

**INFLUENCIA DEL LLENADO DE EMBALSES EN LA ESTABILIDAD DE
TALUDES; CASO DE ESTUDIO COLUVIONES LA LEONA Y LA SANTA
MARIA**

LIZZA MARCELA MEJIA CAMACHO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIRÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2012

**INFLUENCIA DEL LLENADO DE EMBALSES EN LA ESTABILIDAD DE
TALUDES; CASO DE ESTUDIO COLUVIONES LA LEONA Y LA SANTA
MARIA**

LIZZA MARCELA MEJIA CAMACHO

**Trabajo de Aplicación para optar al título de
Magister en Geotecnia**

DIRECTOR

HEBENLY CELIS LEGUIZAMON

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIRÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2012

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen por haberme permitido llegar hasta este punto tan importante de mi vida, en el que hoy siento que he logrado una de mis más importantes metas.

A mi madre por sus palabras y compañía, por recordarme cada día que si podía, cuando sentía que ya no tenía la energía para continuar, a mis hermanos y familia por haber soportado a mi lado este largo camino, por brindarme la fuerza necesaria y la seguridad que solo ellos me pueden dar.

A todas aquellas personas que creyeron en mi cuando yo misma no creía, por su constancia y su fe, y a aquellas personas que piensan que los sueños tan altos son difíciles de conseguir, es un ejemplo de que la confianza y la seguridad nos llevan donde queremos llegar, pues todo esto es fiel muestra de que las grandes obras de la vida no son solo realizadas con la fuerza, sino con la fe y la perseverancia.

AGRADECIMIENTOS

A mi directora Hebenly Celis por su gran apoyo y guía constante, por creer en este proyecto y en mí.

Al ingeniero Jaime Suarez por haberme dado la oportunidad de trabajar a su lado en esta gran experiencia, por brindarme su conocimiento y por haberme dirigido por el mejor camino para que este proyecto fuera posible.

A mis compañeros y docentes que estuvieron a mi lado día a día en este largo aprendizaje, los cuales fueron artífices para que hoy culmine con éxito este proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander por haberme abierto sus puertas para hacer hoy en mi una mejor persona y profesional.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	16
OBJETIVOS	18
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	18
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
3 HISTORIA	20
4 ANTECEDENTES.....	24
4.1 PRESA VAJONT-ITALIA	24
4.2 PRESA DE TRES GARGARTAS – CHINA.....	25
4.3 FALLA DE QIANJIANG PING- CHINA.....	26
4.4 ARATOZAWA EN EL JAPÓN.....	27
5 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA	28
5.1 CARACTERIZACION DE LA ZONA POR MEDIO DE ESTUDIO GEOELECTRICO.....	29
6 GEOLOGÍA.....	33
7 ESTRATIGRAFÍA	34
8 CARACTERIZACION GEOLOGICA LA LEONA	35
8.1 FORMACIÓN UMIR (KSU).....	36
8.2 DEPÓSITO COLUVIAL (QCL).....	36
8.3 CRETÁCICO SUPERIOR.....	37
8.4 FORMACIÓN LA LUNA (Ksl).....	38
8.5 CUATERNARIO (Qd)	39
8.6 CARACTERIZACION GEOLOGICA LA SANTA MARIA	40
8.7 FORMACIÓN UMIR (KSU).....	41

8.8	FORMACIÓN LIZAMA (TPL).....	41
8.9	DEPÓSITO COLUVIAL (QD).....	42
8.10	METODOLOGÍA DE TRABAJO GEOELECTRICO.....	42
8.10.1	Fase de Reconocimiento Lito-Estratigráfico y Estructural.....	42
8.10.2	Fase de Adquisición de Datos.....	43
8.10.3	Fase de Valoración de Información.....	43
8.10.4	Fase de Procesamiento e Interpretación.....	43
9	DISPOSITIVO SCHLUMBERGER.....	44
10	GEOELÉCTRICA.....	47
11	ANÁLISIS DE DATOS GEOELÉCTRICOS.....	47
12	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	50
12.1	SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV – 1.....	50
12.2	Observaciones Sondeo Eléctrico Vertical SEV – 1.....	52
12.3	SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV – 2.....	53
12.4	Observaciones Sondeo Eléctrico Vertical SEV – 2.....	55
12.5	PERFIL GEOELECTRICO ESQUEMATICO PARA EL SECTOR INESTABLE DE LA VIA BARRANCABERMEJA, DEPARTAMENTO DE SANTANDER.....	56
12.6	SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV – 3.....	57
12.7	SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV – 4.....	58
13	FALLAS EN ZONA DE ESTUDIO.....	59
13.1	FALLA SALINA.....	59
13.2	FALLA DE BUCARAMANGA.....	60
13.3	PERFIL GEOLOGICO GENERAL.....	60
13.4	FLEXIÓN DEL CHUCURÍ.....	61
14	PROPIEDADES DE LOS COLUVIONES.....	62

14.1	LA LEONA.....	62
14.2	SANTA MARIA.....	65
15	MODELACIÓN COLUVIÓN LA LEONA POR MEDIO DEL SOFTWARE PLAXIS.....	66
16	MODELACIÓN COLUVIÓN LA SANTA MARIA POR MEDIO DEL SOFTWARE PLAXIS.....	70
17	ANÁLISIS MODELOS PLAXIS COLUVIONES LA LEONA Y LA SANTA MARIA.....	74
17.1	MODELO PLAXIS COLUVIÓN LA LEONA.....	74
17.2	MODELO PLAXIS COLUVIÓN LA SANTA MARIA.....	77
18	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
19	BIBLIOGRAFÍA.....	81
20	ANEXOS.....	83

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Ubicación Ruta Proyecto.....	28
Imagen 2. Movimiento en masa La Leona	28
Imagen 3. Localización geográfica del área del Estudio Geoeléctrico.....	31
Imagen 4. Mapa Geológico regional y de Localización del área de ejecución del Estudio	35
Imagen 5. Mapa Geológico regional y de Localización del área de ejecución del Estudio	37
Imagen 6. Mapa Geológico regional y de Localización del área de ejecución del Estudio	40
Imagen 7. Perfil Geoeléctrico según SEV	56
Imagen 8. Ensayo Triaxial	65
Imagen 9. Condición Inicial Coluvión La Leona	66
Imagen 10. Deformación Talud Seco Coluvión La Leona	66
Imagen 11. Presión de Poros Coluvión La Leona Parcialmente Saturado	67
Imagen 12. Deformación Coluvión La Leona Parcialmente Saturado	67
Imagen 13. Deformación Coluvión La Leona Inundado	68
Imagen 14. Desplazamiento Saturado embalse lleno	68
Imagen 15. Factor de Seguridad Coluvión La Leona	69
Imagen 16. Deformación Talud Seco Coluvión La Santa Maria	70
Imagen 17. Dirección Deformación Coluvión La Santa Maria	70
Imagen 18. Deformación parcialmente Saturada	71
Imagen 19. Dirección Deformación Talud La Santa Maria	71
Imagen 20. Desplazamiento Coluvión La Santa Maria Inundado	72
Imagen 21. Dirección desplazamiento Coluvión inundado	72
Imagen 22. Factor de Seguridad Coluvión La Santa Maria	73
Imagen 23. Presión de Poros Condición Inicial.....	75
Imagen 24. Presión de poros Inundación.....	76
Imagen 25. Disminución del embalse y coluvión parcialmente saturado.....	77

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Configuración de Electrodo Tipo Schlumberger	46
Tabla 2. Datos Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1.....	50
Tabla 3. Datos Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2.....	53
Tabla 4. Datos Sondeo Eléctrico Vertical SEV-3.....	57
Tabla 5. Datos Sondeo Eléctrico Vertical SEV-4.....	58
Tabla 6. Propiedades de los suelos Coluvión La Leona.....	64
Tabla 7. Propiedades de los suelos Coluvión La Santa Maria.....	65

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Movimiento 1967, vía Bucaramanga-Barrancabermeja.....	21
Fotografía 2. Diciembre de 2010, vía Bucaramanga-Barrancabermeja.....	23
Fotografía 3. Presa VAJONT.....	24
Fotografía 4.Presa TRES GARGANTAS.....	25
Fotografía 5. Falla QIANJIANG PING.....	26
Fotografía 6. Falla ARATOZAWA JAPON.....	27
Fotografía 7. Dispositivo SCHLUMBERGER.....	46
Fotografía 8. Instalación de Receptores.....	49
Fotografía 9. Toma de datos Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1.....	52
Fotografía 10. Toma de datos Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2.....	55

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Tabulación de resistividades y resistencia SEV.....	85
Anexo B. Tabulación de resistividades y resistencia SEV.....	87
Anexo C. Resultados del procesamiento Geoeléctrico	89
Anexo D. Resultados del procesamiento Geoeléctrico	91
Anexo E. Perfil La Leona	93
Anexo F. Perfil La Santa Maria	95
Anexo G. Analisis Sísmico Barrancabermeja/Santander.....	97

RESUMEN

TITULO: INFLUENCIA DEL LLENADO DE EMBALSES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES; CASO DE ESTUDIO COLUVIONES LA LEONA Y LA SANTA MARIA

AUTOR: LIZZA MARCELA MEJIA CAMACHO

PALABRAS CLAVES: COLUVIÓN, DESLIZAMIENTO, PRESIÓN DE POROS, GEOELÉCTRICA, EMBALSE.

CONTENIDO: Este proyecto tiene como objetivo analizar el comportamiento de los coluviones al llenado de los embalses, en este caso se realizó el estudio a los coluviones La Leona y La Santa María en la vía Bucaramanga - Barrancabermeja, analizándolos al llenado del embalse del Río Sogamoso.

Durante la historia se ha observado como diferentes embalses del mundo han presentado fallas en las laderas, durante el llenado como en la descarga del embalse. Estos sucesos y catástrofes han cobrado un sin número de vidas a lo largo de la historia.

Esto posiblemente a sido a causa del aumento del nivel freático en todo lo largo de las laderas, ya que al presentarse una saturación en el pie del talud o ladera, se inicia un represamiento de agua de manera subterránea, lo que ocasiona que el suelo disipe su estabilidad, reduzca la resistencia al corte, la cohesión y generando así los deslizamientos.

Las fallas y los deslizamientos presentados en los taludes que tienen presencia e influencia sobre los llenados de embalses, han llevado a la búsqueda de razones o causas por lo cual se presentan dichas fallas, de esta manera se realizó un diagnóstico y análisis del comportamiento de los taludes en diferentes estados, tanto seco, como saturados por presencia de llenados de embalses.

*Proyecto de Grado

**Facultad Ingeniarías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director Hebenly Celis Leguizamón, Codirector Jaime Suarez Díaz.

ABSTRACT

TITLE: INFLUENCE OF DAM IN FILLING SLOPE STABILITY; CASE STUDY COLLUVIAL LEONA AND THE SANTA MARIA.

AUTHOR: LIZZA MARCELA MEJIA CAMACHO

KEYWORDS: COLLUVIAL, GLISSADE, PORE PRESSURE, GEOELÉCTRIC, DAM.

CONTENTS: This project aims to analyze the behavior of colluvial reservoir filling, in this case study was conducted to colluvial La Leona and La Santa Maria in Bucaramanga - Barrancabermeja, analyzing the reservoir filling Sogamoso River.

Throughout history it has been observed as different reservoirs of the world have introduced faults on the slopes during filling or discharge the reservoir. These events and disasters have claimed countless lives throughout history.

This was possibly due to the increase in the water table throughout the slopes, because the saturation present in the foot of the slope or hillside, begins a damming of water through the ground, causing the ground to dissipate stability, reduce the shear strength, cohesion and generating landslides.

Failures and landslides on slopes presented with presence and influence on reservoirs filled, have been finding reasons or causes for which such failures occur, so a diagnosis was made and behavior analysis slopes in different states, both dry and saturated by the presence of reservoirs filled.

*Grade Project

**Physical-Mechanical Engineering Faculty, School of Civil Engineering, Director Hebenly Celis Leguizamón, Codirector Jaime Suarez Díaz.

INTRODUCCIÓN

La inestabilidad en los taludes de un embalse es causado principalmente por la evolución hidrodinámica desfavorable en la ladera debida al llenado y operación del embalse.

Al llenarse el embalse los niveles freáticos aumentan a todo lo largo de la ladera, al saturarse el pié de la ladera, se represa el agua subterránea hacia arriba. Si hay suficiente agua subterránea, el suelo pierde su estabilidad y se producen los deslizamientos, El ablandamiento del material reduce la resistencia al cortante y especialmente la cohesión.

En la actualidad se observo la reactivación de deslizamientos antiguos el cual se inicia con la rotura en la parte posterior de las gradas en el basamento del deslizamiento, por tal razón debe analizarse los taludes con depósitos gruesos de coluvión, estos movimientos de masas se identificaron en la vía Bucaramanga – Barrancabermeja en 3 kilómetros de falla en la vía por el desplazamiento de los coluviones de la Falla La Leona.

Con base a lo anterior es importante analizar el comportamiento que tendrían los coluviones al saturarse como resultado de la inundación del embalse de la presa que actualmente se encuentra en construcción

La falla presentada en taludes que tienen presencia e influencia sobre los llenados de embalses, han llevado a la búsqueda de razones o causas por lo cual se presentan dichas fallas, de esta manera realizar diagnósticos del comportamiento de los taludes al llenado de los embalses.

El principal objetivo es analizar el comportamiento de los coluviones La Leona y La Santa Maria en la vía que comunica a la ciudad de Bucaramanga, con la ciudad de Barrancabermeja, durante el llenado del embalse hidrosogamoso.

En la actualidad se conocen más de quince casos de deslizamientos en laderas al producirse el llenado del embalse, como lo fueron: VAJONT – Italia, MONTESEI – Italia, TRES GARGANTAS – China, QIANJIANGPING – China, SHILIUSHUBAO – China, BAISHUIHE – China, XIETAN – China, SHUPING – China, ARATOZAWA – Japón, GRAND COULEE DAM – Columbia river EE.UU, DOWNIE SLIDE –Vancouver Canadá, SAN LUIS DAM – California, TABLACHACA – Perú, RECICE – Checoslovaquia, POLYPHYTON – Grecia.

Basados en estos casos históricos se realiza el análisis de la influencia del llenado de embalses en la estabilidad de taludes, tomando como caso de estudio los coluviones la leona y la santa maría.

OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar el comportamiento de los coluviones La Leona y La Santa Maria en la vía Bucaramanga - Barrancabermeja, al llenado del embalse hidrosogamoso

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Analizar el relieve, la geología y las propiedades de los suelos que componen los coluviones de La Leona y La Santa Maria.
- Analizar las causas detonantes que afectan el comportamiento de los taludes por el llenado del embalse de la presa hidrosogamoso.
- Realizar la modelación por medio de software de los efectos identificados.
- Realizar el diagnostico del comportamiento de los taludes al llenado del embalse.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Al llenarse los embalse los niveles freáticos aumentan a todo lo largo de la ladera, al saturarse el pié de la ladera, se represa el agua subterránea hacia arriba. Si hay suficiente agua subterránea, el suelo pierde su estabilidad y se producen los deslizamientos.

El ablandamiento del material reduce la resistencia al cortante, la cohesión y aumenta la presión de poros.

El embalse saturaría el pié de los cuatro coluviones que están en movimiento, La leona, Mata de cacao, Linderos y Santa maría. La vía sustitutiva pasa por los cuatro coluviones inestables y conecta en el deslizamiento del Coluvión de La Leona.

En los sectores en los que el coluvión está presentando movimiento se va a realizar la construcción de los puentes de la vía sustitutiva, el Puente Mata de Cacao está proyectado sobre el coluvión en movimiento en un sitio muy cercano a donde falló el puente en 1964 y se tuvo que abandonar ese corredor vial. El puente de la quebrada Mata de Cacao, Caño seco y dos puentes sobre la quebrada Santa María están proyectados para ser construidos sobre un deposito coluvial en movimiento.

Con base en lo anterior en el momento del llenado del embalse se activarían los coluviones generando posibles movimientos de gran masa.

3 HISTORIA

La vía Bucaramanga Barrancabermeja inició construcción en 1957, por medio de contratos de la Gobernación de Santander con dineros del Ministerio de obras Públicas y adelantos de regalías de Ecopetrol S.A, la construcción se realizo por tramos donde el 09 de Abril de 1957, se inicio el tramo Bucaramanga a Girón con los ingenieros: Antonio Niño, Manuel J. Blanco y Próspero Chinchilla, el 22 de mayo de 1957, se realizaron obras en el tramo desde el Km 9 al Km 19, con la empresa SIAC Ltda, el 19 de Septiembre de 1958, se extendió el contrato con la empresa SIAC Ltda hasta La Azufrada (Km 25), el 07 de abril de 1959, continuaron las actividades ampliando el contrato con la empresa SIAC Ltda a toda la vía entre Bucaramanga y Barrancabermeja.

Desde el inicio de estas obras se presentaron fallas y deslizamientos, aunque el trazado de la vía desde el punto de vista de localización era el mejor, donde un estudio geológico hubiera permitido la identificación de los deslizamientos en la zona por una falla geológica. Esta información fue dada durante una Investigación de la Procuraduría general de la República sobre la carretera Bucaramanga - Barrancabermeja

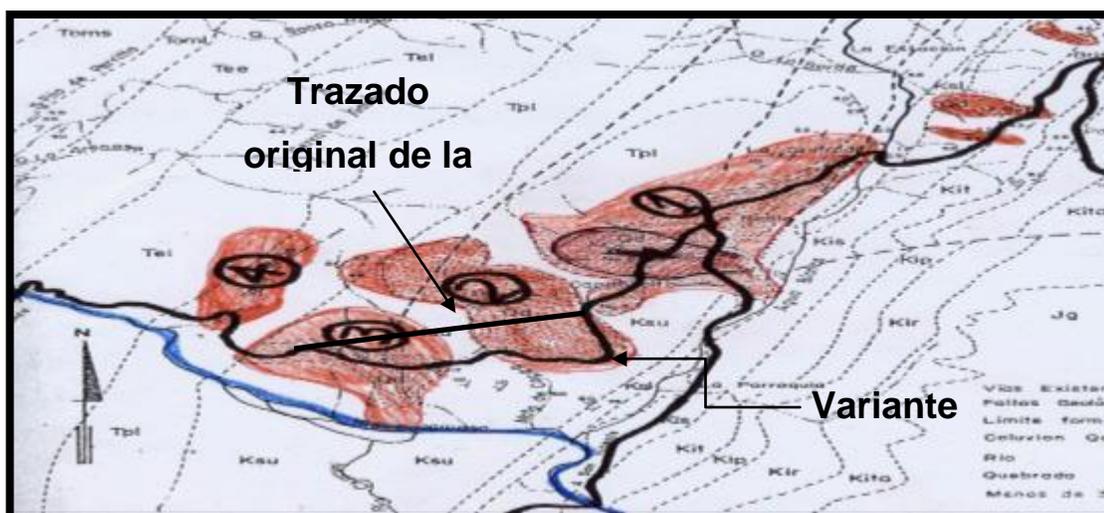
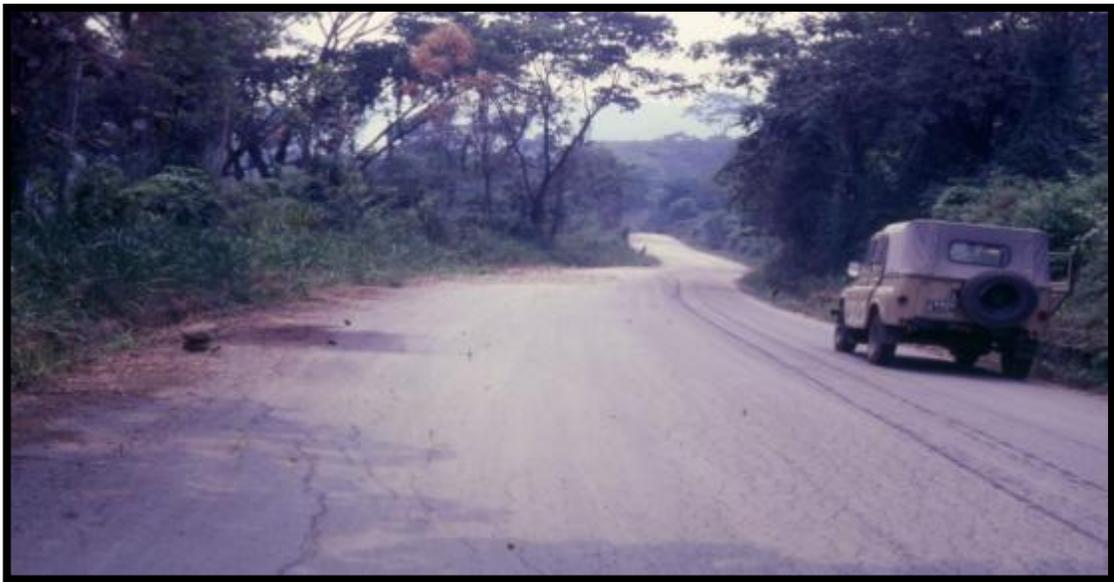


Figura 1. Localización variante vía Bucaramanga-Barrancabermeja.

A raíz del primer deslizamiento, en enero de 1961 se iniciaron trabajos de exploración en el sector conocido como la renta, dando inicio al nuevo trazado de la vía dirigida hacia el río Sogamoso, finalizando toda esta nueva explanación a mediados de 1964. Finalizados los trabajos de la vía iniciaron las fuertes lluvias, las cuales generaron fuertes deslizamientos en un tramo de aproximadamente 2 Km sobre los sectores de mata de cacao y la renta, los cuales obligaron al abandono de un tramo de 4 kilómetros de explanación de 10 metros de ancho que tuvieron que ser abandonados, los cuales contaban con la totalidad de las obras de arte.

La nueva vía se construyó nuevamente en una variante de más de 5 kilómetros bordeando el coluvión de caño seco, bajando al aluvión de Mata de Cacao y empatando cerca a la Santamaría, por elevaciones inferiores, con el mismo alineamiento general. Los trabajos de esta vía con pavimentación fueron finalizados en 1966.



Fotografía 1. Movimiento 1967, vía Bucaramanga-Barrancabermeja

Nuevamente en el invierno de 1967 se presentaron fuertes lluvias donde se deslizó el coluvión de La renta - La leona, desde La Azufrada hasta Capitancitos.

La Procuraduría general de La república de esa época, realizó una investigación detallada sobre la falla de la vía en 1967. Dicha investigación describe las fallas presentadas en la época, tales como: grietas en el pavimento, expansiones, asentamientos en la subrasante, derrumbes en los taludes, destrucción parcial de la banca, fallas en estribos de puentes, obstrucción y destrucción de alcantarillas entre otros.

