partir del sitio de La Batea (cota 2625) se presenta una garganta empinada por la cual fluyeron con rapidez los materiales deslizados de más arriba, de manera que la lengueta de escombros descendió de la cota 2625 a la 2450 entre el 7 y el 9 de Diciembre. El valle debía su origen a deslizamientos antiguos, del mismo tipo pero de magnitud mucho mayor que el actual; ante los inmensos empujes que se acrecentaban por nuevos flujos de tierra en la garganta, comenzó a fallar, manifestándose varios sistemas de grietas longitudinales y transversales, zonas levantadas, otras hundidas, pero aguantando las presiones de la sobrecarga, hasta que el 15 de diciembre, de 7 a 11 de la noche, se produjo su rotura definitiva, la cual fue generalizándose en los días siguientes. En el curso del estudio del deslizamiento se analizaron sus causas mas probables, anotando que algunas han obrado en carácter de contribuyentes y otras como disparadoras del proceso de inestabilidad. En la primera categoría se pueden incluir las siguientes:

- La zona está intensamente fracturada. Desde un comienzo se reconoció por los geólogos, la existencia de las fallas geológicas de Sibaría y el Salitre, alineadas casi coincidiendo con los flancos del deslizamiento. Como es bien sabido, a lo largo de las trazas de las fallas geológicas se constituyen zonas de debilidad por la alteración que sufren las rocas presentes, y se favorece la infiltración del agua y su suministro a otras áreas.

- En las formaciones de la región predominan rocas inherentemente débiles como las arcillolitas, limolitas y areniscas no cementadas. Todas pertenecen a la clase de "rocas blandas" que se estudia en la moderna Mecánica de Rocas, refiriéndose a materiales degradables, de baja durabilidad, sobre todo ante la influencia de los agentes climáticos.

- La estructura geológica es también desfavorable; los estratos rocosos están inclinados hacia el norte y el noroeste, es decir, en dirección al valle de la Quebrada El Salitre. Por consiguiente las aguas y los productos de la meteorización, o los depósitos superficiales, fluyen con facilidad hacia la zona inestable y existen superficies de deslizamiento naturales para que las rocas y suelos se inestabilicen por cualquier motivo.

- La región entera, obedeciendo a factores como los anotados en (a) y (b), tiene una larga historia de deslizamientos. La misma cuenca de la Quebrada El Salitre ha sido afectada por hundimientos y flujos de tierra en años recientes, como lo muestra el estudio de fotos aéreas de 1953, 1956 y 1967.

- La inexistencia de una buena cobertura vegetal en las laderas aferentes a la Quebrada El Salitre. Con excepción del bosque de la Empresa, hoy, con tristeza destruido.

La principal causa disparadora fue la acción de las lluvias intensas, (Septiembre-Octubre - Noviembre de 1987). En carácter secundario, pudieron actuar los efectos de sobrecarga local o las modificaciones del sistema de drenaje natural (concentración de flujo, apozamiento), con volumenes de estériles en proceso de acarreo o almacenamiento, comunes en explotaciones mineras a tajo abierto.

Obras Correctivas y preventivas:

Se centraron en el drenaje y la conformación del terreno, se atendió a la necesidad imperiosa de reducir las presiones hidrostáticas, impedir en lo posible la entrada de nuevos volúmenes de agua a la masa inestable, controlar el flujo de la

que ya circulaba dentro o debajo del cuerpo en estado de falla y evitar la saturación de los materiales derrumbados o desplazados y su ablandamiento consiguiente.

La conformación del terreno, además de buscar una redistribución de esfuerzos inducidos por los grandes volúmenes ya deslizados, se concibió con el propósito fundamental de prevenir el desplazamiento de masas adicionales entre las Zonas 1 y 2 que componen la parte superior del deslizamiento general, y de aquellas hacia el depósito inferior que se mueve sobre el cauce del río. También, al escalonar o uniformizar la superficie del terreno afectado, se contribuye a la eficacia del drenaje.