La inestabilidad de la zona llevo a la decisión por parte del ministerio de obras públicas a efectuar estudios de factibilidad de una variante que evite la zona de peligro.

Entre 1968 y 1969 se presentaron los estudios de una misión técnica alemana la cual recomendó construir una variante Portugal- La Parroquia – Caño Seco, así mismo afirmo que la vía no podría ser estabilizada por los diferentes aspectos técnicos y económicos; sin embargo ante las recomendaciones dadas, se decidió continuar con el trazado incluyendo obras de estabilización como: Filtros, muros de contención, pedraplenes, etc.

Nuevamente en diciembre de 2010 se produjo un deslizamiento de aproximadamente 3 kilómetros cuadrados de área y un volumen de suelo y roca de aproximadamente 50 millones de metros cúbicos.



Fotografía 2. Diciembre de 2010, vía Bucaramanga-Barrancabermeja

Finalmente los estudios arrojaron que las posibilidades de controlar debidamente los movimientos de los tramos eran muy remotas, ya que el proceso de reptación y meteorización obedecía a la historia geológica y a las condiciones ambientales de la región.

Las medidas que se tomaran, tales como drenajes, coberturas, reconstrucción de terraplenes y construcción de muros de contención serian solo paliativas y sus efectos benéficos serian muy efímeros, como ya se había podido comprobar.

Ahora la gran preocupación es que ese corredor donde se perdieron las inversiones, es aproximadamente el mismo corredor por el cual Isagen está construyendo la vía sustitutiva del proyecto Hidrosogamoso.

4 ANTECEDENTES

4.1 PRESA VAJONT-ITALIA



Fotografía 3. Presa VAJONT.

La presa de VAJONT se localiza en el sureste de la región dolomita de los Alpes italianos, a 100 km al norte de Venecia. En su momento fue considerada la presa más alta del mundo con 265.5 metros de altura, 160 metros de ancho y su volumen fue de 115 millones de m³ de agua almacenada.

La presa y el embalse se encuentran sobre una formación de calizas, los trabajos de excavación para la presa iniciaron en 1956 y finalizaron en 1960.

Durante el primer llenado del embalse, al alcanzarse una profundidad de 170 metros, se empezaron a presentar movimientos en los taludes y grietas de 2 km de longitud.

Al obtener una profundidad de 180 metros se produjo un deslizamiento de 700 m³ de material al interior de la presa, esto llevó a bajar el nivel del embalse de 185 metros a 135 metros, al llegar el nivel del embalse a 115 millones de m³ de agua. La onda ascendió destruyendo el pueblo de Casso

a 260 metros por encima del nivel del embalse, y pasó 245 metros por encima del nivel de la cresta de la presa.

La ola bajó por el río y destruyó los pueblos de Longarone, Pirago, Villanova, Rivalta y Fae, donde murieron 2500 personas.

4.2 PRESA DE TRES GARGANTAS – CHINA



Fotografía 4.Presa TRES GARGANTAS.

La presa de las tres gargantas o *Gorotkia* (como se contempla llamar en un futuro) se levanta a orillas de la ciudad de Yichang, en la provincia de Hubei, en el centro de China, La presa mide 2.309 metros de longitud y 185 de altura

Actualmente la presa de tres gargantas es la mayor presa hidroeléctrica del mundo, situada en el curso del río Yangtsé, en la región de Hubei, China central. Retiene el agua a 91 metros sobre el nivel del propio río y contiene aproximadamente 39.300 millones de metros cúbicos de agua en una superficie de 632 km cuadrados. Es un peso aproximado de 42.000 millones de toneladas.

Al llenarse el embalse de las Tres Gargantas se han presentado varios deslizamientos de las laderas junto al embalse.

4.3 FALLA DE QIANJIANG PING- CHINA



Fotografía 5. Falla QIANJIANG PING

Al llegar el nivel de agua a 135 metros, la ladera empezó a deformarse y se activó un deslizamiento de gran magnitud.

El deslizamiento tuvo una longitud de 1200 metros y un ancho de 1000 metros y se movió 250 metros. El espesor de la masa es de 20 metros en promedio siendo más delgada en la parte alta y más gruesa en la parte baja. Murieron 24 personas. Se generó onda de 30 mts de altura.

El deslizamiento fue activado por el ascenso del nivel de agua en el pie de la ladera al llenarse el embalse hasta el nivel de 135 metros.

En el proceso de análisis del deslizamiento se realizó un ensayo de refracción de rayos X de las arcillas, donde se observó la presencia de mantos de arcilla, los cuales generaron una susceptibilidad alta al deslizamiento.

Los niveles freáticos represados por la presencia del embalse pudieron tener una gran importancia en la activación del deslizamiento.

4.4 ARATOZAWA EN EL JAPÓN



Fotografía 6. Falla ARATOZAWA JAPON

El embalse presento un deslizamiento de 1.2 km de largo, 800 metros de ancho y 50 metros de profundidad para 60 millones de m³.

Se atribuye el deslizamiento al ascenso del nivel freático relacionado con el embalse, aunque el movimiento fue activado por un sismo.

5 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA

Los coluviones La Leona y La Santa María están ubicados en la vía que comunica a los Municipios de Bucaramanga con Barrancabermeja, en el Departamento de Santander.

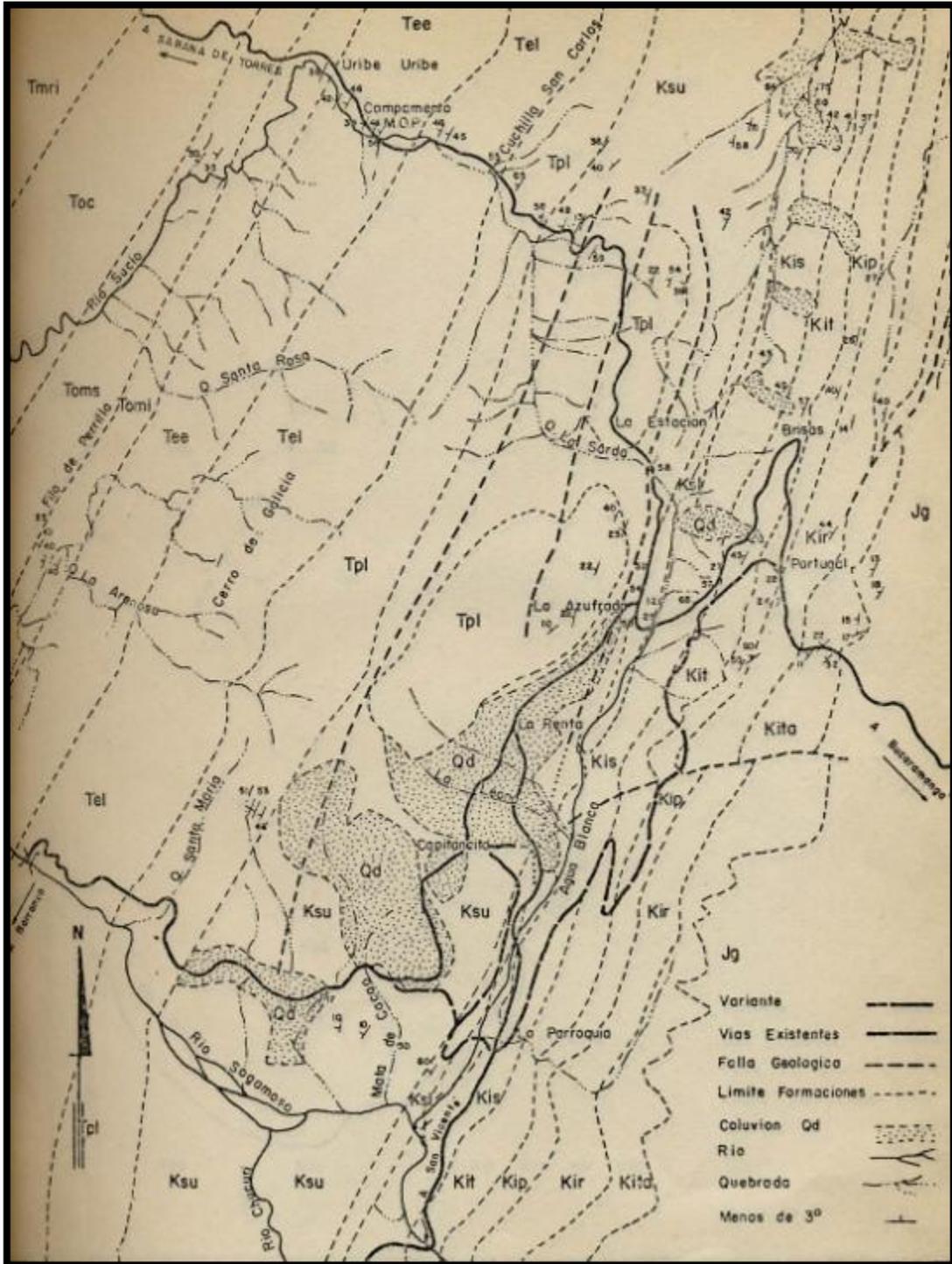


Imagen 1. Ubicación Ruta Proyecto



Imagen 2. Movimiento en masa La Leona

5.1 CARACTERIZACION DE LA ZONA POR MEDIO DE ESTUDIO GEOELECTRICO



En los estudios geotécnicos y de recursos hídricos subterráneos se utiliza como principal herramienta el método geoelectrico, que permite estudiar la constitución y posición de los sedimentos, rocas y agua subterránea, utilizando la evolución de la resistividad eléctrica a través de su profundidad.

El método Geoelectrico o de resistividad fue ideado por el ingeniero francés Conrad Schlumberger y es el más eficaz hasta el momento, y de más amplia difusión en la prospección de agua subterránea y en la aplicación a los estudios geotécnicos, que consiste en energizar el terreno para evaluar las resistividades del subsuelo realizando una serie de mediciones de Intensidad de corriente como del gradiente de potencial desde la superficie.

Considerando la necesidad de complementar los Estudios Geotécnicos para el sitio inestable de La Leona en la Lebrija-Barrancabermeja de la vecindad SW del municipio de Lebrija, departamento de Santander (ver Imagen 3), se ha considerado la alternativa de llevar a cabo un estudio de Investigación Geofísica del subsuelo, para caracterizar la composición y posición de las rocas en el subsuelo e igualmente conocer existencia y profundidad del agua subterránea.

Para la toma de datos se efectúa la visita correspondiente al sector de interés geotécnico de La Leona (ver Imagen 3), el día 14 de abril de 2012, día en el cual se ejecutaron los Sondeos Eléctricos Verticales **SEV-1, SEV-2, SEV-3 y SEV-4** previstos en los lugares apropiados y considerados de interés y a su vez, donde las condiciones locales y en general de carácter logístico lo permiten, de acuerdo a una visita previa realizada, localizados de forma tal que se permita lograr la interpretación más homogénea sobre la respectiva área de interés.

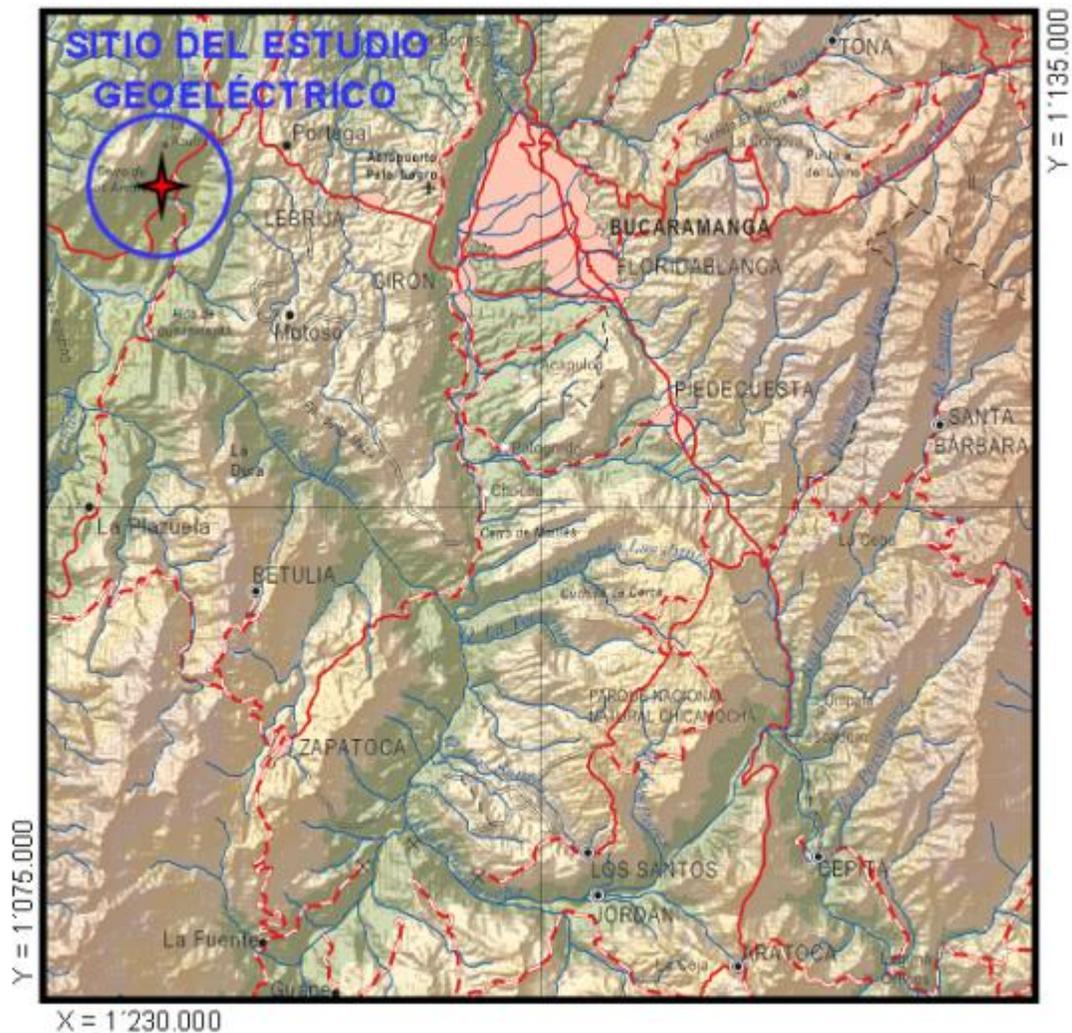


Imagen 3. Localización geográfica del área del Estudio Geoeléctrico

Para la localización de los SEV se utilizó un GPS (Global Positioning System) Map 60CSx Garmin, que es un sistema de localización por satélite, el cual determina la posición de un punto en relación a un grupo de satélites que orbitan la tierra y envían continuamente señales de radio con la posición y el tiempo exactos de cada uno de ellos. Conociendo tres o más de estos satélites y calculando las diferencias en tiempo entre señales transmitidas,

el GPS determina su posición en coordenadas planas con una precisión de 2 m.

En este informe técnico se consignan los resultados del estudio y se describen las características hidrogeológicas del subsuelo, manifestando la litología asociada y su estado, conductas de resistividad y comportamientos hídricos.

6 GEOLOGÍA

El área de interés corresponde totalmente a rocas sedimentarias Cuaternarias y de edad Cretácica Superior, representadas especialmente por materiales arcillosos y delgados mantos de carbón.

Las unidades geológicas reconocidas en campo fueron la Formación La Luna y la Formación Umir del Cretácico Superior, la cual está parcialmente cubierta por cuerpos cuaternarios de tipo coluvial y de derrubio (ver Imagen 4 y 5). Estas rocas presentan en términos generales exposición aceptable, meteorización avanzada, observable parcialmente a lo largo de las vías de comunicación y en pequeñas cañadas dentro y fuera del área.

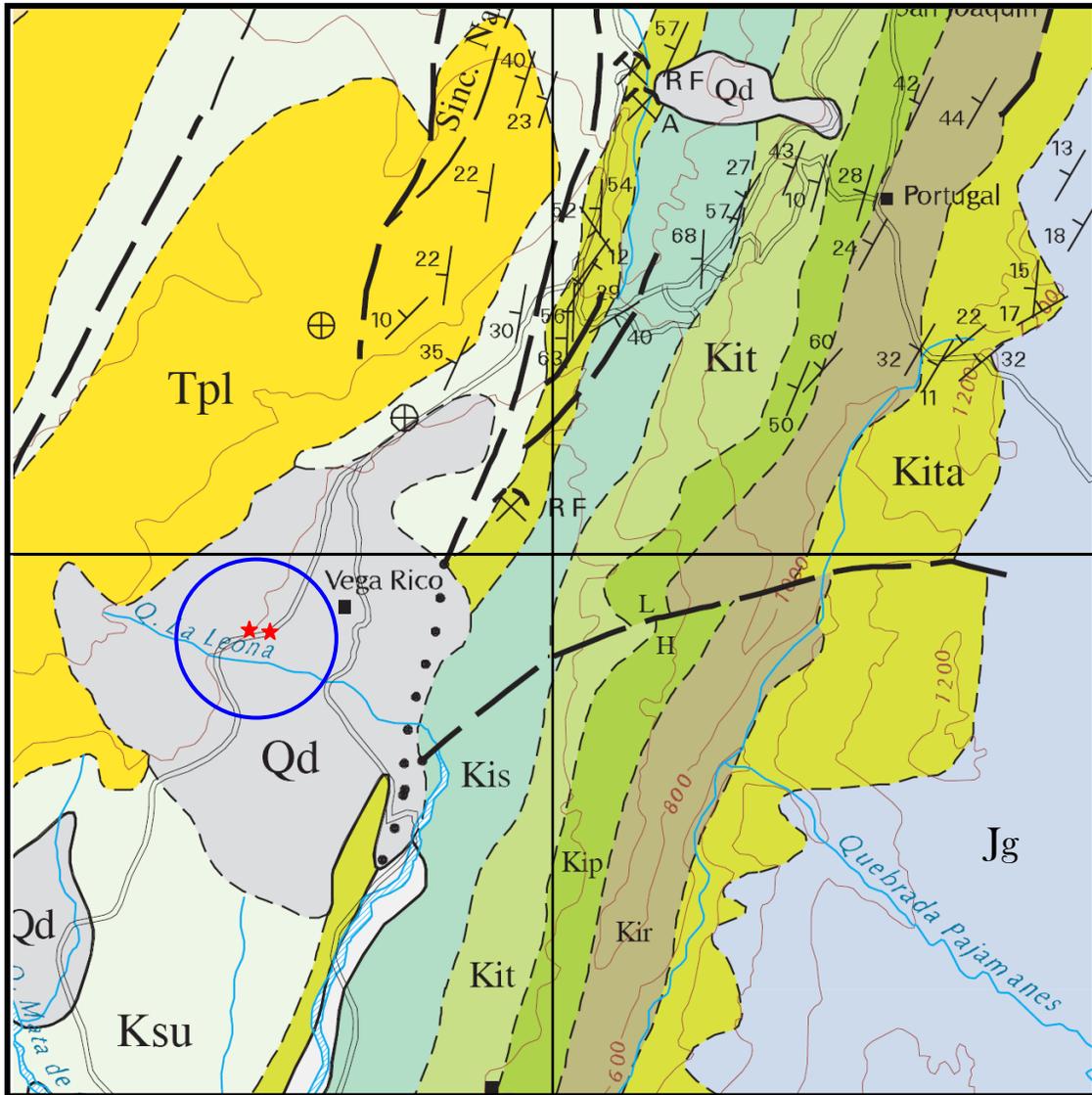
Superficialmente se tienen suelos aptos para la agricultura, allí se encuentran algunos cultivos cítricos y parcialmente ganadería donde se desarrollan pastos y rastrojos.

En general la geomorfología del área se caracteriza por presentar unas zonas onduladas con pendientes suaves y pequeñas mesetas o zonas planas.

7 ESTRATIGRAFÍA

En este capítulo se desea ilustrar las características litológicas y sedimentológicas de las unidades de roca del subsuelo que están comprometidas en la amplitud de investigación de la herramienta Geoeléctrica, además de evaluar y comprender las propiedades de permeabilidad, porosidad primaria y secundaria de las unidades que están en capacidad de almacenar el agua subterránea; es decir nos interesa detallar la litología de las rocas que estarían incluidas en el basamento del respectivo coluvión. A profundidades mayores a las del estudio geoeléctrico, existen diferentes unidades de roca que para nuestro objetivo exploratorio no implican repercusiones importantes y por ello no se describen en el presente informe.

8 CARACTERIZACION GEOLOGICA LA LEONA



Mapa Geológico del Cuadrángulo H-12, Bucaramanga, Ingeominas, 1977

LEYENDA

Qd	Depósito Coluvial	Ksu	Formación Umir
Tpl	Formación Lisama	★★	Sector Estudio Geofísico

Imagen 4. Mapa Geológico regional y de Localización del área de ejecución del Estudio

8.1 FORMACIÓN UMIR (KSU)

Presente en el área de estudio y fue descrita por L. Huntley (en JULIVERT, M. et al., 1968) y la localidad tipo se encuentra en la Quebrada Umir al Oriente del Cerro del mismo nombre en Santander. Consta de shales grises a negros, carbonosos, micáceos, con concreciones ferruginosas; lutitas grises a gris oscuras, carbonosas, con nódulos ferruginosos; intercalaciones de areniscas y limolitas, grises, carbonosas y micáceas. También es común la presencia de capas explotables de carbón de 0.60 a 5.00 m de espesor. El ambiente es nerítico. El espesor se ha calculado entre 1000 y 1400 m.

La Formación Umir descansa en discontinuidad estratigráfica sobre el miembro Galembó de la Formación La Luna. El contacto superior con la suprayacente Formación Lisama es concordante. Los foraminíferos estudiados por varios autores, determinan una edad Campaniano - Maestrichtiano. Esta unidad se correlaciona con la Formación Colón-Mito Juan de la Cuenca del Catatumbo-Maracaibo

8.2 DEPÓSITO COLUVIAL (QCL)

El ambiente dominante en superficie es caracterizado por depósitos de coluvión y de derrubio.

Están constituidos principalmente por bloques de areniscas embebidos en una matriz areno-arcillosa y limos suprayaciendo un basamento del Cretácico Superior que Consta de shales grises a negros, carbonosos, micáceos, con concreciones ferruginosas; lutitas grises a gris oscuras, carbonosas, con nódulos ferruginosos; intercalaciones de areniscas y limolitas, grises, carbonosas y micáceas correlacionables con la Formación Umir.

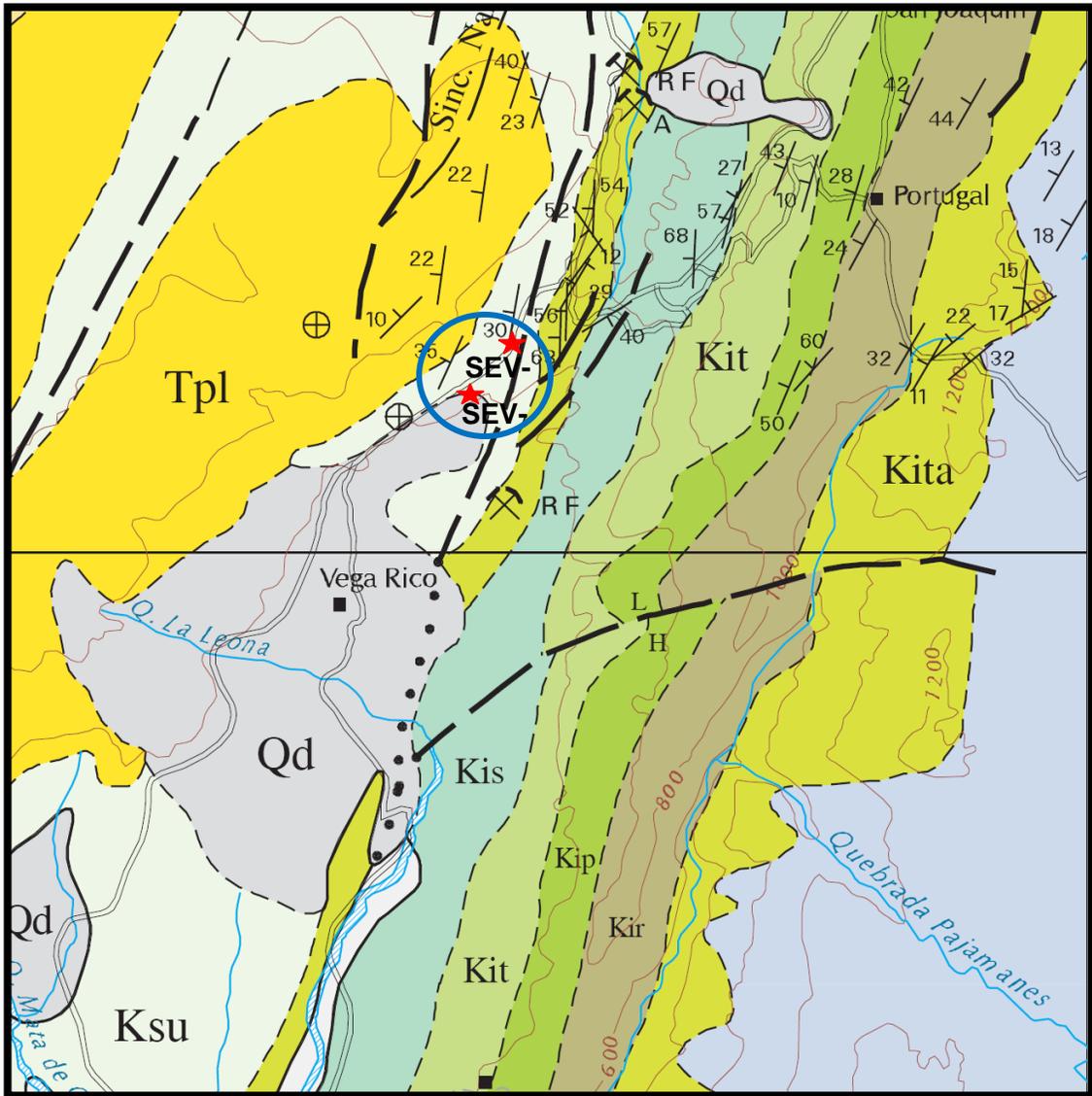


Imagen 5. Mapa Geológico regional y de Localización del área de ejecución del Estudio

8.3 CRETÁCICO SUPERIOR

Está conformada por sedimentitas como lutitas, calizas, areniscas, chert, rocas porfíricas y capas de carbón, con edades entre el Coniaciano y el Maestrichtiano, las cuales se encuentran expuestas en la región oriental,

ocupando los sectores nororiental y oriental del Departamento de Santander. Estas sedimentitas corresponden a nomenclatura de la cuenca del Valle Medio del Magdalena y están representadas por las formaciones La Luna y Umir.

Están bien expuestas en Santander, principalmente en las áreas de Vanegas, Conchal, La Azufrada, San Vicente de Chucurí, San Luis, San Juan Bosco, Landázuri.

8.4 FORMACIÓN LA LUNA (Ksl)

Fue descrita por A. Garner (en JULIVERT, M. et al., 1968) y el nombre procede de la Quebrada La Luna al NW de Perijá, Zulia (Venezuela). En Colombia fue introducido el término por geólogos de la Caribbean Petrol Co. La unidad está constituida por caliza gris oscuras, arcillosas, lutitas grises a negras, calcáreas, en capas delgadas; lutitas gris oscuras con delgadas intercalaciones de calizas arcillosas, concreciones de calizas con fósiles, que alcanzan más de dos metros de diámetro y capas delgadas de chert negro; también capas fosfáticas hacia la parte superior. En el Valle Medio del Magdalena la Formación La Luna se subdivide en tres miembros: el inferior Salada, el intermedio Pujamana y el superior Galembo. El ambiente de depositación es marino de aguas relativamente poco profundas con poca ventilación en el fondo. El espesor varía entre 275 y 575 m.

El contacto de la Formación La Luna con la infrayacente Formación Simití es concordante. Entre las formaciones La Luna y Umir existe una ligera discontinuidad estratigráfica. Morales, L. et al. (1958) en el Valle Medio del Magdalena le asignan una edad del Turoniano al Santoniano. Se correlaciona con la Formación La Luna de la Cuenca Catatumbo-Maracaibo en las partes colombiana y venezolana.

8.5 CUATERNARIO (Qd)

El ambiente dominante en superficie es caracterizado por depósitos de colusión y de derrubio. Están constituidos principalmente por bloques de areniscas embebidos en una matriz areno-arcillosa y limos suprayaciendo un basamento del Cretácico Superior que Consta de shales grises a negros, carbonosos, micáceos, con concreciones ferruginosas; lutitas grises a gris oscuras, carbonosas, con nódulos ferruginosos; intercalaciones de areniscas y limolitas, grises, carbonosas y micáceas correlacionables con la Formación Umir.

8.6 CARACTERIZACION GEOLOGICA LA SANTA MARIA

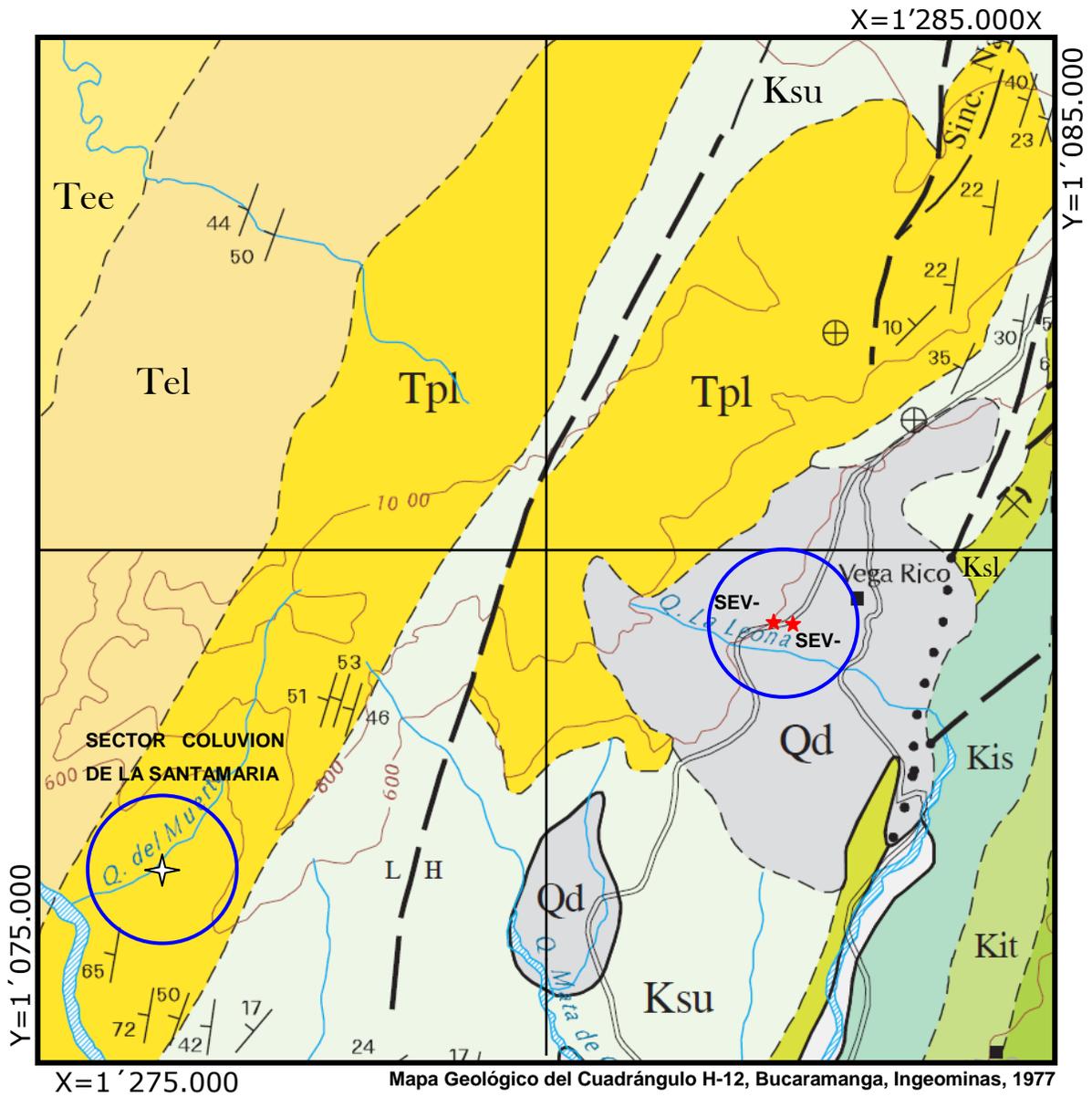


Imagen 6. Mapa Geológico regional y de Localización del área de ejecución del Estudio

8.7 FORMACIÓN UMIR (KSU)

Presente en el área de estudio y fue descrita por L. Huntley (en JULIVERT, M. et al., 1968) y la localidad tipo se encuentra en la Quebrada Umir al Oriente del Cerro del mismo nombre en Santander. Consta de shales grises a negros, carbonosos, micáceos, con concreciones ferruginosas; lutitas grises a gris oscuras, carbonosas, con nódulos ferruginosos; intercalaciones de areniscas y limolitas, grises, carbonosas y micáceas. También es común la presencia de capas explotables de carbón de 0.60 a 5.00 m de espesor. El ambiente es nerítico. El espesor se ha calculado entre 1000 y 1400 m.

La Formación Umir descansa en discontinuidad estratigráfica sobre el miembro Galembó de la Formación La Luna. El contacto superior con la suprayacente Formación Lisama es concordante. Los foraminíferos estudiados por varios autores, determinan una edad Campaniano - Maestrichtiano. Esta unidad se correlaciona con la Formación Colón-Mito Juan de la Cuenca del Catatumbo-Maracaibo

8.8 FORMACIÓN LIZAMA (TPL)

Fue descrita originalmente por Th. Link (en MORALES, L. et al., 1958) y publicada por primera vez por O.C. Wheeler (en DE PORTA, J. et al., 1974). Esta unidad aflora al Occidente de Santander y su sección de referencia está en la Quebrada Lisama, afluente del Río Sogamoso. La unidad se encuentra constituida por una secuencia de lutitas abigarradas, alternadas con areniscas grises, verdosas y pardas, de grano fino a medio y algunas capas delgadas de carbón. El depósito de estos sedimentos ocurrió en un ambiente bajo condiciones lagunares deltaicas. El espesor alcanza hasta 1.225 m.

Esta unidad presenta un contacto normal y transicional con la infrayacente Formación Umir. El contacto superior con la Formación La Paz, está

determinado por una discordancia regional bien marcada. La edad es Paleoceno (VAN DER HAMMEN, 1958). Se le ha correlacionado con las formaciones Barco y Los Cuervos de la cuenca de Catatumbo-Maracaibo.

8.9 DEPÓSITO COLUVIAL (QD)

El ambiente dominante en superficie es caracterizado por depósitos de coluvión y de derrubio.

Están constituidos principalmente por bloques de areniscas embebidos en una matriz areno-arcillosa y limos suprayaciendo un basamento del Cretácico Superior que consta de shales grises a negros, carbonosos, micáceos, con concreciones ferruginosas; lutitas grises a gris oscuras, carbonosas, con nódulos ferruginosos; intercalaciones de areniscas y limolitas, grises, carbonosas y micáceas correlacionables con la Formación Umir; igualmente este tipo de depósito coluvial está en contacto con la Formación La Lizama de edad terciaria compuesta por lutitas abigarradas, alternadas con areniscas grises, verdosas y pardas, de grano fino a medio y algunas capas delgadas de carbón

8.10 METODOLOGÍA DE TRABAJO GEOELECTRICO

Para la ejecución del Estudio Geoelectrico se efectuaron cuatro (4) fases o etapas de trabajo que incluyeron las siguientes actividades:

8.10.1 Fase de Reconocimiento Lito-Estratigráfico y Estructural

Realizada en los alrededores del área del proyecto, con el fin de reconocer la geología local, estratigrafía, geomorfología, inclinación (actitud) de las capas de roca en superficie y constatar e identificar los principales agentes hídricos.

8.10.2 Fase de Adquisición de Datos

Efectuada con la visita puntual en los sitios de interés geotécnico para planear la ubicación y ejecución de dos (2) Sondeos Eléctricos Verticales SEV, con una profundidad de investigación Geofísica de 177.80 m.

8.10.3 Fase de Valoración de Información

Revisión bibliográfica y análisis de la Información geológica existente de superficie y subsuelo, para el sector del estudio.

8.10.4 Fase de Procesamiento e Interpretación

Con los datos adquiridos de las fases anteriores y utilizando software, se realizó el procesamiento e interpretación de los datos y se correlacionaron los resultados con la información regional y local.

Los sondeos se realizan con un equipo de resistividad GESS-2000 compuesto por un Trasmisor y un Receptor con las siguientes características: Potencia 1500 W, Máximo Voltaje de Salida 400V, AB/2 Máxima de 1000 m de profundidad, Electrodo en Acero Inoxidable de Alta Conductividad, Corriente de salida: continua DC, Precisión en la corriente de salida 0.5% en 100mA, Tiempo de pulsación de 1 a 4 segundos, Lecturas en auto-rango, Precisión V/I de 0.1%, Impedancia de entrada 1 M mínimo, Fuente de entrada 12V, Operación de temperaturas entre -5 a +50°C.

9 DISPOSITIVO SCHLUMBERGER

En este tipo de arreglo, los electrodos de potencial se colocan como se muestra en la Figura No. 3: (M y N); se ubican simétricamente a una distancia l del punto central. De igual forma se colocan los electrodos de corriente (A y B) a una distancia L del punto central, conservando entre todos una alineación. Por lo tanto, L es equivalente a $AB/2$, mientras que el valor de $MN/2$ lo es para l .

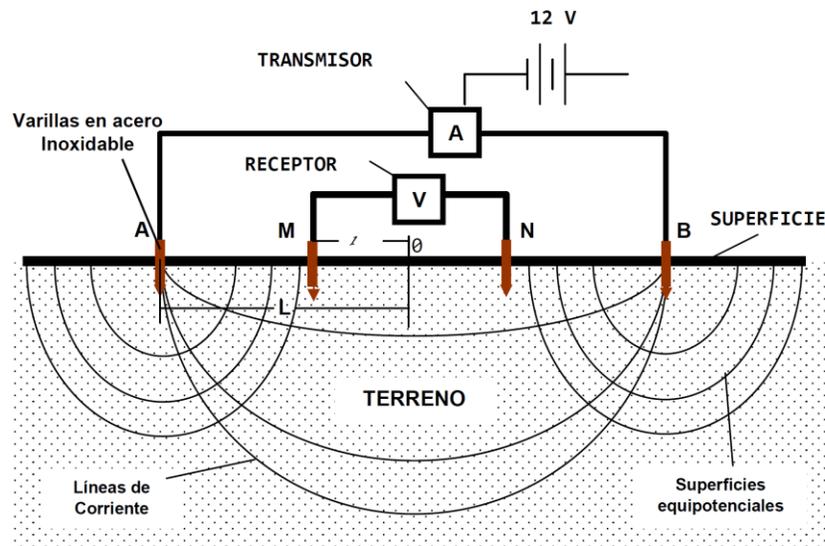


Figura No. 1. Montaje Típico o Configuración Eléctrica Tipo Schlumberger para la ejecución de los Sondeos Eléctricos Verticales

De este arreglo se extrae el siguiente valor de K , que corresponde a la constante, para cada apertura. K se denomina constante geométrica, porque depende directamente de la geometría del dispositivo empleado para inyectar y medir la corriente y tiene las dimensiones de una distancia (m).

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{L-l} - \frac{1}{L+l} - \frac{1}{L+l} + \frac{1}{L-l}} = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{2l}$$

Fuente: Cantos Figueroa en el Tratado de Geofísica Aplicada, 1979.

Ejemplo: Reemplazando los valores para el caso de la constante (K) con apertura AB/2 (L): 1,33 m y MN/2 (l): 0,44 m, se obtiene:

$$K = \pi \frac{1,33^2 - 0,44^2}{2 * 0,44} = 5,62m$$

Normalmente sólo se utiliza la constante con dos (2) dígitos.

Este arreglo es el utilizado en el proyecto y se practica con apertura de octava de ciclo logarítmico, lo cual hace que se obtengan 8 lecturas entre las profundidades 1,33 a 10 (m); 13,34 a 100 (m) y 133,34 a 1000 (m) que representan el AB/2, las que están representando cada una a un ciclo logarítmico. Se inicia con un MN/2 de 0,44 (m) (equivalente al 33% del AB/2 inicial), el cual se amplía a 5,93 (m) a partir del valor AB/2 inicial de 31,62 (m), con el fin de lograr valores más representativos. En caso de efectuar sondeos más profundos a los realizados, la nueva apertura MN/2 corresponde a 44,44 (m), la cual se inicia a partir de los 133,34(m). Siempre se conserva esta proporcionalidad cuando se requiere ampliar el AB/2.

Con el fin de tener una resolución de interpretación de la profundidad de diseño, la cual debe ser correspondiente con la profundidad efectiva, fue necesario realizar una extrapolación de la curva de campo (un ciclo adicional), de acuerdo con las recomendadas de Otto Koefoed, para la aplicación de este en la curva teórica, obteniendo una profundidad efectiva del 60% de la profundidad investigada en campo (AB/2).

Para el cálculo de la Resistividad (R), se aplica la siguiente relación:

$$R = \frac{V(m.voltios)}{I(m.amperios)} * K(m) = \Omega - m$$

Las lecturas para los diferentes cálculos se efectúan de acuerdo con lo expresado en la Tabla No. 1.

CONFIGURACIÓN ELECTRODOS POR MÉTODO SCHLUMBERGER	
AB/2 m	MN/2 m
1,33 – 31,62	0,44
31,62- 133,34	5,93
133,34 – 562,30	44,44
562,30 -1000,00	105,40

Tabla 1. Configuración de Electrodo Tipo Schlumberger

Lo anterior permite obtener puntos de control para las dos últimas lecturas, de tal manera que se analice la posible desviación de la curva de campo en lo referente a la resistividad aparente que se está logrando. En la interpretación se toma el valor más cercano al comportamiento de la curva.

El valor de la constante geoelectrica K, para cada apertura se presenta en cada sondeo, dependiendo de la separación de los electrodos AB/2 y MN/2.



Fotografía 7. Dispositivo SCHLUMBERGER

10 GEOELÉCTRICA

La gran utilidad que presenta el método Geoeléctrico se ha evidenciado a lo largo de la historia en soporte para decisiones geotécnicas e hidrogeológicas como deslizamientos y para la perforación de pozos de agua subterránea llegando a reducir las probabilidades de perforar en una zona seca. Este método consiste en medir las caídas de potencial en los estratos rocosos ubicados entre dos electrodos. Arroja información confiable acerca de propiedades tales como grado de compactación, dureza y presencia o ausencia de fluidos dentro de las unidades porosas.

Mediante cálculos matemáticos, los datos obtenidos en campo, se convierten en medidas de las resistividades aparentes de las rocas del subsuelo. Ploteando estas resistividades contra la profundidad se obtienen un estimativo de los espesores y resistividades del subsuelo utilizando para ello, software especializado.

11 ANÁLISIS DE DATOS GEOELÉCTRICOS

En interpretaciones cuantitativas se debe distinguir entre interpretaciones puramente matemáticas e interpretaciones Hidrogeológicas. Es decir, la interpretación de un levantamiento Geoeléctrico es mucho más que simplemente sumar los resultados de una interpretación matemática de cada una de las mediciones.

Una interpretación geoeléctrica tiene además como objetivo proporcionar información, como:

Profundidades, espesores y extensión de acuíferos, capas semipermeables e impermeables.

- Nivel freático
- Profundidad del basamento

- Interfaz entre aguas dulces y saladas
- Calidad química de las aguas subterráneas
- Propiedades físicas de la roca (Porosidad, permeabilidad, granulometría, etc.)
- En general, aporta datos sobre constitución hidrogeológica en un área.

En la interpretación de un Sondeo Eléctrico Vertical las resistividades aparentes, obtenidas por medio de un SEV con el dispositivo Schlumberger, se representan en función de las distancias $AB/2$ en un gráfico de papel doblemente logarítmico, en el cual las ordenadas representan profundidades y las abscisas resistividad aparente (ver figuras 2 y 3).

El sistema computarizado recibe las aperturas y la resistividad aparente, lo cual permite interpretar las unidades geoeléctricas con resistividad, espesor y profundidad del techo (ver Anexos), para que manualmente se determine la litología correspondiente. Los anteriores datos son incluidos en otro programa de computador, denominado Cuarteo, en el cual se procede, independientemente del programa inicial, en forma totalmente inversa, obteniendo así la curva teórica, la cual indica el grado de confiabilidad de los datos obtenidos en el campo.

Para ambos casos se emplea un error relativo de 0,10, lo cual muestra la precisión con la cual se maneja la información a ser comparada.