Se construyeron zanjas y canales de coronación, para interceptar aguas de escorrentía, se construyó un sistema de drenaje profundo por medio de un grupo de drenes horizontales en el sector de la Batea, y perforaciones practicadas desde túneles en desuso.

Se puso especial empeño por la Empresa, por adelantar el programa de medidas correctivas y preventivas en el período de verano de comienzos del año y en el momento de preparar este informe (Octubre/88) puede decirse que se han completado las obras correctivas con éxito apreciable.

Por otra parte, se ha llevado a cabo desde los primeros días, un programa de mediciones topográficas del movimiento del terreno en diversas secciones transversales seleccionadas en las tres zonas. Se ha prestado asesoría a Empoboyacá y al Municipio de Paz de Río en la definición del corredor para el nuevo acueducto sobre la margen derecha del Río Soapaga.

CONCLUSIONES

Mirando en retrospectiva la labor del Comité, surgen algunas consideraciones de orden práctico:

Como es lógico esperar en terrenos de condiciones topográficas y geológicas tan desfavorables, no se puede garantizar el completo éxito de las medidas propuestas. En algunos casos se trata de fenómenos catastróficos muy difíciles de controlar. La Empresa es consciente del costoso y difícil problema de mantenimiento con el cual debe convivir, y de que la magnitud de la labor sobrepasa las posibilidades de atenderla con el personal que de manera normal y rutinaria, está encargado de mantener el tráfico y operar el ferrocarril. En consecuencia la organización de un comité permanente, con responsabilidad y medios de trabajo, es una solución adecuada; los resultados obtenidos durante 5 años así lo confirman.

Desde el punto de vista técnico, consideran los autores que la labor del Comité puede encuadrarse en lo que denominó Morgenstern (1979), "la legitimidad de la práctica regional en la ingeniería geotécnica", pues el enfoque regional en el tratamiento de los problemas del ferrocarril, teniendo en cuenta las condiciones peculiares de geología, hidrología y clima, ha probado ser efectivo y económico.

Los fenómenos de inestabilidad en Mesa Alta, las avalanchas por la Quebrada La Chapa y el deslizamiento de El Salitre presentan un cierto grado de riesgo que implica una acción directa para su control. Se han venido diseñando obras de corrección que toman tiempo de ejecución.

Se entiende que un deslizamiento, junto con sus efectos y eventos asociados es un fenómeno natural difícil de evitar. En el evento de un desastre intervienen los aspectos de vulnerabilidad y organización comunitaria. En el primero juegan un papel importante la preparación y la acción inter e intra-institucional; el segundo tiene relación íntima con los conceptos de seguridad personal y atenuación del factor de pánico. Es muy importante crear mecanismos de defensa y establecer responsabilidades en cada individuo; estos dos conceptos merecen consideración adicional.

- Defensa:

Se refiere al hombre y sus obras. Empieza por el conocimiento del terreno en el cual se desarrolla la actividad humana y su localización con respecto al origen del riesgo.

Existen cuatro categorías de métodos defensivos:

1. Sistema de alarma: debe ser autónomo, confiable y permanente. Para lograr estas condiciones, puede requerirse combinar la acción humana, de vigías, con instrumentos de funcionamiento automático.

2. Barreras resistentes: pueden ser naturales o artificiales. Los trinchos de gaviones pertenecen a esta categoría.

3. Refugios próximos: dispuestos ante evento sorpresivo; pueden ser individuales o comunitarios. Cada uno debe conocer con precisión el emplazamiento del refugio más próximo al lugar de trabajó ó de vivienda; hay que velar por que los accesos al refugio se mantengan sin obstrucciones. El refugio temporal puede estar dado por obras, estructuras ó edificaciones ya existentes, situadas fuera de la zona de peligro o por otras construídas directamente con tal fin.

4. Zonas de evacuación: adecuadas para pronóstico anticipado; su efectividad y la de los refugios próximos dependen en alto grado de la instrumentación en el origen de los eventos.