Fotografía 8. Instalación de Receptores

12 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

12.1 SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV – 1

LOCALIZACIÓN: Finca Campo Alegre (Figura 5).

PROFUNDIDAD INVESTIGADA: AB/2 = 177.80 m.

TERRENO: Inclinado

COORDENADAS ORIGEN BOGOTÁ: X = 1'279.309, Y = 1'082.193, Z = 631 msnm

ERROR RELATIVO: 0.0025

Profundidad (m) Desde - Hasta	Unidad Geoeléctrica	Resistividad (Ohm - m)	Correlación Hidrogeológica
0.00 - 0.50	I	293	Suelo arcillo-arenoso con la presencia de fragmentos de areniscas.
0.50 - 2.70	II	252	Depósito coluvial de bloques de areniscas embebidos en una matriz areno-arcillosa.
2.70 - 8.50	III	107	Depósito coluvial de bloques de areniscas embebidos en una matriz areno-arcillosa. Húmedo.
8.50 - 29.50	IV	55	Depósito coluvial de bloques de areniscas embebidos en una matriz areno-arcillosa. Saturado.
29.50 - 100.00	V	203	Basamento cretácico compuesto por lutitas carbonosas intercaladas con niveles de areniscas. Húmedo. Fm Umir

Tabla 2. Datos Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1

MUNICIPIO DE LEBRIJA, SANTANDER
VIA LEBRIJA-BARRANCABERMEJA - COLUVIÓN DE LA LEONA

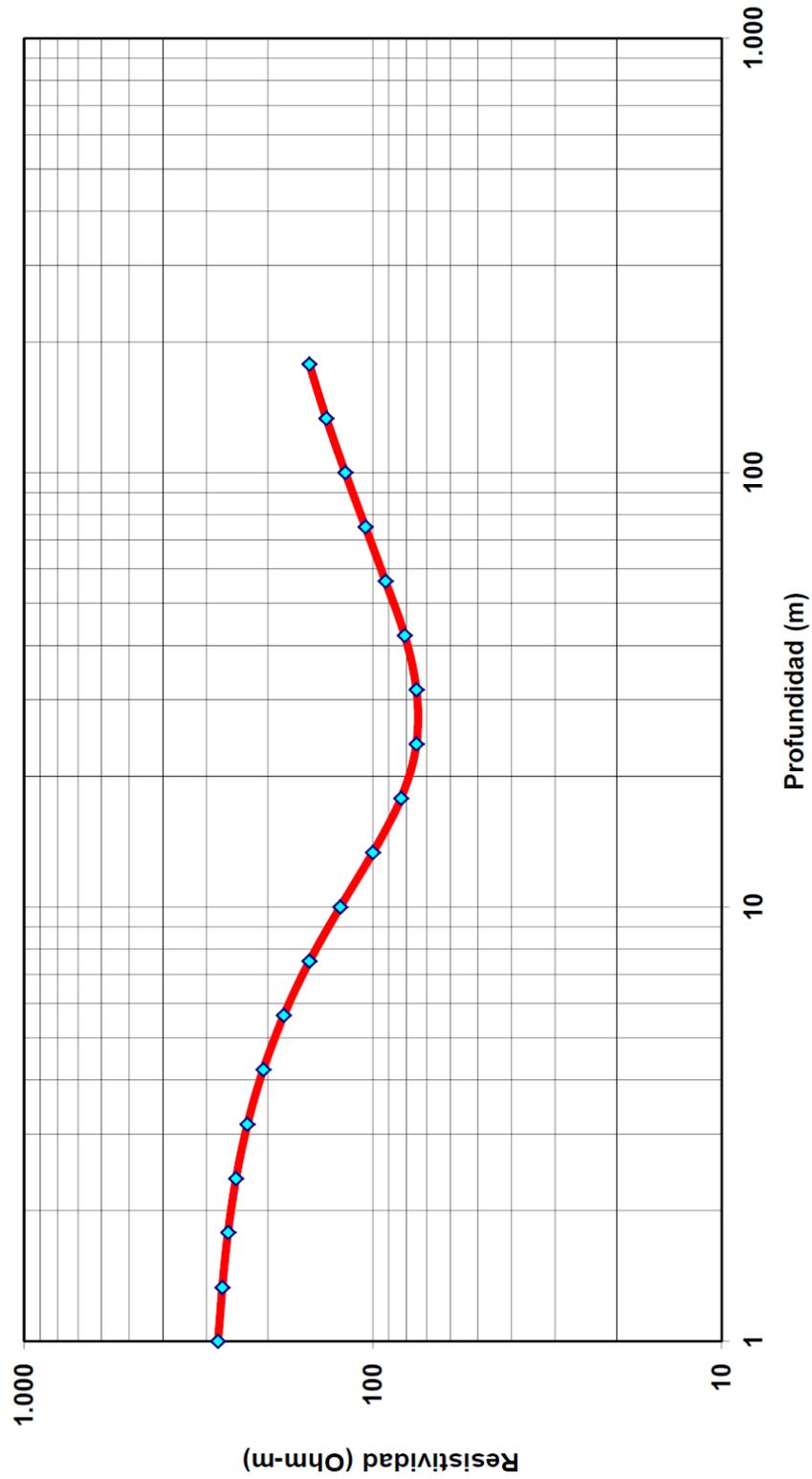


Figura 2. Curva Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1



Fotografía 9. Toma de datos Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1

12.2 Observaciones Sondeo Eléctrico Vertical SEV – 1

La presente sección Geoeléctrica presenta un depósito coluvial de bloques, guijarros de areniscas embebidos en una matriz areno-arcillosa suprayaciendo rocas de edad Cretácica, compuestas por intercalaciones de shales carbonosos, micáceos, lutitas carbonosas con nódulos ferruginosos, limolitas intercaladas con areniscas. También es común la presencia de capas explotables de carbón. Estas rocas cretácicas presentan fracturamiento y meteorización hacia el tope de la columna estratigráfica y se correlacionan con la Formación Umir.

La información de resistividad da la evidencia de posibles niveles con recurso hídrico, para un posible acuífero, ubicados en las unidades Geoeléctricas III, IV y V.

12.3 SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV – 2

LOCALIZACIÓN: Margen izquierdo vía Lebrija - Barrancabermeja (Figura 7).

PROFUNDIDAD INVESTIGADA: $AB/2 = 177.80$ m.

TERRENO: Inclinado

COORDENADAS ORIGEN BOGOTÁ: X = 1'279.273, Y = 1'082.403, Z = 610 msnm

ERROR RELATIVO: 0.0147

Profundidad (m) Desde - Hasta	Unidad Geoeléctrica	Resistividad (Ohm - m)	Correlación Hidrogeológica
0.00 - 0.90	I	57	Material de relleno de vía arcillo-gravoso. Húmedo.
0.90 - 7.10	II	120	Depósito coluvial de bloques de areniscas embebidos en una matriz areno-arcillosa. Húmedo.
7.10 - 53.70	III	32	Depósito coluvial de bloques de areniscas embebidos en una matriz areno-arcillosa. Saturado.
53.70 - 100.00	IV	101	Basamento cretácico compuesto por lutitas carbonosas intercaladas con niveles de areniscas. Húmedo. Fm Umir

Tabla 3. Datos Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2

MUNICIPIO DE LEBRIJA, SANTANDER
VIA LEBRIJA-BARRANCABERMEJA - COLUVIÓN DE LA LEONA

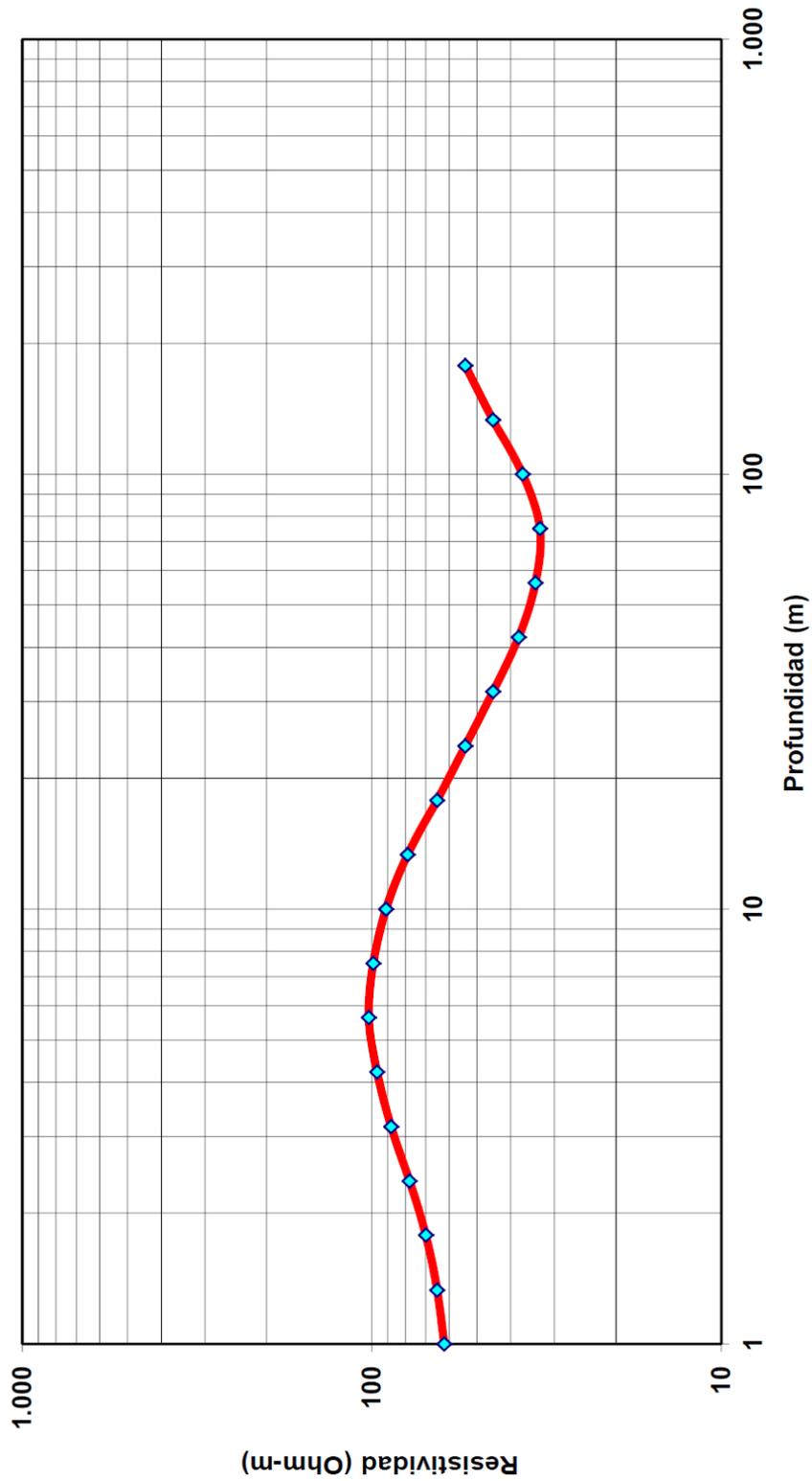


Figura 3. Curva Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2



Fotografía 10. Toma de datos Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2

12.4 Observaciones Sondeo Eléctrico Vertical SEV – 2

La presente sección Geoeléctrica presenta un depósito coluvial de bloques, guijarros de areniscas embebidos en una matriz areno-arcillosa suprayaciendo rocas de edad Cretácica, compuestas por intercalaciones de shales carbonosos, micáceos, lutitas carbonosas con nódulos ferruginosos, limolitas intercaladas con areniscas. También es común la presencia de capas explotables de carbón. Estas rocas cretácicas presentan fracturamiento y meteorización hacia el tope de la columna estratigráfica y se correlacionan con la Formación Umir.

La información de resistividad da la evidencia de posibles niveles con recurso hídrico, para un posible acuífero, ubicados en las unidades Geoeléctricas II, III y IV.

SEV-1

Espesor del Depósito coluvial..... 29.50 metros

SEV-2

Espesor del Depósito coluvial..... 53.70 metros

12.5 PERFIL GEOELECTRICO ESQUEMATICO PARA EL SECTOR INESTABLE DE LA VIA BARRANCABERMEJA, DEPARTAMENTO DE SANTANDER.

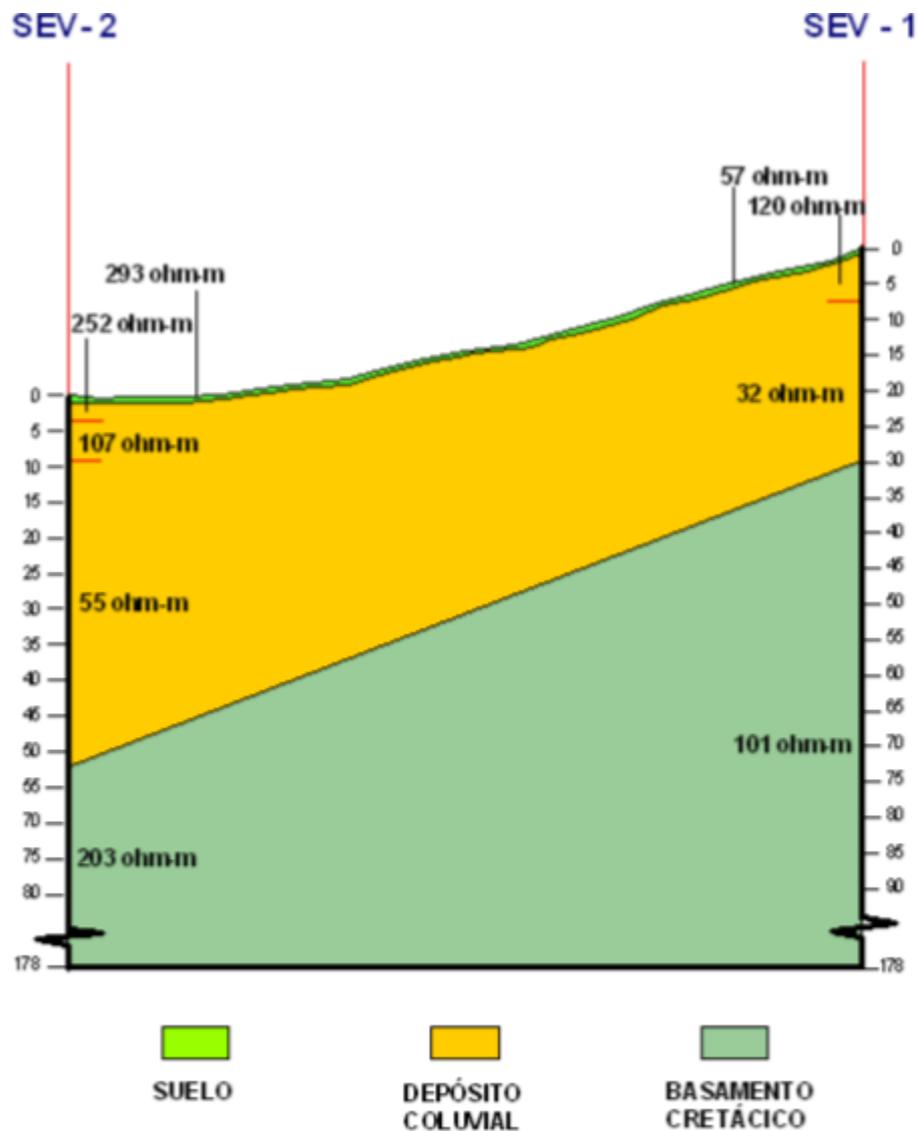


Imagen 7. Perfil Geoelectrico según SEV

12.6 SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV – 3

LOCALIZACIÓN: Vía Barrancabermeja

PROFUNDIDAD DE LA INVESTIGACIÓN: $AB/2 = 177.80$ metros

RUMBO: N 20 W

TERRENO: ligeramente inclinado, suelo húmedo

COORDENADAS: X = 1'281.334, Y = 1'084.468 y Z = 479 msnm

ERROR RELATIVO: 0.0075

Profundidad (m) Desde - Hasta	Unidad Geoeléctrica	Resistividad (Ohm - m)	Correlación Hidrogeológica
0.00 - 0.90	I	402	Suelo areno-arcilloso con presencia de materia orgánica.
0.90 - 2.60	II	265	Depósito coluvial de bloques de areniscas embebidos en una matriz areno-arcillosa.
2.60 - 17.70	III	31	Depósito coluvial de bloques de areniscas embebidos en una matriz areno-arcillosa. Saturado.
17.70 - 66.30	IV	176	Basamento cretácico compuesto por lutitas carbonosas intercaladas con niveles de areniscas. Muy Húmedo. Fm Umir
66.30 - 177.80	V	129	Basamento cretácico compuesto por shale carbonoso y limolitas carbonosas intercaladas con niveles de areniscas. Muy Húmedo. Fm Umir

Tabla 4. Datos Sondeo Eléctrico Vertical SEV-3

12.7 SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV – 4

LOCALIZACIÓN: Vía Barrancabermeja Vereda La Renta

PROFUNDIDAD DE LA INVESTIGACIÓN: AB/2 = 177.80 metros

RUMBO: E - W

TERRENO: ligeramente inclinado, suelo húmedo

COORDENADAS: X = 1'281.589, Y = 1'084.646 y Z =621 msnm

ERROR RELATIVO: 0.0086

Profundidad (m) Desde - Hasta	Unidad Geoeléctrica	Resistividad (Ohm - m)	Correlación Hidrogeológica
0.00 - 0.90	I	802	Suelo areno-arcilloso con presencia de materia orgánica.
0.90 - 3.20	II	543	Depósito coluvial de bloques de areniscas embebidos en una matriz areno-arcillosa.
3.20 - 31.60	III	118	Depósito coluvial de bloques de areniscas embebidos en una matriz areno-arcillosa. Saturado.
31.60 - 141.30	IV	377	Basamento cretácico compuesto por limolitas intercaladas con niveles de areniscas. Húmedo.
141.30 - 177.80	V	326	Basamento cretácico compuesto por shale carbonoso y limolitas carbonosas intercaladas con niveles de areniscas. Húmedo.

Tabla 5. Datos Sondeo Eléctrico Vertical SEV-4

- Los espesores aproximados obtenidos para el Depósito en cada uno de los sitios en donde se ejecutaron cada uno de los Sondeos Eléctricos Verticales, se presentan a continuación:

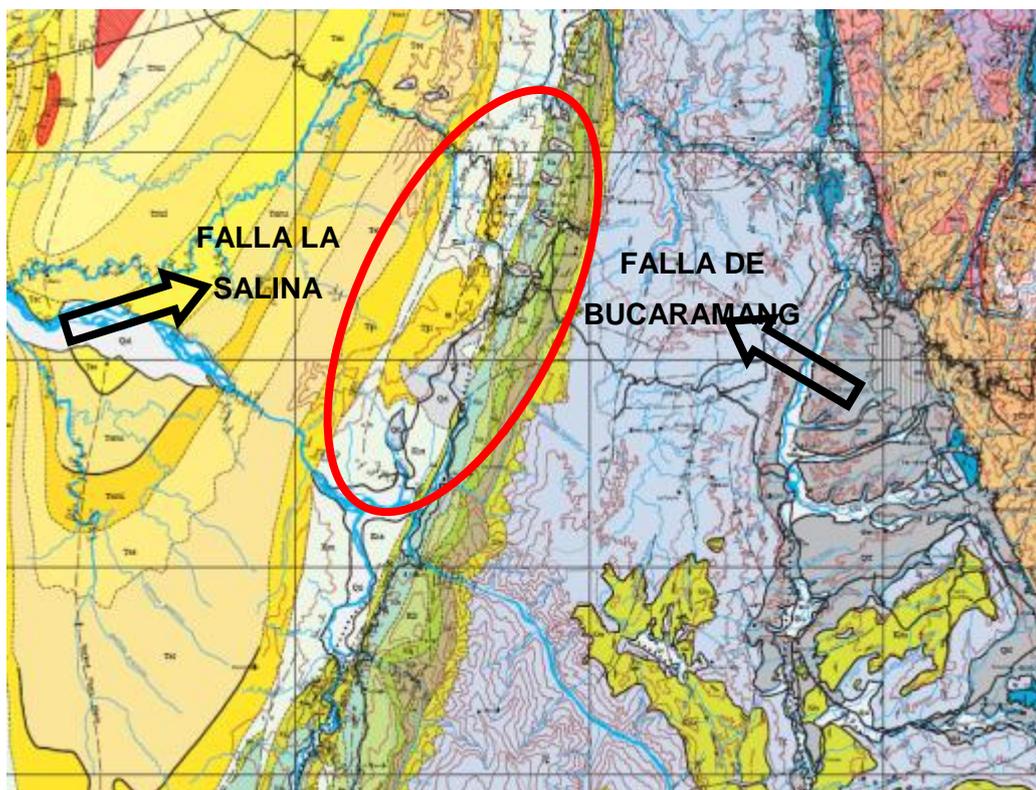
SEV- 3

Espesor del Depósito coluvial..... 17.70 metros

SEV- 4

Espesor del Depósito coluvial..... 31.60 metros

13 FALLAS EN ZONA DE ESTUDIO



13.1 FALLA SALINA

La falla la salina es una falla con rumbo noreste de tipo inverso, con un salto de unos 1200 m, de un ángulo alto y buzamiento hacia el este, que en profundidad se curva hasta colocarse aproximada horizontal. El bloque occidental se encuentra hundido con respecto al oriental que cabalga hacia el oeste, coloca la formación Umir (Ksu) del lado oriental, en contacto con la formación real, más joven situada al oeste. El tazo de la falla delimita el costado occidental del sinclinal de Nuevo Mundo en el sector sur.

Algunos sismos registrados en la Red Sismológica Nacional (RSN) han sido localizados en el área de esta falla. Por lo que se cataloga como una falla activa.