- Responsabilidad:

Se considera que las instituciones (gobierno, empresas públicas y privadas) y los individuos con conocimiento de los eventos y de las ciencias relacionadas con ellos (por ejemplo los científicos y los profesionales especializados), deben informar a la población sobre las verdaderas características de las amenazas y riesgos por eventos naturales. Esto debe hacerse oportunamente, con objetividad y seriedad.

Se piensa que entre mayor sea el grado de conocimiento y de protección al alcance de la comunidad, mayor será el grado de responsabilidad personal; en esta forma disminuirá también el grado de dependencia que la sociedad se asigna en relación con entidades o individuos en posición directiva; por ejemplo, no se esperará a que alguna autoridad civil, eclesiástica u oficial dé una orden de evacuación, sino que cada cual sabrá el curso de acción para la defensa de sí mismo y de los suyos, una vez producido o detectado el fenómeno.

A manera de ejemplo se exponen a continucación las recomendaciones para el caso de la avalancha de la Chapa:

- Diseñar o adquirir, e instalar un sistema de alarma con instrumentos de funcionamiento automático, localizado en puntos clave del canal de las avalanchas o de la zona de alimentación.

- Continuar con la construcción y el refuerzo de las barreras resistentes.

- Mantener un censo de las personas que estén trabajando o circulen en el patio de la Mina en los turnos diurno y nocturno; con esto se conocerá de mejor manera el riesgo (alto, moderado, bajo, nulo) al que están sometidos.

- Hacer un inventario de los equipos e instalaciones localizados en las instalaciones de La Mina, clasificándolos como:

  - Irreemplazables
  - Reemplazables a alto costo
  - Reemplazables en forma rutinaria
  - Desechables

  Indicar en cada caso si de ser necesario se podrían relocalizar. Esto permitirá tomar medidas acerca de la situación geográfica de equipos o de la necesidad de contar con equipo alternativo, suplementario o de repuesto.

- Construir refugios en la zona alta de bosque, dotados de corredores de acceso adecuados.

- Llevar a cabo un programa de educación e información a los trabajadores de Acerías que podrían verse afectados. Tal programa incluirá conferencias explicativas del fenómeno y sus riesgos, e instrucciones exactas a todo el personal acerca de los pasos a seguir en caso de necesidad de evacuación intempestiva.

BIBLIOGRAFIA

-Alvarado Benjamín, García L., Manuel, Reyes Italo y Jiménez M., Gonzalo (1987) "Control Geotécnico del Ferrocarril de Paz del Río", VIII Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, SIMSIF-Sociedad Colombiana de Geotecnia, Cartagena.

-Alvarado, Benjamín, (1986) "Avalanchas en las cabeceras de la Quebrada La Chapa". Correspondencia interna, al Dr. Francisco Triana, Vicepresidente Ejecutivo, ACERIAS PAZ DEL RIO S.A., Bogotá, Diciembre.

-Alvarado, B., (1981) "Informe sobre la estabilidad de la linea del ferrocarril Belencito-Paz de Rio", ACERIAS PAZ DEL RIO S.A., Bogotá, julio.

-Alvarado, B., Suarez-Hoyos V., (1948) "Informe geológico - Trazado del ferrocarril Corrales-Paz de Río", ACERIAS PAZ DEL RIO S.A., Bogotá, septiembre.

-Bolt B.H., Horn W.L., Macdonald G.A., Scott R.F., (1977) "Geological Hazards", Ed. Springer-Verlag, Nueva York, 2a Ed.

-Brabb, E.E., (1984) "Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping", IV Congreso Internacional sobre Deslizamientos, Vol. I, ISL, Toronto.

-Brown, A., Rippere, K., (1984) "Stability of the Paz de Rio - Belencito Railway", Report to ACERIAS PAZ DEL RIO S.A., GOLDER ASSOCIATES, Denver, Colorado.

-García-Lopez, M., (1984) "Consideraciones sobre la estabilidad del terreno en varios sitios críticos del ferrocarril Belencito Paz de Rio: Chicana, Costa Rica, Hormezaque, Chinchilla y Colacote", Informe de INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA. a ACERIAS PAZ DEL RIO S.A., Bogotá, noviembre.