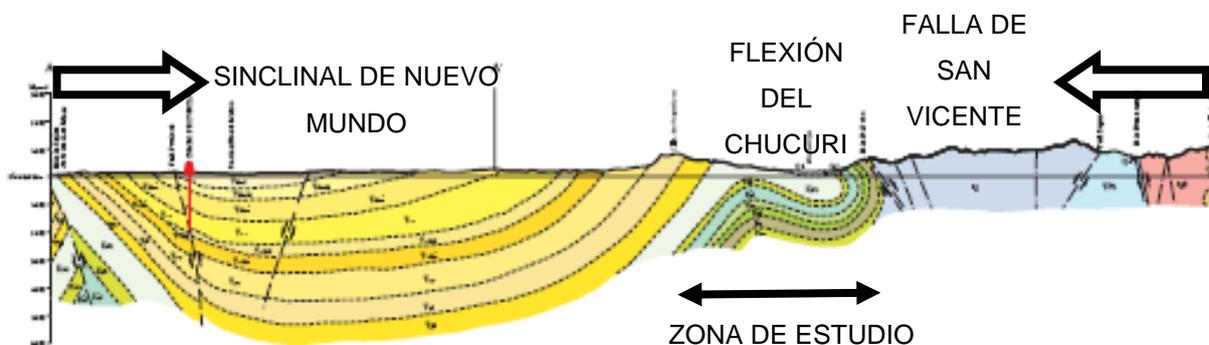
13.2 FALLA DE BUCARAMANGA

El sistema de fallas de Bucaramanga-Santa Marta conforma un “Wrench fault” o limite de placa con dirección N20°W. Atraviesa diagonalmente la Cordillera Oriental a lo largo de unos 600 Km desde la Sierra Nevada de Santa Marta hasta los Llanos Orientales.

Presenta un desplazamiento de rumbo sinistral con componente inversa, relacionada con el levantamiento de la cordillera oriental. La falla en su mayor extensión pone en contacto rocas igneometamórficas Precámbricas (Neis de Bucaramanga) y Paleozoicas, del Macizo de Santander con rocas sedimentarias del Mesozoico-Cenozoico. Se ha calculado un levantamiento del orden de 2000 m del bloque oriental de la falla con respecto al bloque occidental, desplazamientos verticales de más de 20 m en depósitos de flujos de escombros en la zona de Bucaramanga.

Se considera una falla activa con tasa de actividad moderada (0.1–1mm/año) a alta (1–10 mm/ año).

13.3 PERFIL GEOLOGICO GENERAL



La región entre la falla de Bucaramanga y la falla de La Salina fue sometida a esfuerzos de compresión, dando como resultado el sinclinal de Nuevo Mundo, la falla de san Vicente y la flexión del Chucurí.

Los esfuerzos compresivos dieron como resultado la flexión del Chucurí con pliegues sinclinales amplios y anticlinales fallados, como el anticlinal de Rio Sucio y el Sinclinal Los Naranjos.

13.4 FLEXIÓN DEL CHUCURÍ

La flexión de chucuri constituye el rasgo tectónico más importante del área teniendo en cuenta que su origen es estructural limitado por dos zonas de esfuerzos paralelos.

La primera localizada al Este y está representada por la falla de San Vicente, de carácter inverso y una componente de rumbo dextral, definida por el lineamiento de la quebrada Agua Blanca y controlando estructuralmente un tramo del Rio Sogamoso. Presenta una dirección N30°E, su plano de falla buza hacia el este con un ángulo de 60° aproximadamente horizontalizandose en profundidad por un sistema de despegue, debido a la diferencia de competencia litológica entre las unidades afectadas.

La segunda zona de esfuerzos se localiza al Oeste en la Quebrada La Maria, donde se observan algunos rasgos geométricos como valles alineados, una flexión en ángulo recto en el curso del Rio Sogamoso cerca a la desembocadura de la quebrada La Maria y abundante material coluvial en los valles.

Lo anterior permite proponer un lineamiento paralelo a la falla de San Vicente como limite W de la Flexión de chucuri, con características similares de movimiento relativo, a diferencia que el plano de ruptura de bajo ángulo estaría orientado al W que al profundizarse se haría horizontal, con una mecánica de deformación semejante.

14 PROPIEDADES DE LOS COLUVIONES

14.1 LA LEONA

El perfil del talud la leona (Anexos) muestra la topografía del lugar y los estratos de suelos y roca (formación Ksu). El coluvión La Leona varía entre 50 - 30 metros de profundidad, con 50 m al pie del talud hasta 35 m en la cresta del coluvión. Se encontró un estrato de arcillas finas y suaves de 5 metros de espesor en entre el Coluvión y la roca. Las propiedades de los materiales empleados en el estudio son presentados a continuación.

Propiedades de los suelos

Las propiedades del Coluvión La Leona se presentan en las siguientes figuras y tablas:

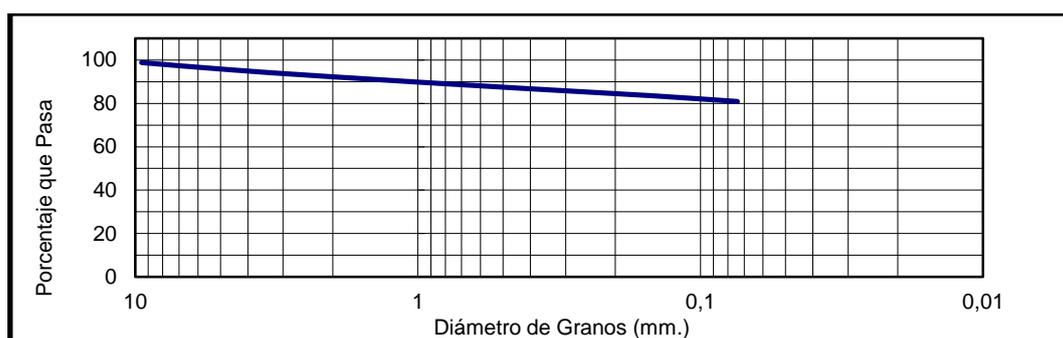


Figura 4. Gradación Coluvión La Leona

El material del coluvión contiene un porcentaje de gravas de 4,38 %, arenas 14,75% y material fino 80,87%. Adicionalmente, se encontró un límite líquido (LL) de 36,46%, Límite Plástico (LP) 22,81% y finalmente un Índice Plástico (IP) de 13,65%. La clasificación del material del coluvión según SUCS es (CL), Arcillas limosas.

Los ensayos de triaxial drenado consolidado en la zona la Leona se obtuvieron en el estudio realizado por Grimme, K.; Montero J. 1968 (Figura 5)

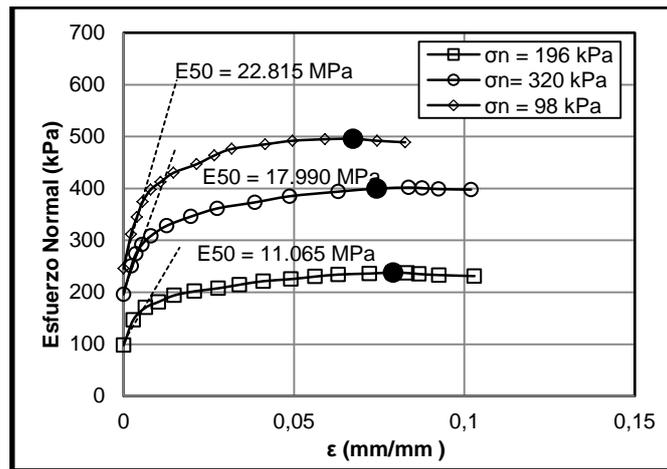


Figura 5. Ensayo Triaxial Drenado Consolidado Coluvión La Leona (Triaxial km 45+942)
Grimme K. y Montero J, 1968

Los parámetros del coluvión obtenidos por ensayos triaxiales son, ángulo interno de fricción, $\phi_{\text{pico}} = 15^\circ$, cohesión, $c = 24,4 \text{ kPa}$ y variación de los Módulos de elasticidad al 50% de la falla $E_{50} = 11.065 - 22.815 \text{ MPa}$ dependiendo de los esfuerzos normales que se encuentra sometida la muestra.

En los ensayos de Corte Directo se adquieren los siguientes resultados, ángulo de fricción, $\phi_{\text{pico}} = 19.1^\circ$ y Cohesión, $c = 20,8 \text{ kPa}$

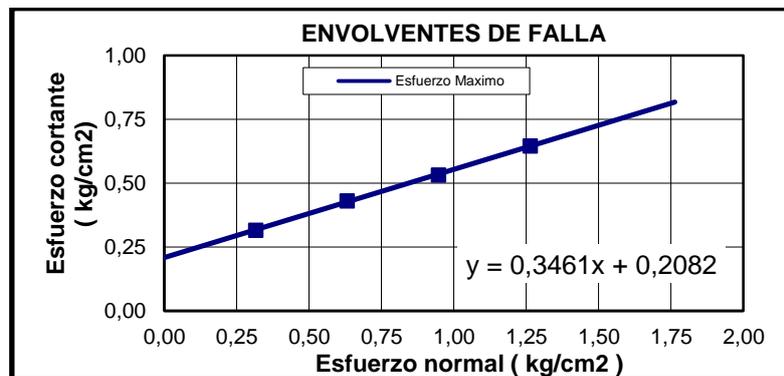


Figura 6. Ensayo de Corte Directo Coluvión La Leona

El ángulo de fricción del Coluvión para el modelo en PLAXIS fue tomado de ensayos triaxiales debido a que este ensayo representa el ángulo interno del suelo. La cohesión obtenida en ensayos triaxiales y de corte directo no varía significativamente, dando como resultado $c = 24,4 \text{ kPa}$ y $c = 20,8 \text{ kPa}$,

respectivamente. Los ángulos obtenidos por ensayos de corte directo son generalmente mayores a los adquiridos a través de ensayos triaxiales.

Las propiedades de la roca del talud se tomaron en cuenta de valores típicos para rocas Lutitas (Luis Gonzales de Vallejo, 2002).

Las propiedades empleadas en el modelo de elementos finitos PLAXIS se encuentran en la siguiente tabla:

	Coluvión	Coluvión Intermedio	Ksu
General properties	Undrained	Undrained	Undrained
γ_{unsat} (kN/m ³)	19	19	23
γ_{sat} (kN/m ³)	21	19,5	25
Permeability			
K_x (m/day)	1,00E-03	1,00E-03	8,64E-05
K_y (m/day)	1,00E-03	1,00E-03	8,64E-05
Strength			
C_{ref} (kN/m ²)	24,42	5,0	3,45E4
ϕ (phi)	15	10	40
Ψ (psi)	0	0	10
Stiffnes			
E_{ref} (kN/m ²)	11065	1500	2,94E7
ν (nu)	0,33	0,35	0,25

Tabla 6. Propiedades de los suelos Coluvión La Leona

14.2 SANTA MARIA

El perfil del talud Santa Mará (**Anexos**) muestra la topografía del lugar y los estratos del coluvión y roca (formación Tpl). Las profundidades del coluvión varían entre 10 y 20 metros. Las propiedades de los materiales empleados en el estudio son presentados a continuación.

Propiedades de los Materiales

Según ensayos triaxiales los resultados de las resistencias pico y residual obtenidos por el método de Mohr Coulomb son ilustradas en la siguiente figura.

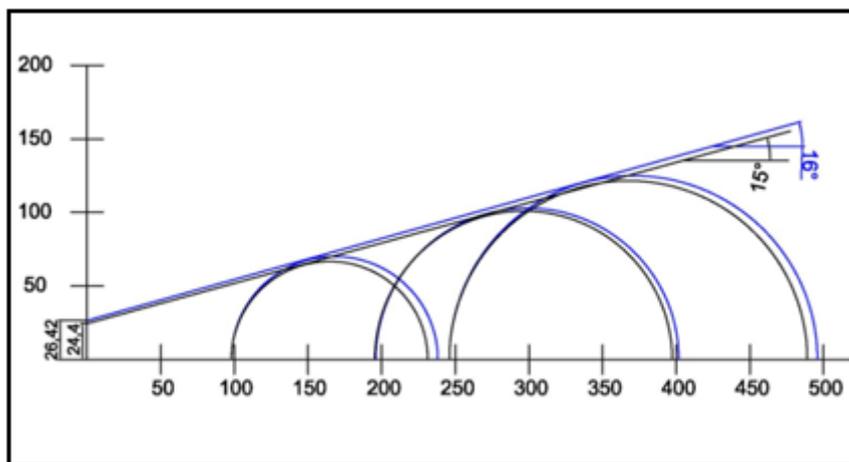


Imagen 8. Ensayo Triaxial

	Coluvión	Tpl
General properties	Undrained	Undrained
γ_{unsat} (kN/m ³)	18	25
γ_{sat} (kN/m ³)	20	25
Permeability		
K_x (m/day)	1,00E-05	8,64E-06
K_y (m/day)	1,00E-05	8,64E-06
Strength		
C_{ref} (kN/m ²)	26,4	3,15E+04
ϕ (phi)	16	30
Ψ (psi)	0	
Stiffnes		
E_{ref} (kN/m ²)	1,16E+04	5,10E+07
ν (nu)	0,35	0,25