-García-López, M., (1981) "Problemas Geotécnicos en el Cañon del Rio Chicamocha - Ferrocarril Belencito - Paz de Rio, Programa de Asesoria", INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA., Bogotá.
-García López M., (1986) "Eventos catastróficos del 13 de Noviembre de 1985", 1a. Conferencia Gustavo Maldonado, IV Jornadas Geotécnicas, Sociedad Colombiana de Ingenieros, Bogotá.
-García López M., Martínez J.M.,(1988) "Problemas Geotécnicos en la Región Belencito - Paz de Rio, Informe a la Junta Directiva de ACERIAS PAZ DEL RIO S.A., Trabajo No. 222-12 de INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA. Bogotá, Enero.
-García López, M., Rodríguez, J. A., (1987) "Zona de deslizamientos El Limo - Carichana - Análisis de movimientos del terreno en 1986", informe de INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA. a ACERIAS PAZ DEL RIO S.A., Bogotá, enero.
-García-López, M., Amortegui, J. V., (1985) "Analisis del deslizamiento de El Limo", informe de INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA. a ACERIAS PAZ DEL RIO S.A., Bogotá, octubre.
-Hansen A., (1984) "Landslide hazard analysis", Capitulo 13 de "Slope Instability", Editado por D. Brunsden y D.B. Prior, John Wiley & Sons Ltd., N.Y.
-Housel, W.S.(1952) "Report on Inspection and Suggested Treatment of Earth Slides on Belencito to Paz de Rio Railroad", Empresa Siderúrgica Nacional de Paz de Rio S.A., Belencito, Junio.
-Ingeominas, (1987) " Estudio Geológico y mapa de riesgos, Quebrada La Chapa, área de los municipios de Socha, Tasco y Paz del Rio, Depto. de Boyacá", Bogotá.
-Martínez J.M. y García L., M. (1988) "Desarrollo de un Estudio de Riesgo Geotécnico", Quintas Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana, Sociedad Colombiana de Ingenieros, Bogotá, Octubre.
-Morgenstern, N.R., (1979), "Geotechnical Behaviour of Clay Shales-An Overview", Simposio Internacional de Mecánica de Suelos, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Oaxaca, Vol. 1.
-Parra, F., (1982) "Apreciaciones sobre el deslizamiento de Costa Rica", informe de INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA. a ACERIAS PAZ DEL RIO S.A., Bogotá, agosto.
-Reyes, I., (1987) "El deslizamiento de Carichana, Municipio de Paz de Rio, Departamento de Boyacá", ACERIAS PAZ DEL RIO S.A., Informe en preparación.
-Reyes, I., (1986) "Deslizamiento de La Chapa", Informe de la Subdivisión de Geología al Superintendente de Minas, ACERIAS PAZ DEL RIO S.A., Belencito.
-Reyes, I., (1984), "Geología de la Región de Duitama-Sogamoso-Paz de Rio". UPTC, Sogamoso.
-Reyes, I., (1980), "El deslizamiento de Carichana, Km 291 del Ferrocarril Belencito-Paz de Rio". ACERIAS PAZ DEL RIO S.A., Belencito.
-Reyes, I., (1971) "El deslizamiento de Costa Rica (K283+300) Ferrocarril Belencito Paz de Rio", ACERIAS PAZ DEL RIO S.A., Belencito, septiembre.
-Rincón Velandia H.,Castañeda Camargo B., (1986) "Evaluación de riesgo por falla de taludes viales", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Colombia.
-Rodríguez, J. A., (1986) "Deslizamiento de El Limo - Informe de movimientos entre septiembre de 1985 y enero de 1986", Informe de INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA. a ACERIAS PAZ DEL RIO S.A., Bogotá, abril.
-Sarmiento, Gustavo, (1986) "Análisis Geológico del Deslizamiento de la Quebrada La Chapa, Municipio de Socha - Tasco (Boyacá)", INGEOMINAS, Bogotá, Noviembre.