Tabla 7. Propiedades de los suelos Coluvión La Santa Maria

15 MODELACIÓN COLUVIÓN LA LEONA POR MEDIO DEL SOFTWARE PLAXIS

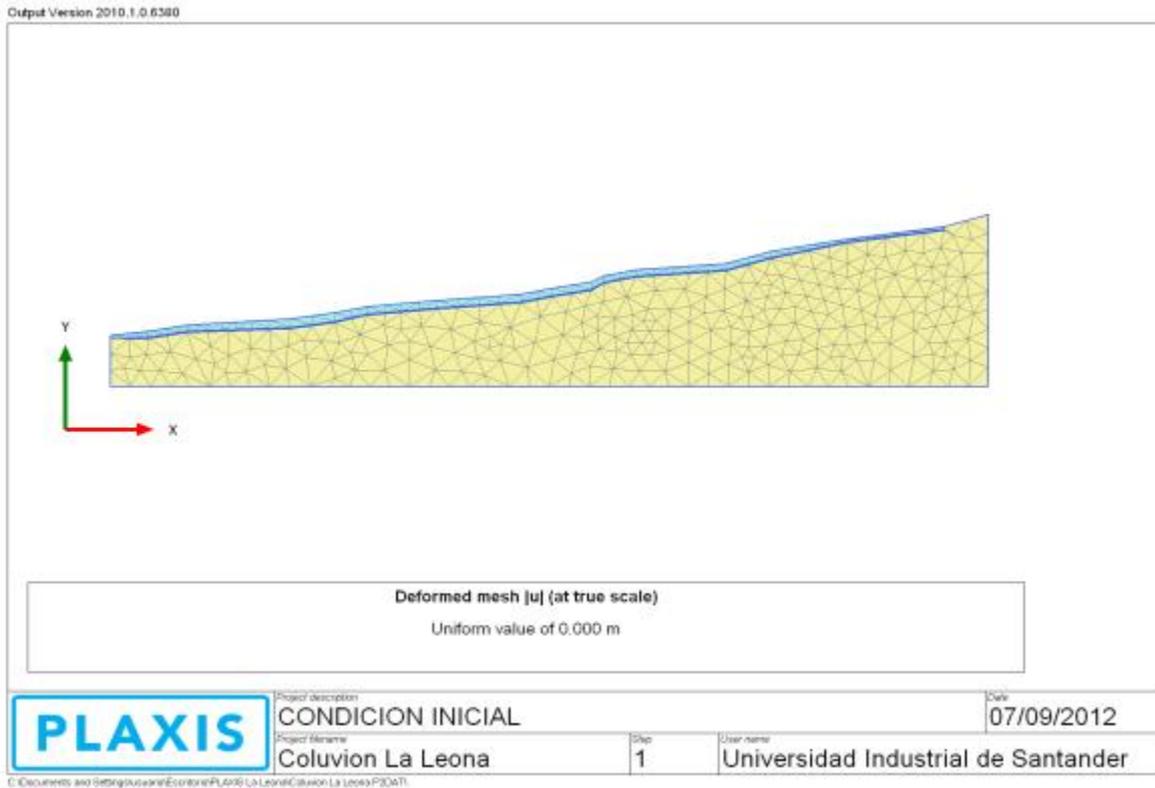


Imagen 9. Condición Inicial Coluvión La Leona

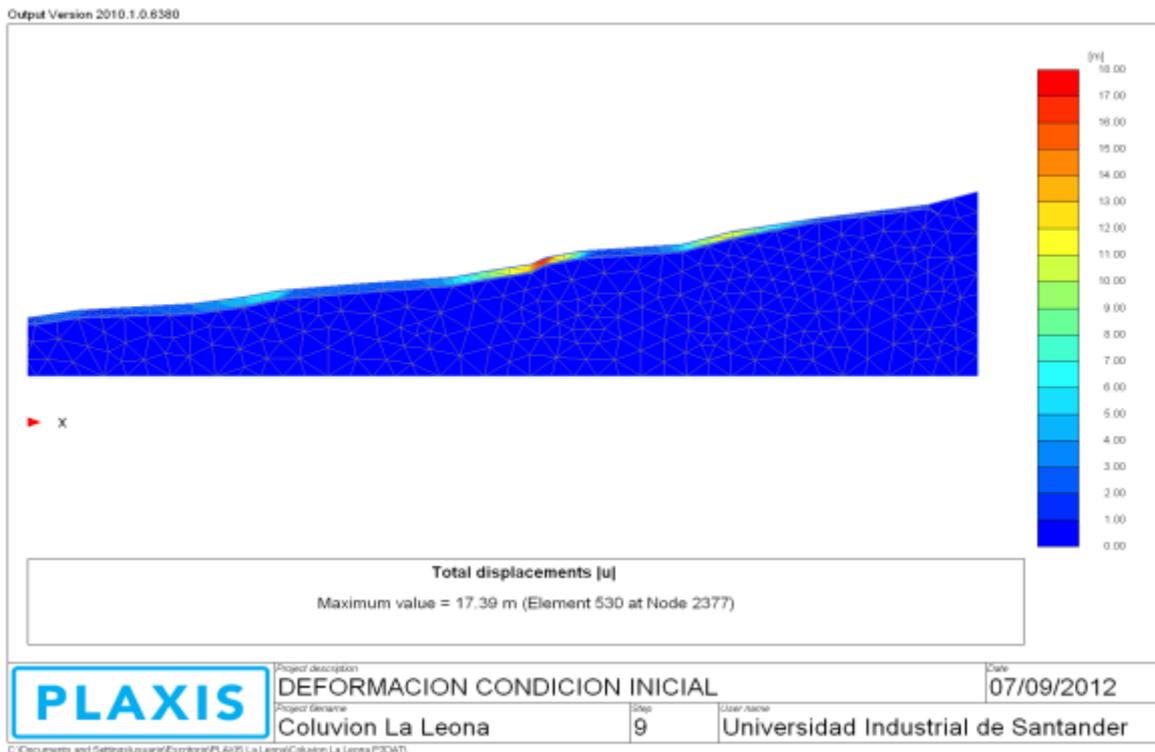


Imagen 10. Deformación Talud Seco Coluvión La Leona

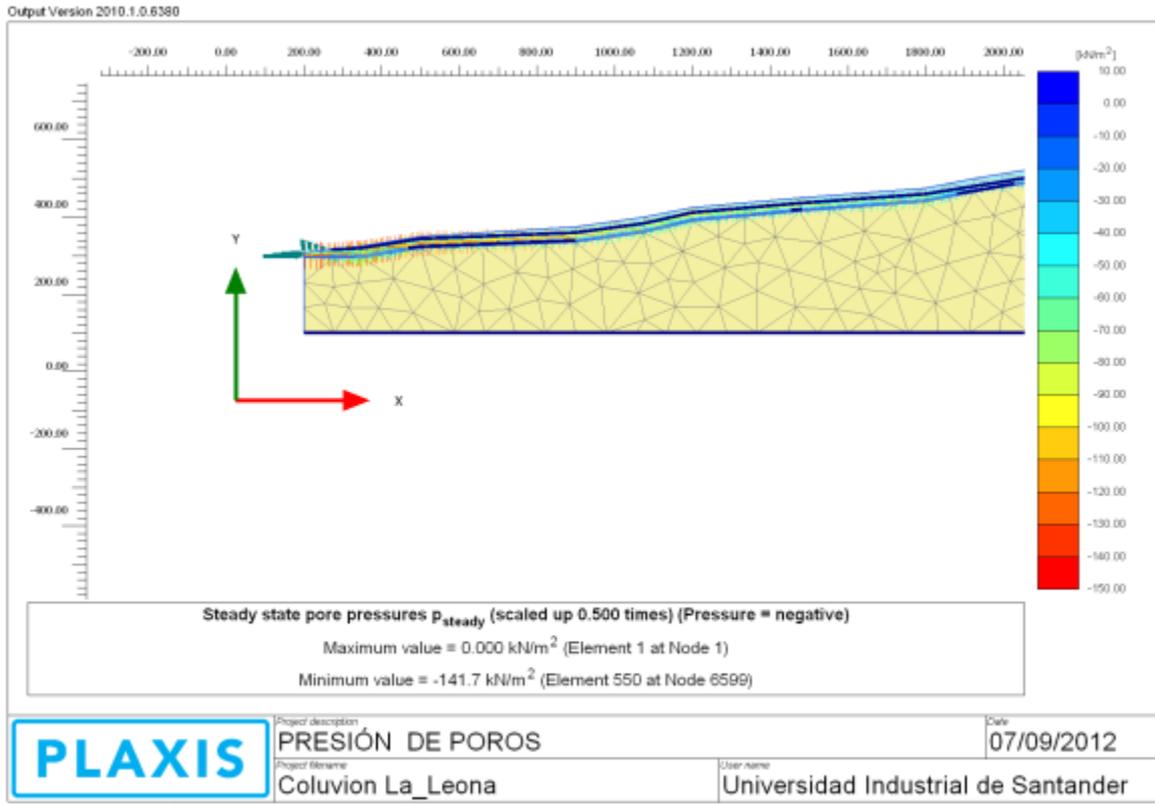


Imagen 11. Presión de Poros Coluvióon La Leona Parcialmente Saturado

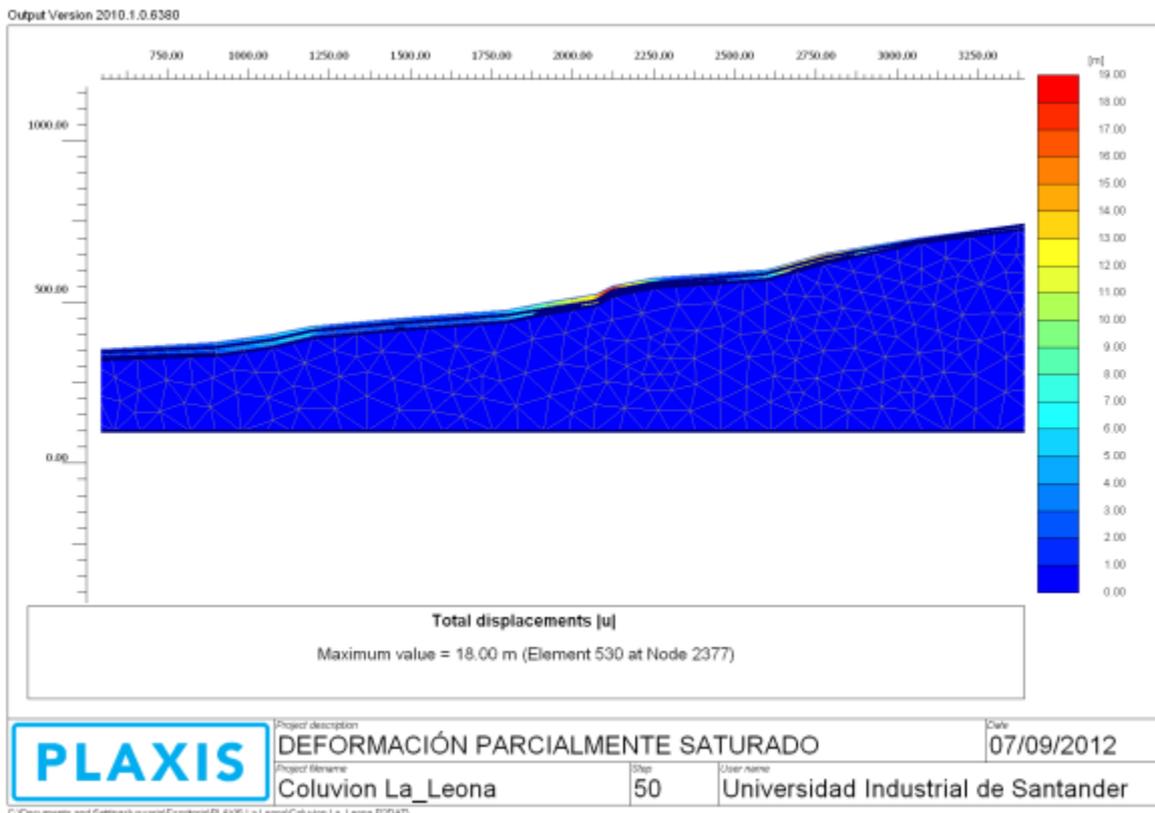


Imagen 12. Deformación Coluvióon La Leona Parcialmente Saturado

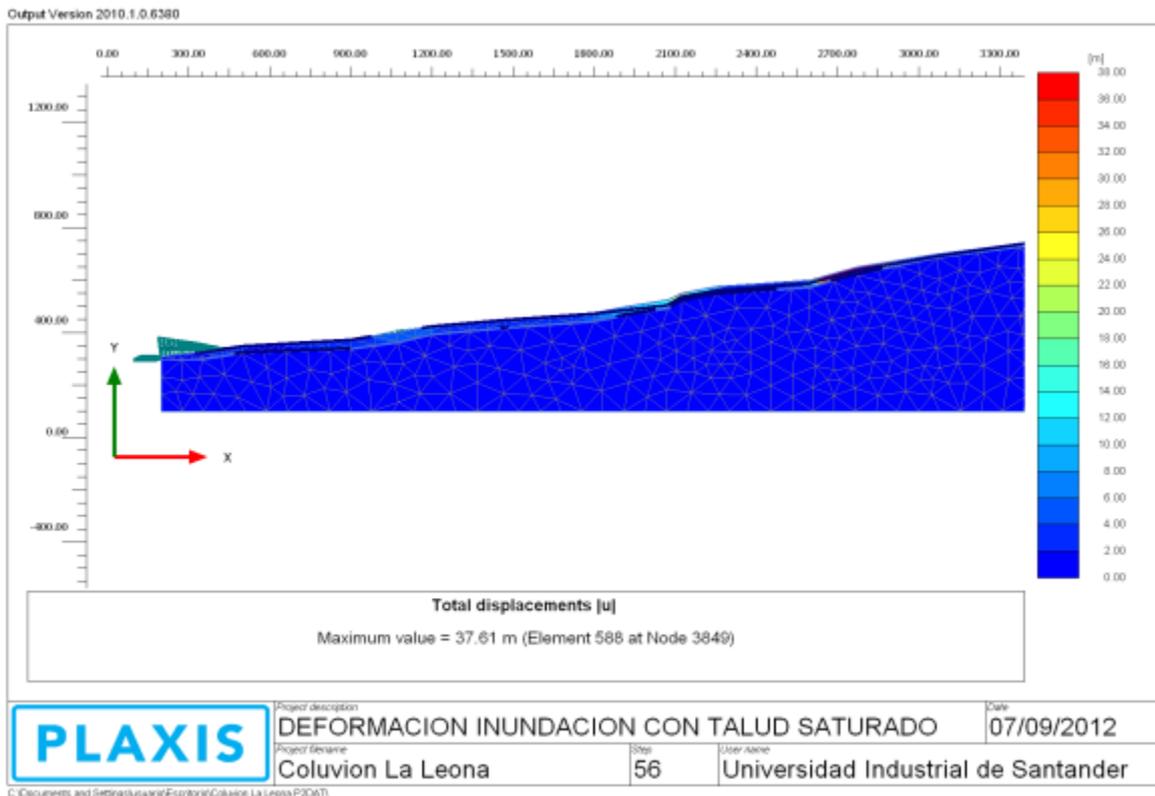


Imagen 13. Deformación Coluvión La Leona Inundado

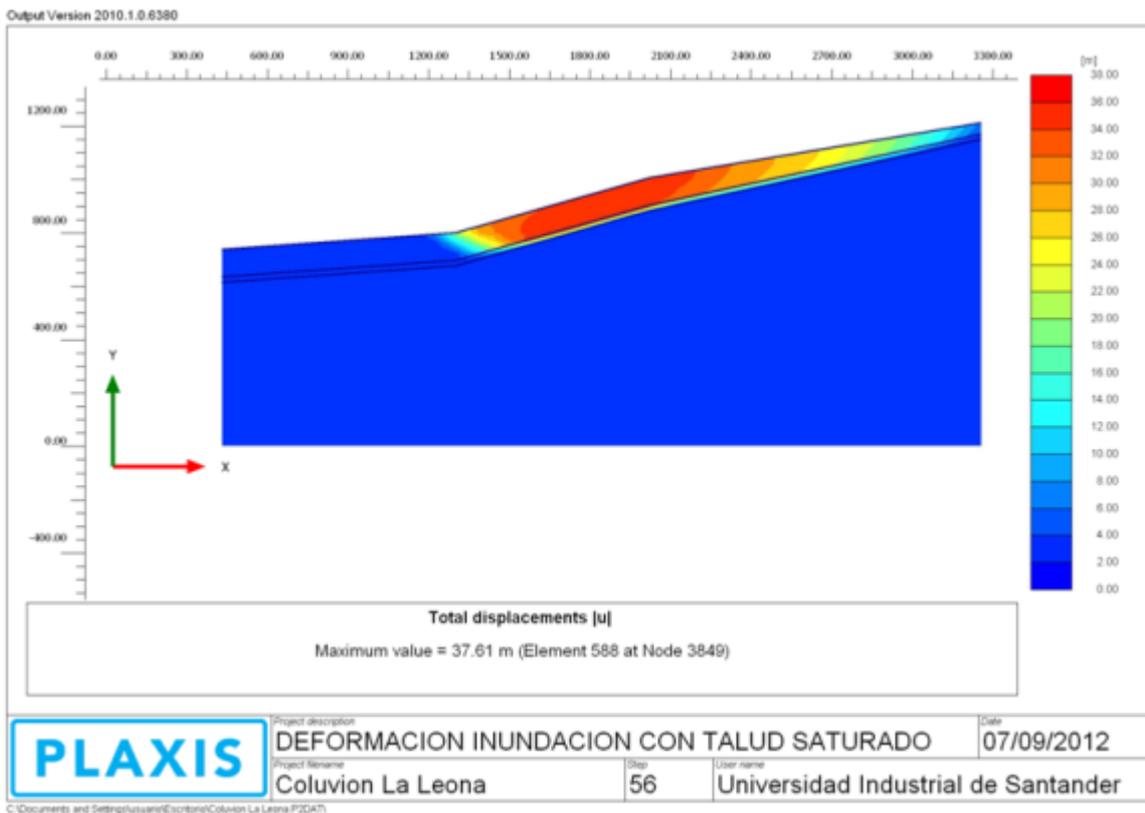
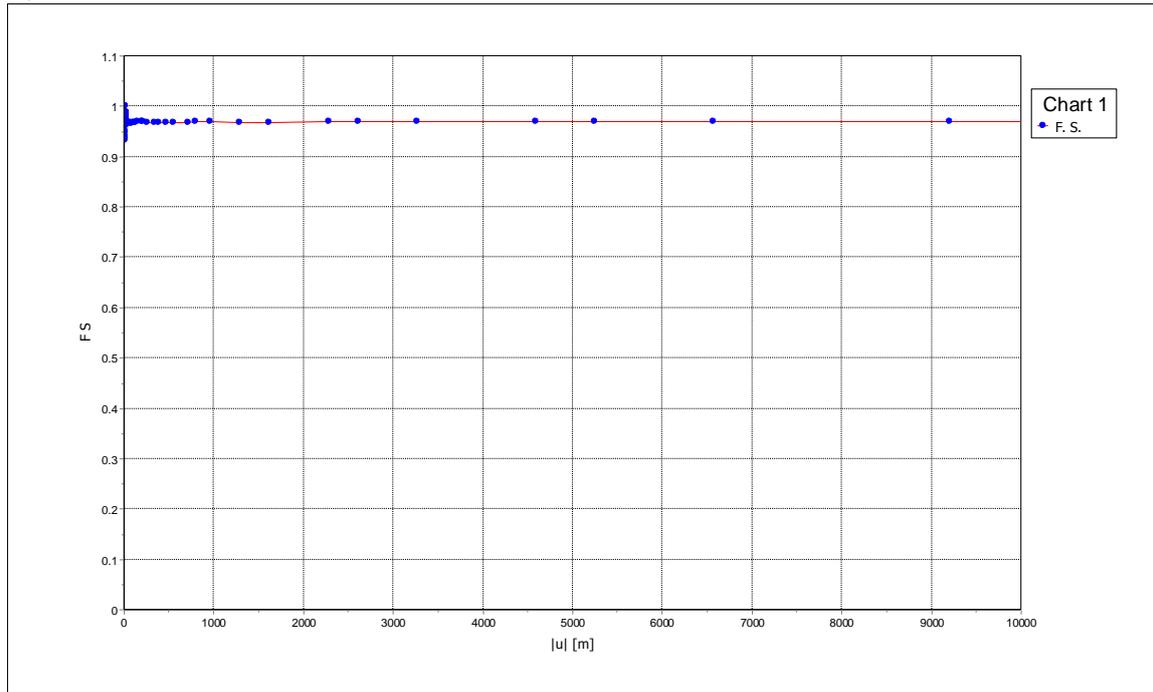


Imagen 14. Desplazamiento Saturado embalse lleno



	<small>Project description</small> FACTOR DE SEGURIDAD_ CONDICIÓN INICIAL	<small>Date</small> 07/09/2012
	<small>Project filename</small> Coluvion La Leona	<small>Step</small> 156

C:\Documents and Settings\usuario\Escritorio\PLAXIS La Leona\Coluvion La Leona.P2DAT1

Imagen 15. Factor de Seguridad Coluvión La Leona

16 MODELACIÓN COLUVIÓN LA SANTA MARIA POR MEDIO DEL SOFTWARE PLAXIS

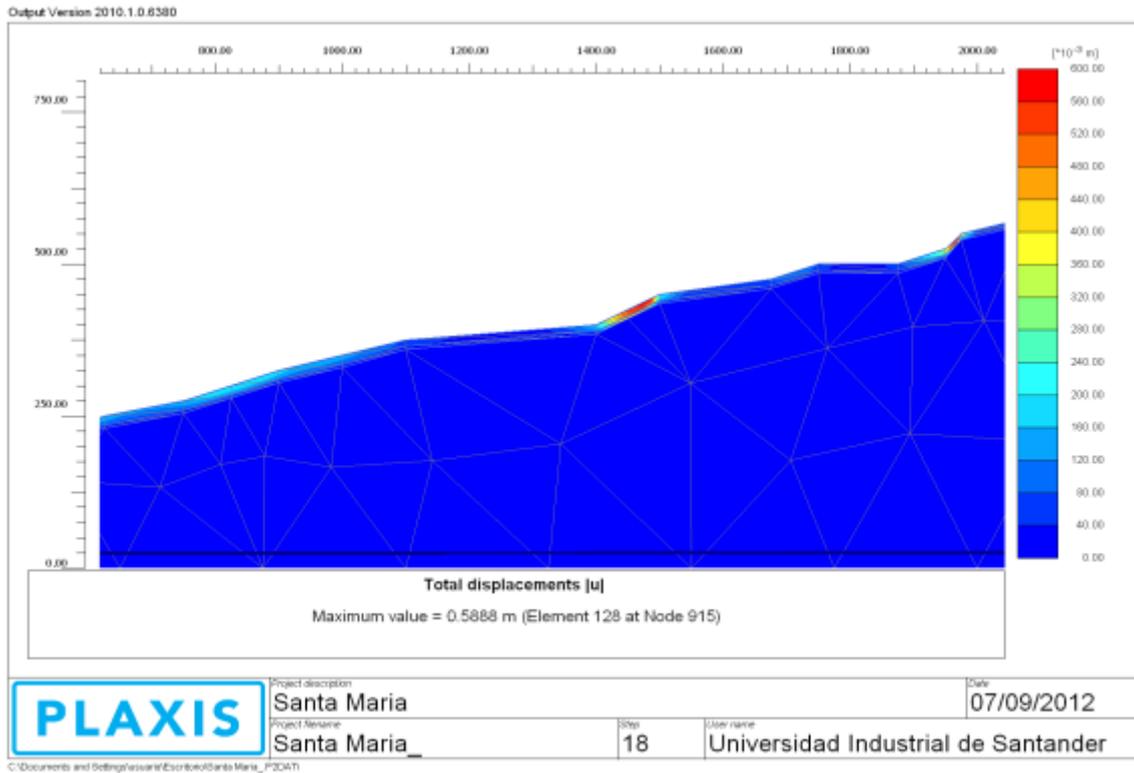


Imagen 16. Deformación Talud Seco Coluvión La Santa Maria

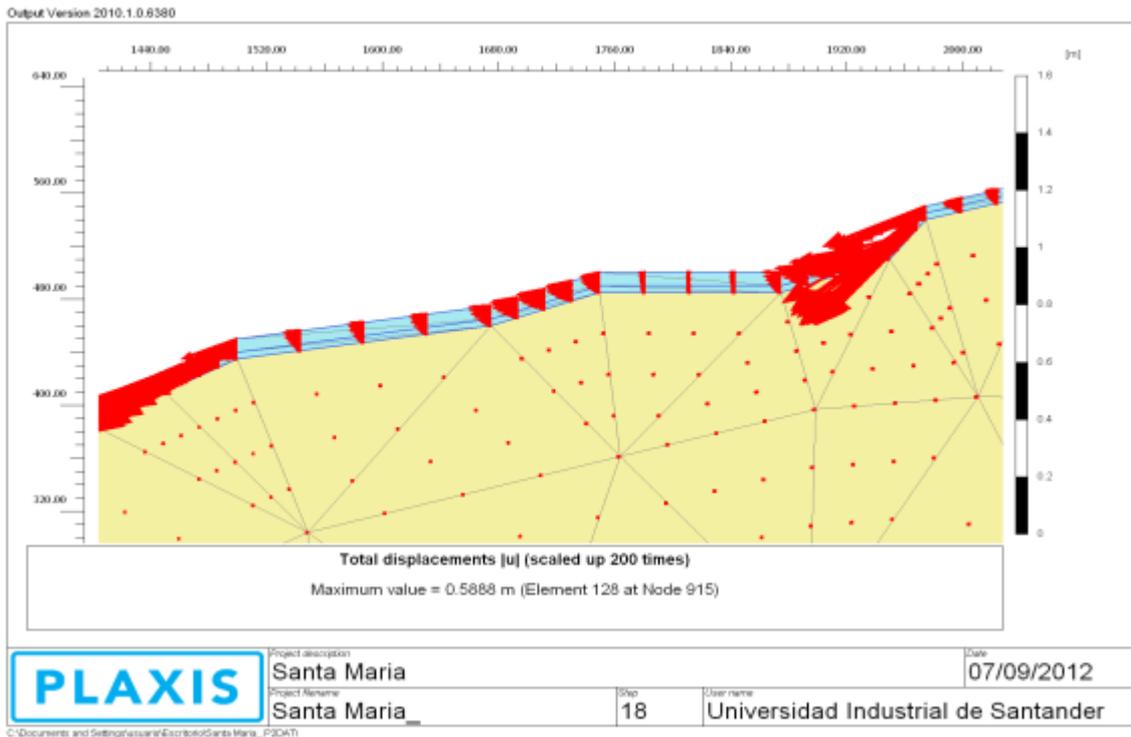


Imagen 17. Dirección Deformación Coluvión La Santa Maria

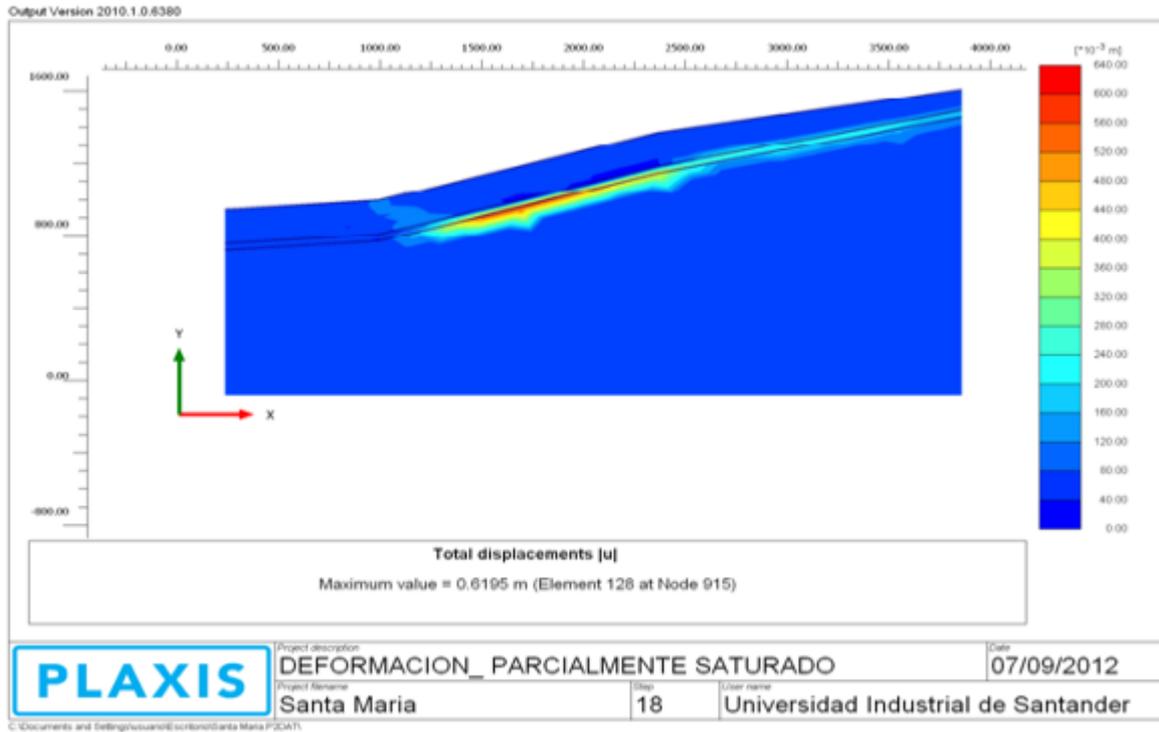


Imagen 18. Deformación parcialmente Saturada

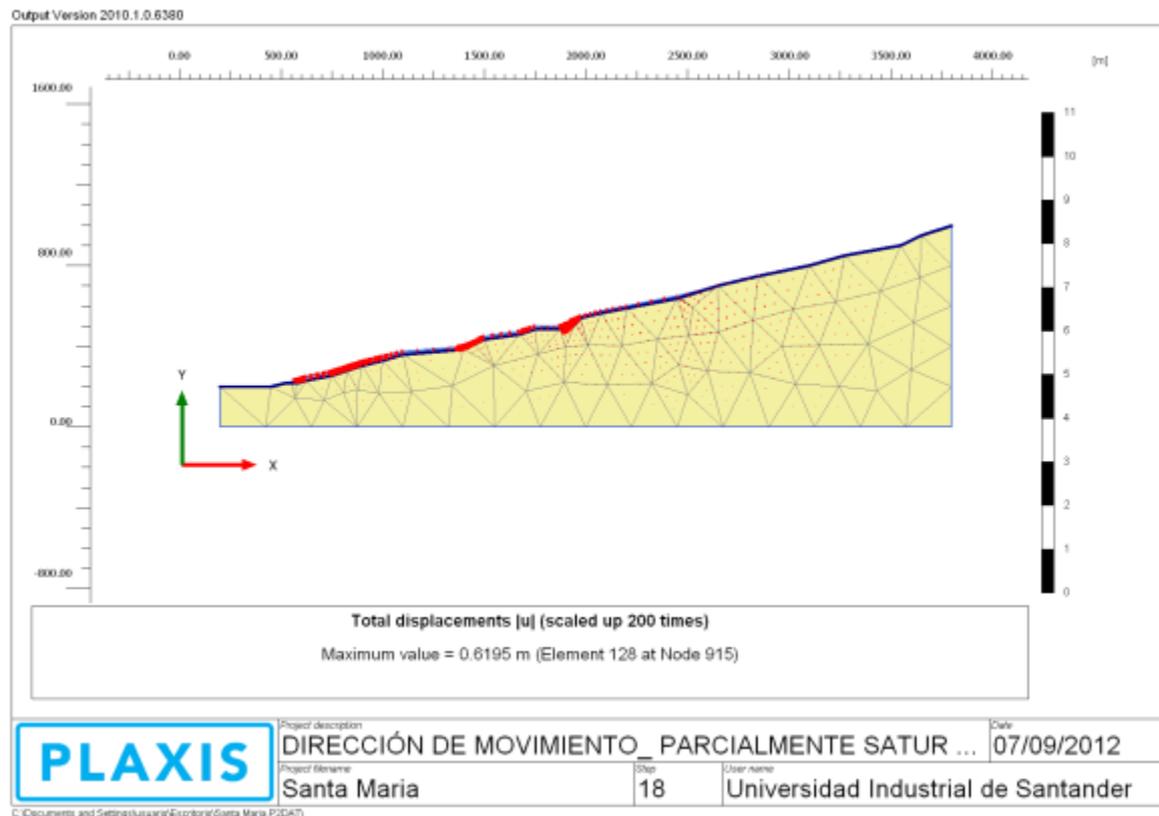


Imagen 19. Dirección Deformación Talud La Santa Maria

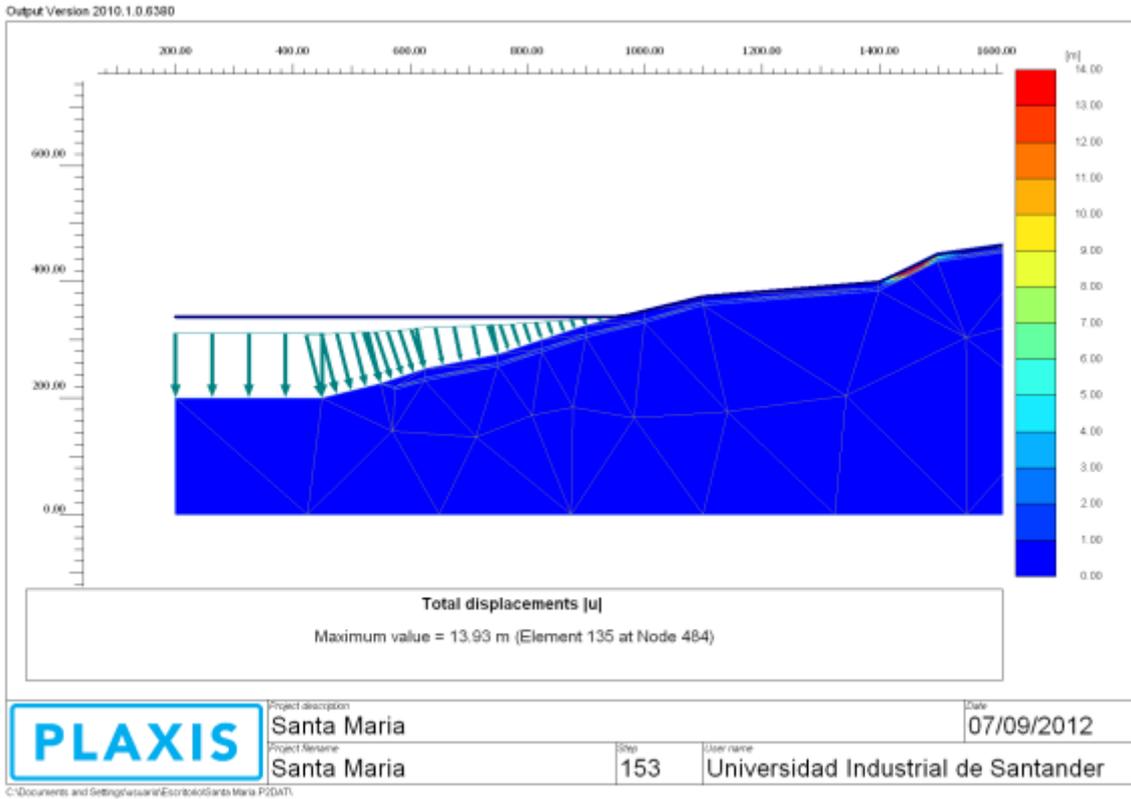


Imagen 20. Desplazamiento Coluvión La Santa Maria Inundado

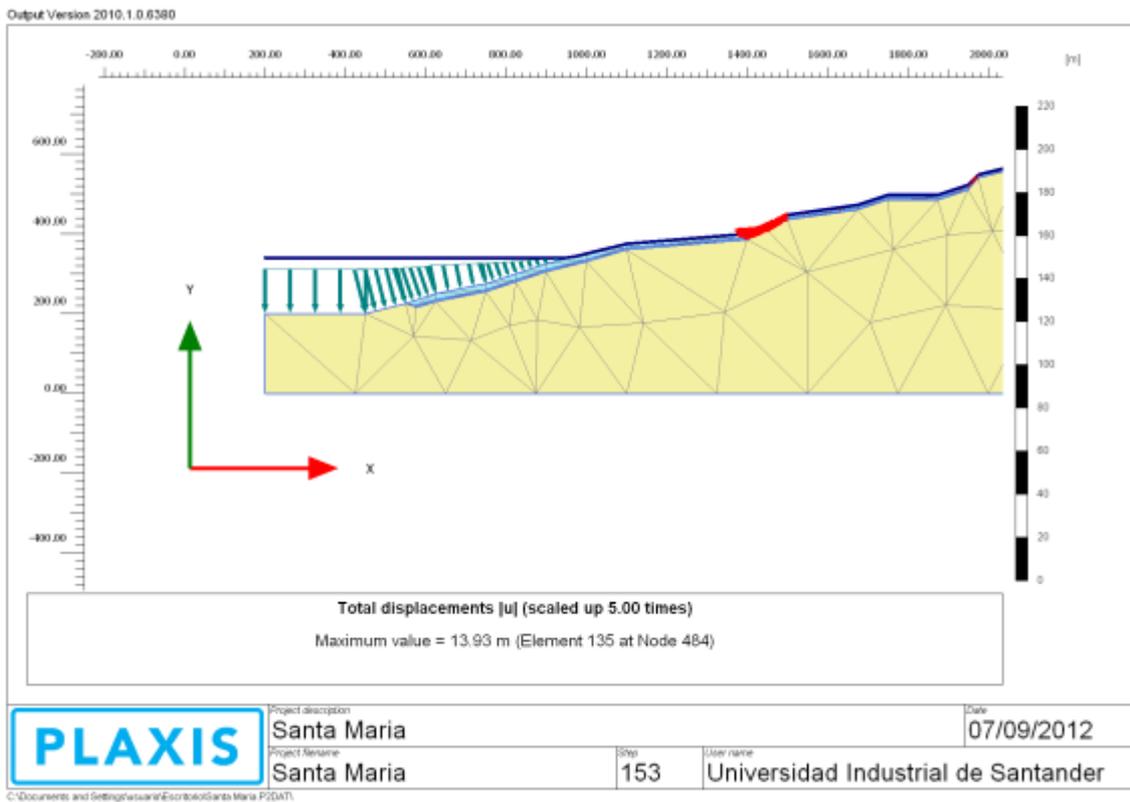
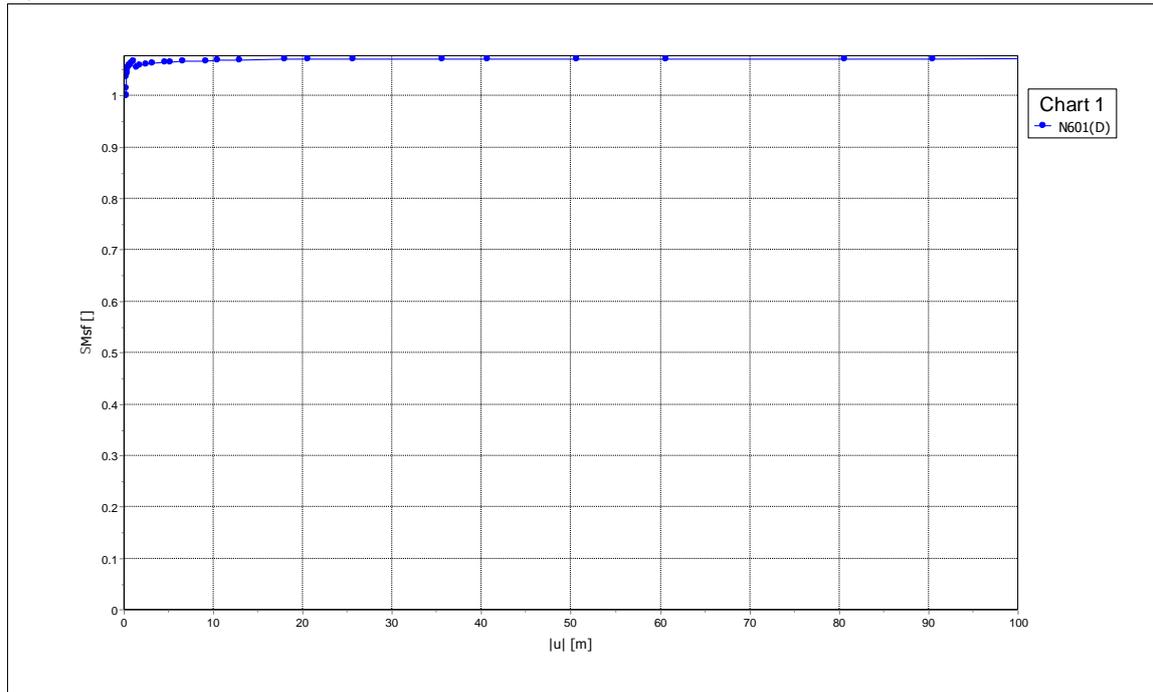


Imagen 21. Dirección desplazamiento Coluvión inundado



	<small>Project description</small> F S. PARCIALMENTE SATURADO_SANTA MARIA	<small>Date</small> 07/09/2012
	<small>Project filename</small> Santa Maria	<small>Step</small> 118

C:\Documents and Settings\usuario\Escritorio\Santa Maria.P2DAT

Imagen 22. Factor de Seguridad Coluvión La Santa Maria

17 ANALISIS MODELOS PLAXIS COLUVIONES LA LEONA Y LA SANTA MARIA

17.1 MODELO PLAXIS COLUVIÓN LA LEONA

En el Coluvion La Leona se analizó el perfil con materiales usando el modelo de Mohr Coulomb en condiciones plásticas. La geometría del perfil modelado, considerando la sección más crítica del talud es ilustrada en la imagen 8.

Las condiciones de frontera han sido aplicadas al modelo teniendo en cuenta que ninguna deformación en la parte baja de la roca se desarrolla. Los parámetros aplicados en el modelo de la roca y el suelo fueron presentados en la Tabla 6, en la sección anterior. Todos los estratos de los suelos son considerados en condiciones no drenadas debido a que es la condición más crítica en la estabilidad del talud. El modelo cuenta con 5885 elementos triangulares de 15 nodos. El perfil del talud tiene una altura total de 480 metros y ángulos de pendientes que varían de 2° hasta 31°.

El modelo fue cargado con carga gravitacional inicialmente y reiniciando cualquier desplazamiento a cero debido a esta carga gravitacional. El talud la leona fue analizado en condiciones secas y se encontró un factor de seguridad de 0,976. En el segundo análisis se incrementa el nivel freático hasta la mitad del coluvión simulando una temporada de fuertes lluvias ocasionando que el nivel freático aumente a la mitad del estrato del material del coluvión.

En el tercer análisis del talud, se simula la condición cuando el embalse se encuentra lleno hasta la cota 340 m e incrementando el nivel freático en el pie del talud.

Según los resultados del modelo, el talud colapsa cuando se incrementa el nivel freático a la mitad del estrato del coluvión, como ocurrió el pasado Diciembre del 2010, debido a las fuertes lluvias en la zona. El suelo falla en algunas zonas (Imagen11), presentando deformaciones permanentes en el estrato más débil y causando algunos deslizamientos en las zonas de pendiente fuerte. Aproximadamente 400 metros del perfil se desliza de forma permanente con desplazamientos diferenciales máximos de 2,75 metros. Al encontrarse parcialmente saturado el perfil se observa un aumento de desplazamientos en el material al aumentar la presión de poros en el coluvión.

Al Incrementar los niveles del embalse en el pie del talud la masa de suelo colapsa debido a que grandes presiones de poros son activadas en el material y la infiltración del agua en el coluvión aumenta los esfuerzos cortantes. Los deslizamientos abarcan aproximadamente 450 metros del perfil con grandes desplazamientos diferenciales máximos de 13,43 metros.

Adicionalmente, se observa un incremento en la presión de poros en el suelo aumentando los desplazamientos en la masa de suelo en las zonas críticas de alta pendiente. La siguiente figura representa la presión de poros con respecto al desplazamiento de las dos condiciones anteriores del modelo.

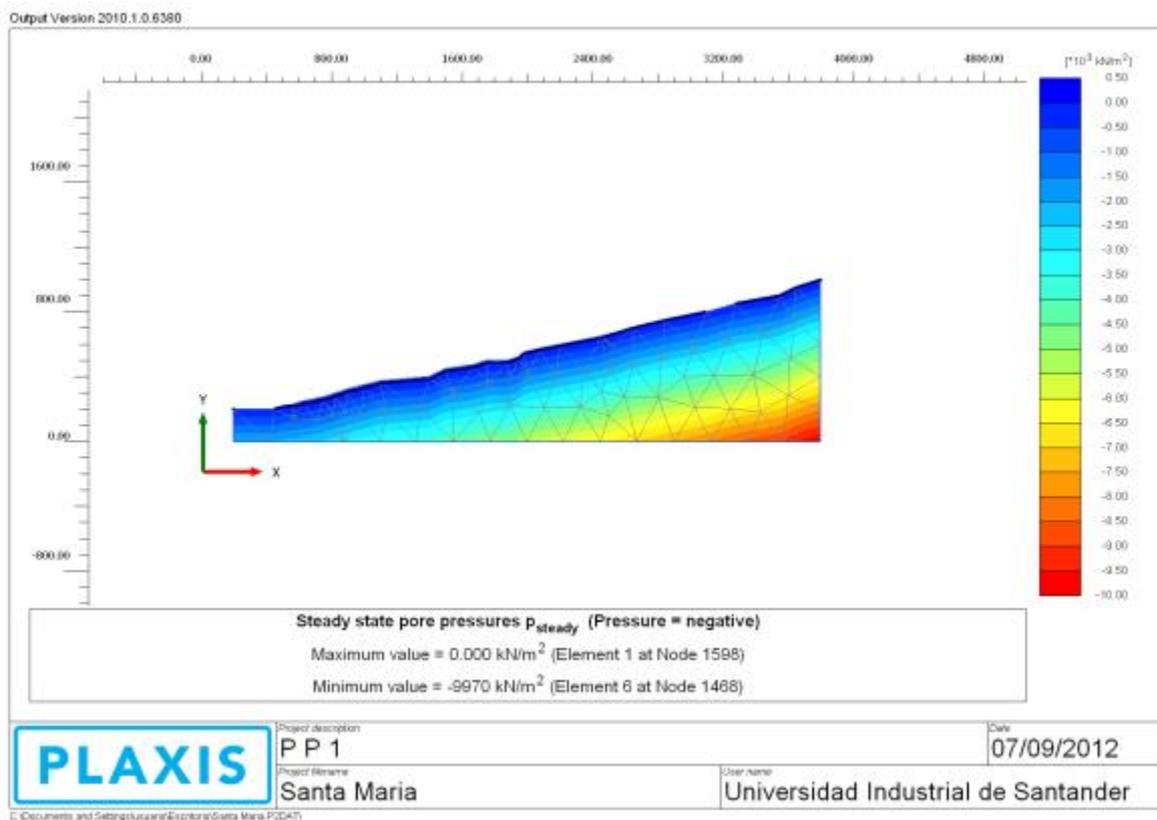


Imagen 23. Presión de Poros Condición Inicial

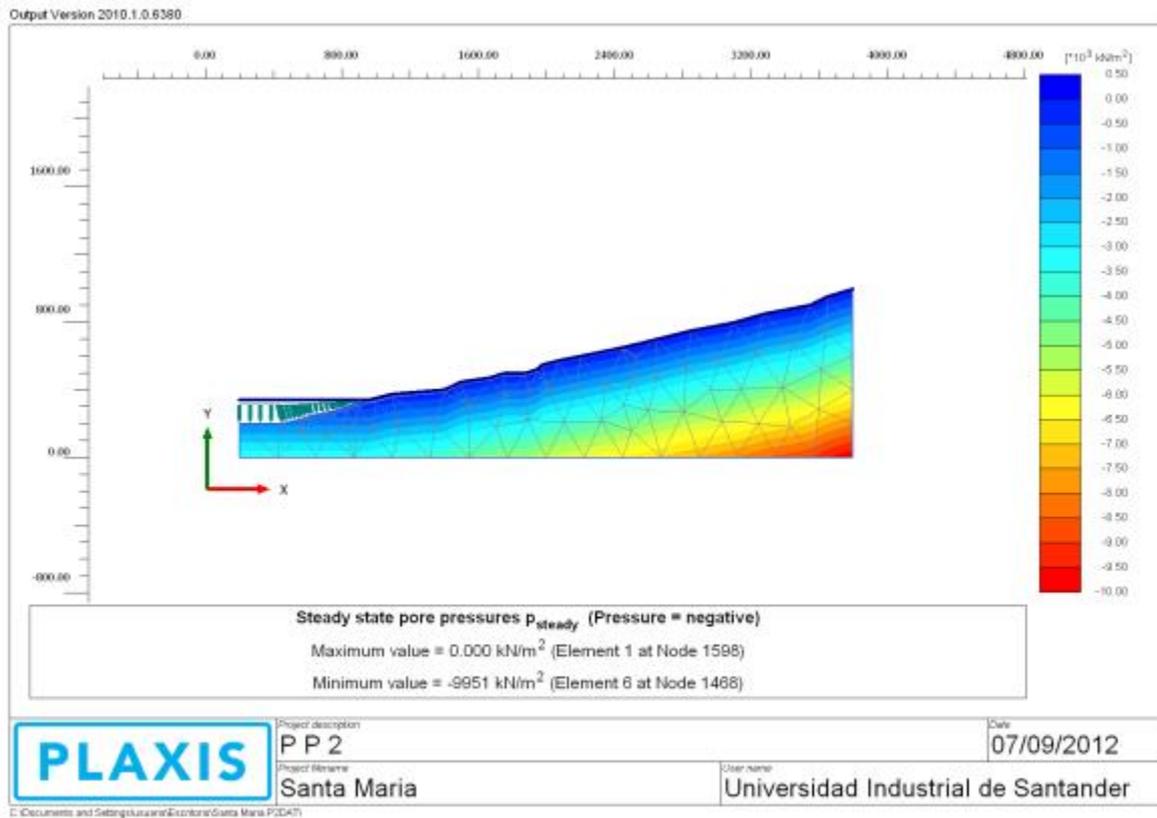


Imagen 24. Presión de poros Inundación

Se observa que la presión de poros en el suelo aumenta en el modelo donde el embalse se encuentra lleno hasta la cota 340 m.

Posteriormente, se analiza el talud en condiciones secas y aumentando los niveles del embalse hasta la cota 340 m, conservando el coluvión La Leona parcialmente estable con desplazamientos menores de 1,02 metros. El suelo colapsa cuando los niveles del embalse disminuyen completamente saturando el pie del talud y ocasionando un incremento de los niveles freáticos en todo el coluvión. El deslizamiento del perfil es de aproximadamente de 750 metros con desplazamientos máximos diferenciales de 4.04 metros.

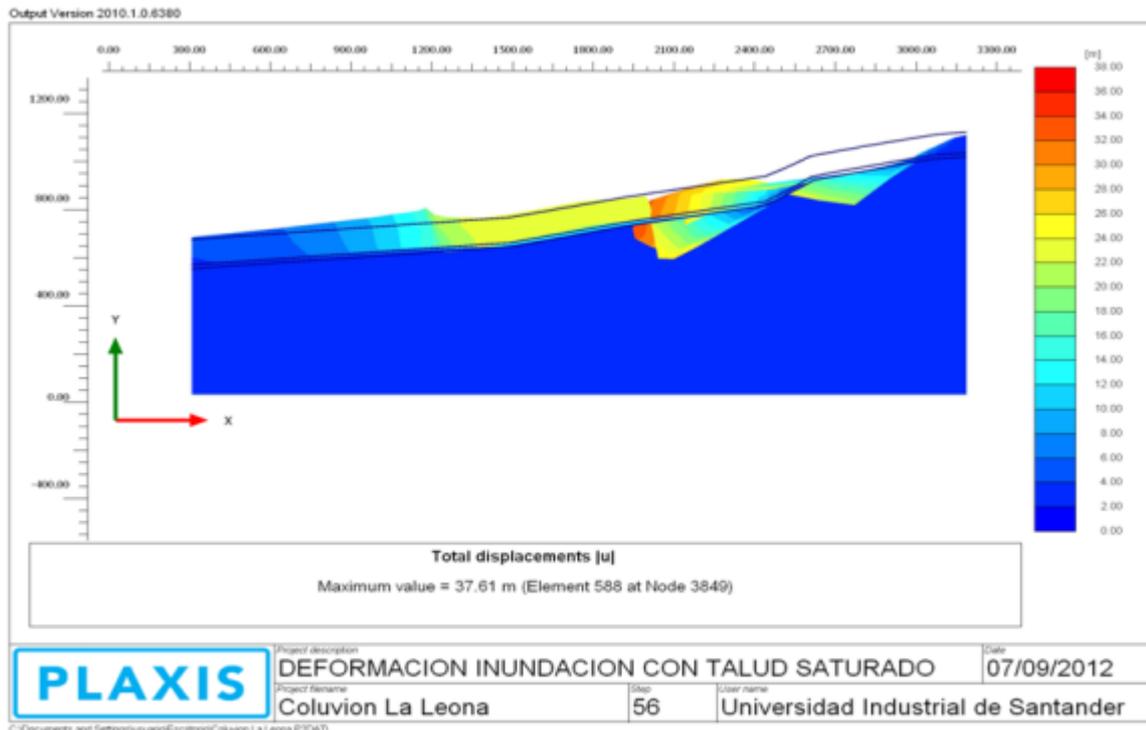


Imagen 25. Disminución del embalse y coluvión parcialmente saturado

17.2 MODELO PLAXIS COLUVIÓN LA SANTA MARIA

En el coluvión Santa Mará se analizó el perfil con materiales usando el modelo de Mohr Coulomb en condiciones plásticas. La geometría del perfil modelado, considerando la sección más crítica del talud es ilustrada en la figura 15.

El modelo del coluvión La Santa María se realizó tomando en cuenta las resistencias pico del material del coluvión para el talud seco, posteriormente se aumentó los niveles freáticos hasta la mitad de la profundidad del coluvión y por último la saturación en el pie del talud como consecuencia del incremento del nivel de agua del embalse. Cuando se realizó el modelo con las resistencias residuales se observó una falla en el talud en condiciones secas. Por lo tanto se asume que el coluvión se encuentra con resistencias picos para los siguientes análisis.

Según los resultados del modelo se observó que el coluvión se encuentra estable en condiciones secas, el suelo colapsa cuando el pie del talud es completamente saturado. Se presentan desplazamientos de 2,02 metros. También se observó que

los movimientos en el pie del talud aumentar al saturar el pie con el embalse (imagen 19).

18 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En conclusión se obtienen una disminución de la estabilidad del talud a medida que se van incrementando los niveles freáticos hasta el punto de falla del coluvión cuando el nivel de agua del embalse alcanza los niveles más altos en la cota 340 m. Al Incrementar los niveles del embalse en el pie del talud la masa de suelo colapsa debido a que grandes presiones de poros son activadas en el material y la infiltración del agua en el coluvión aumenta los esfuerzos cortantes. Conclusión

Adicionalmente, se observa un incremento en la presión de poros en el suelo aumentando los desplazamientos en la masa de suelo en las zonas críticas de alta pendiente.

- Se observa un incremento de zonas plásticas en el perfil a medida que se aplica la carga del embalse lleno. Posteriormente aumentado estas zonas cuando el nivel del embalse desciende y por ultimo cuando se satura parcialmente el coluvión.

De acuerdo con las observaciones de campo efectuadas y la interpretación de los Sondeos Eléctricos Verticales realizados en el sector de interés geotécnico de La Leona y La Santa Maria, es posible obtener las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- La interpretación de los sondeos muestra un equilibrio entre las resistividades verdaderas con el espesor y profundidad de las diferentes unidades geoelectricas definidas en cada solución final.

La presencia de agua subterránea y de escorrentía produce desestabilización en los sedimentos principalmente los de edad cuaternaria, no consolidados, generando cambios casi continuos en la morfología y paisaje del sector.

- Actualmente puede observarse unas Geoformas a manera de terrazas escalonadas interrumpidas lateral y frontalmente por procesos en los que actúa la gravedad, las propiedades físicas de los materiales que los

componen y los agentes que los activan siendo el agua subterránea el principal de ellos; este material coluvial presenta una inclinación hacia el SW.

- Las secciones Geoeléctricas de los Sondeos Eléctricos Verticales presentan una litología correspondiente a un depósito coluvial compuesto por fragmentos principalmente de areniscas y limolitas embebidos en una matriz arcillo-arenosa suprayaciendo a rocas del Cretácico Superior compuestas por shales grises a negros, carbonosos, micáceos, con concreciones ferruginosas; lutitas grises a gris oscuras, carbonosas, con nódulos ferruginosos; intercalaciones de areniscas y limolitas, grises, carbonosas y micáceas; También es común la presencia de capas explotables de carbón, estas rocas son correlacionables con la Formación Umir.
- Esta litología corresponde plenamente con las unidades geoeléctricas identificadas en la interpretación de los correspondientes sondeos geoeléctricos.
- El cuerpo desestabilizado objeto de este estudio lo constituyen materiales, heterogéneos y heterométricos arrastrados y depositados por diferentes medios de transporte, siendo los principales causantes el agua y la gravedad.
- Las unidades geoeléctricas en general se encuentran con bastante humedad en el depósito Coluvial y en menor proporción en el basamento sedimentario cretácico.
- La zona principal de recarga parece ser el resultado de la infiltración directa de las precipitaciones que ocurren en el área y el aporte de las aguas precipitadas en la zona montañosa durante la estación lluviosa y a las aguas de escorrentía presentes en la zona.
- Como principales agentes erosivos se pueden considerar, el agua y los efectos generados por el fracturamiento generado por fallamientos que tienen un tren estructural NE, que han fracturado y desestabilizado las rocas, facilitando el movimiento de reptación.
- Por presentarse superficialmente depósitos de derrubio, no consolidados y arcillosos, cuenta con una alta permeabilidad lo que permite el paso de agua subterránea hasta la interface con el basamento o plano de falla y fluir a través de él.

- La zona presenta un grado de meteorización medio a alto, lo cual conjuntamente con la componente tectónica tiende a incrementar la porosidad secundaria, facilitando la acumulación y movimiento del agua subterránea.
- Los espesores aproximados obtenidos para el depósito coluvial en cada uno de los sitios en donde se ejecutaron cada uno de los Sondeos Eléctricos Verticales (ver perfil geoelectrico en el Anexo 3), son los siguientes:

SEV-1

Espesor del Depósito coluvial..... 29.50 metros

SEV-2

Espesor del Depósito coluvial..... 53.70 metros

SEV- 3

Espesor del Depósito coluvial..... 17.70 metros

SEV- 4

Espesor del Depósito coluvial..... 31.60 metros

- La profundidad del Nivel Freático (NF) para el día de la toma de datos de campo se encontraba aproximadamente a 2,70 m y de 7,00 m para los sitio de ejecución de SEV.

19 BIBLIOGRAFÍA

FIGUEROA CANTOS. Tratado de Geofísica Aplicada, 1979.

APARICIO, F.J. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Editorial Limusa. 1989.

BEAR, JACOB. Hydraulics of Groundwater. Mc Graw Hill, New York. 1979.

CUSTODIO, E., Y LLAMAS, M. Hidrología Subterránea. Editorial Omega S. A. Barcelona. Tomo I y II. 1978.

DE WIEST, R. Geohidrology. Editorial Willey, New York. 1965.

INGEOMINAS. Boletín Geológico, volumen V, Número 3. 1957.

INGEOMINAS. Boletín y Mapa Geológico de los Cuadrángulos H-12 y H-13 Bucaramanga y Pamplona, departamentos de Santander y Norte de Santander. 1973.

INGEOMINAS. Mapa Geológico de Colombia, 1 plano. 1976.

INGEOMINAS. Mapa Geológico Generalizado de Santander y sus memorias explicativas. 1998.

KOEFOD, OTTO. Geosounding Principles, 1 Resistivity Sounding Measurements. Elsevier Scientific Publishing, Amsterdam. 1979.

NTC 4490. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas.

NTC 5613. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura.

PLAXIS V8 2D. Tutorial Manual, R.B.J. Brinkgreve, Delft University of Technology & PLAXIS b.v., The Netherlands.

GRIMME K. y MONTERO J. Carretera en Construcción Bucaramanga-Barrancabermeja, Recomendaciones Finales Sobre la Estabilización, Sector: Bucaramanga-Quebrada "La Leona"; Republica de Colombia Ministerio de Obras Públicas, 1968.

ZAMORA, Juan de Dios. Los problemas geotécnicos de la vía Bucaramanga Barrancabermeja, Tesis de grado UIS, 1980.

BUDESSANSTALT FUER BODENFORSHUNG-MOP. “Recomendaciones finales sobre estabilización”. Carretera Bucaramanga – Barrancabermeja, Sector Bucaramanga – Río Sogamoso, República Federal de Alemania y Ministerio de Obras Públicas, Bogotá. (1968-1969).

MONTERO, J. Y GRIMME, K. “Consideraciones generales sobre la estabilidad en relación con la carretera en construcción Bucaramanga–Barrancabermeja”. Informe especial del Ministerio de Obras Públicas, Colombia, 1968.

ALFARO CASTILLO, Andres José, Introducción a La Ingeniería Sismológica, Universidad de la Salle.

RAMÍREZ, Jesus Emilio, Historia de Los Terremotos en Colombia, Segunda Edición.

SUAREZ DIAZ, Jaime, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales.

SUAREZ DIAZ, Jaime, Deslizamientos Tomo I Análisis Geotécnico.

20 ANEXOS

ANEXO A

ANEXO A. RESUMEN TABULADO DE RESITIVIDADES Y RESISTENCIAS PARA CADA PUNTO DEL ESTUDIO GEOELECTRICO

**Resistividades Aparentes y Resistencias del Sitio de Ejecución del Sondeo
Eléctrico Vertical SEV**

AB/2 (m)	K (m)	Resistencia (Ohm)	Resistividad (Ohm – m)
1,33	5,62	48,04270463	270,00
1,78	10,62	24,48210923	260,00
2,37	19,36	12,75826446	247,00
3,16	34,95	6,552217454	229,00
4,22	62,88	3,276081425	206,00
5,63	112,06	1,606282349	180,00
7,50	200,12	0,759544273	152,00
10,00	356,30	0,34802133	124,00
13,34	634,60	0,157579578	100,00
17,78	1127,88	0,073589389	83,00
23,71	2006,23	0,03738355	75,00
31,62	255,52	0,293519098	75,00
42,17	461,74	0,175423398	81,00
56,23	828,21	0,111082938	92,00
74,99	1480,29	0,070932047	105,00
100,00	2637,50	0,04549763	120,00
133,33	4699,60	0,028938633	136,00
177,8	8364,60	0,018171819	152,00

Anexo A. Tabulación de resistividades y resistencia SEV

ANEXO B

ANEXO B. RESUMEN TABULADO DE RESITIVIDADES Y RESISTENCIAS PARA CADA PUNTO DEL ESTUDIO GEOELECTRICO

**Resistividades Aparentes y Resistencias del Sitio de Ejecución del Sondeo
Eléctrico Vertical SEV**

AB/2 (m)	K (m)	Resistencia (Ohm)	Resistividad (Ohm – m)
1,33	5,62	11,5658363	65,00
1,78	10,62	6,5913371	70,00
2,37	19,36	4,02892562	78,00
3,16	34,95	2,51788269	88,00
4,22	62,88	1,534669211	96,50
5,63	112,06	0,910226664	102,00
7,50	200,12	0,494703178	99,00
10,00	356,30	0,25540275	91,00
13,34	634,60	0,124487866	79,00
17,78	1127,88	0,057630244	65,00
23,71	2006,23	0,026916156	54,00
31,62	255,52	0,176111459	45,00
42,17	461,74	0,082297397	38,00
56,23	828,21	0,04105239	34,00
74,99	1480,29	0,022292929	33,00
100,00	2637,50	0,014028436	37,00
133,33	4699,60	0,009575283	45,00
177,8	8364,60	0,006455778	54,00

Anexo B. Tabulación de resistividades y resistencia SEV

ANEXO C

ANEXO C. RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO GEOELECTRICO

SONDEO ELECTRICO VERTICAL SEV

```

MODEL DATA LAYER 1
.39 TO .92 .52 293.00 251.96
CONTINUE(1), CHOOSE DEPTH(2), CHOOSE NEXT RESISTIVITY
(3), OR CHOOSE DEPTH AND NEXT RESISTIVITY (4)
1
MODEL DATA LAYER 2
1.23 TO 3.89 2.19 251.96 107.12
CONTINUE(1), CHOOSE DEPTH(2), CHOOSE NEXT RESISTIVITY
(3), OR CHOOSE DEPTH AND NEXT RESISTIVITY (4)
1
MODEL DATA LAYER 3
5.18 TO 12.29 5.77 107.12 55.37
CONTINUE(1), CHOOSE DEPTH(2), CHOOSE NEXT RESISTIVITY
(3), OR CHOOSE DEPTH AND NEXT RESISTIVITY (4)
1
MODEL DATA LAYER 4
16.40 TO 291.56 21.07 55.37 202.96
CONTINUE(1), CHOOSE DEPTH(2), CHOOSE NEXT RESISTIVITY
(3), OR CHOOSE DEPTH AND NEXT RESISTIVITY (4)
1
FINAL SOLUTION
LAYER RESISTIVITY THICKNESS DEPTH
1 293.0 .5 .0
2 252.0 2.2 .5
3 107.1 5.8 2.7
4 55.4 21.1 8.5
5 203.0 .0 29.5
R.M.S. RELATIVE ERROR IS .0025
MAXIMUM REL. ERROR IS -.0058 AT SAMPLE POINT 9
ABSCISSA TRANSFORM REL. ERROR
.39 289.76 .0009
.52 287.21 -.0001
.69 283.80 -.0016
.92 278.98 -.0016
1.23 271.99 .0003
1.64 262.28 .0017
2.19 249.49 -.0002
2.92 233.16 -.0036
3.89 213.67 -.0058
5.18 191.93 -.0043
6.91 169.63 .0003
9.22 148.87 .0040
12.29 131.01 .0058
16.40 117.42 .0031
21.86 108.48 -.0014
29.16 103.84 -.0020
38.88 103.66 -.0020
51.85 107.04 .0010
69.14 113.74 .0014
92.20 122.56 .0018
122.95 132.94 -.0007
163.96 143.16 .0005
218.64 153.50 -.0017
291.56 162.35 .0003

```

Anexo C. Resultados del procesamiento Geoelectrico

ANEXO D

ANEXO D. RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO GEOELECTRICO

SONDEO ELECTRICO VERTICAL SEV

```

MODEL DATA LAYER  1
.52 TO  3.89      .94      57.00      120.37
CONTINUE(1), CHOOSE DEPTH(2), CHOOSE NEXT RESISTIVITY
(3), OR CHOOSE DEPTH AND NEXT RESISTIVITY (4)
1
MODEL DATA LAYER  2
5.18 TO  51.85      6.13      120.37      32.12
CONTINUE(1), CHOOSE DEPTH(2), CHOOSE NEXT RESISTIVITY
(3), OR CHOOSE DEPTH AND NEXT RESISTIVITY (4)
1
MODEL DATA LAYER  3
69.14 TO 291.56      46.63      32.12      100.46
CONTINUE(1), CHOOSE DEPTH(2), CHOOSE NEXT RESISTIVITY
(3), OR CHOOSE DEPTH AND NEXT RESISTIVITY (4)
1
FINAL SOLUTION
LAYER  RESISTIVITY  THICKNESS  DEPTH
1      57.0         .9         .0
2      120.4        6.1        .9
3      32.1         46.6       7.1
4      100.5        .0         53.7
R.M.S. RELATIVE ERROR IS      .0147
MAXIMUM REL. ERROR IS      .0383 AT SAMPLE POINT  18
ABSCISSA  TRANSFORM  REL. ERROR
.39      57.97      -.0111
.52      58.45      -.0058
.69      59.58      .0035
.92      61.96      .0106
1.23     66.02      .0094
1.64     71.82      -.0020
2.19     78.59      -.0167
2.92     83.96      -.0148
3.89     88.09      -.0144
5.18     88.30      -.0002
6.91     86.01      .0042
9.22     81.26      .0018
12.29    74.91      -.0042
16.40    67.84      -.0087
21.86    60.49      -.0023
29.16    53.64      .0166
38.88    48.68      .0313

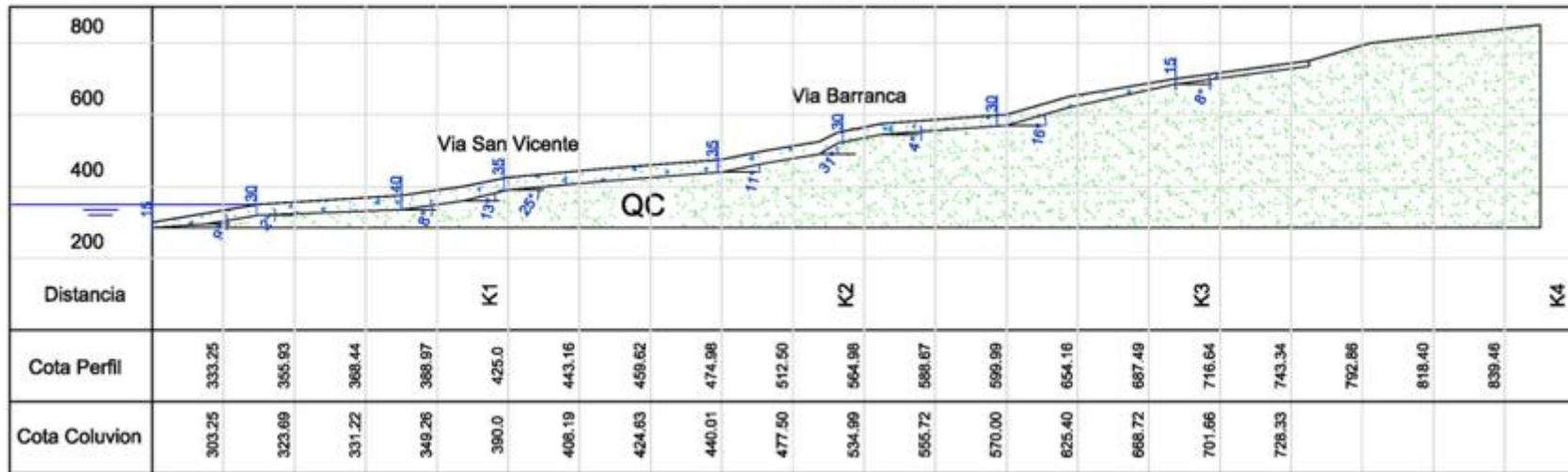
```

Anexo D. Resultados del procesamiento Geoelectrico

ANEXO E

ANEXO E. PERFIL LA LEONA

Perfil La Leona

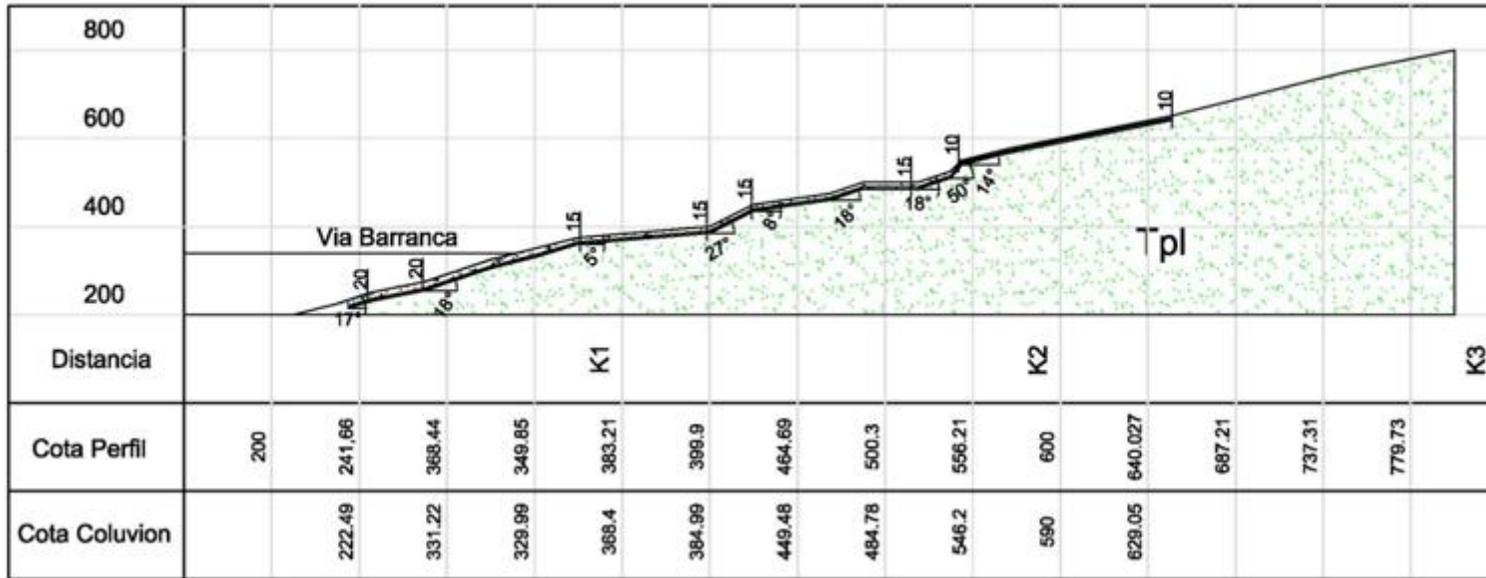


Anexo E. Perfil La Leona

ANEXO F

ANEXO F. PERFIL LA SANTA MARIA

Santa María



Anexo F. Perfil La Santa Maria

ANEXO G

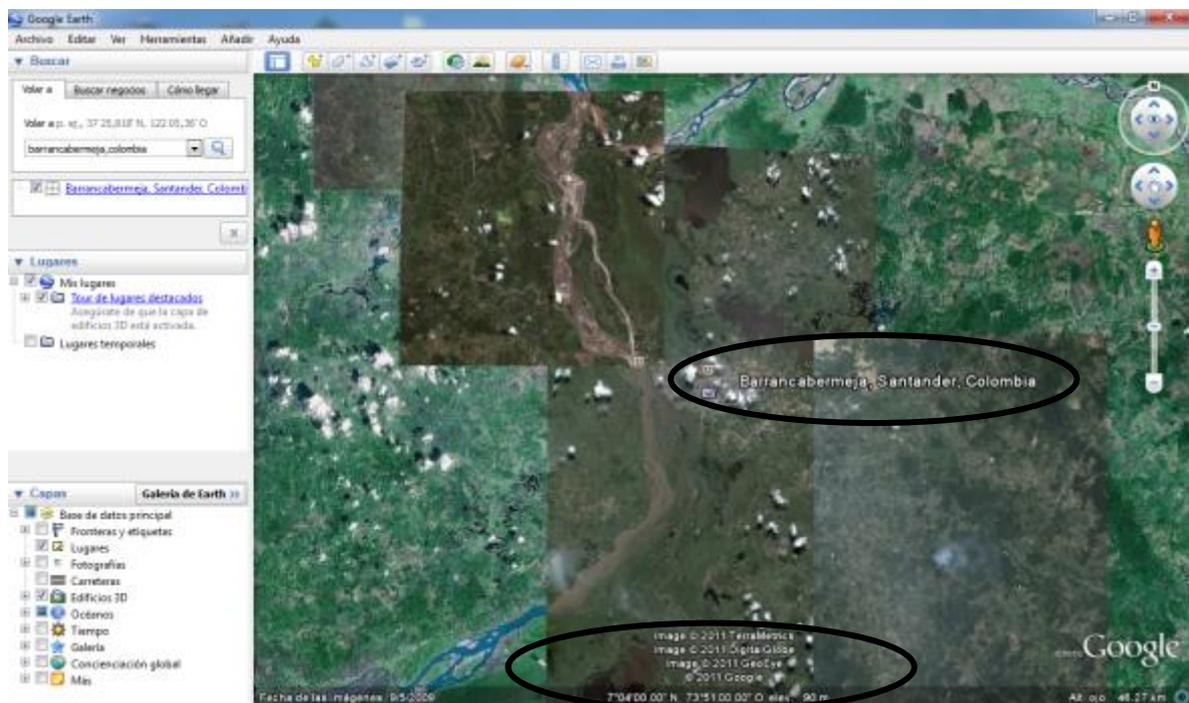
ANEXO G. ANALISIS SÍSMICO BARRANCABERMEJA/SANTANDER

COORDENADAS BARRANCABERMEJA/SANTANDER

La ciudad de **BARRANCABERMEJA**, Está ubicada a 120 km al occidente de Bucaramanga, a orillas del Río Magdalena, en la región del Magdalena Medio, de la cual es el municipio más importante y segunda en todo el departamento. Fue fundada en el año 1536.

COORDENADAS BARRANCABERMEJA – SANTANDER

7.04 N / 73.51 W



GENERACIÓN DE CUADRO DE 2°

CUADRO DE ANALISIS

6 N - 8 N / 73 W – 75 W

Anexo G. Analisis Sísmico Barrancabermeja/Santander

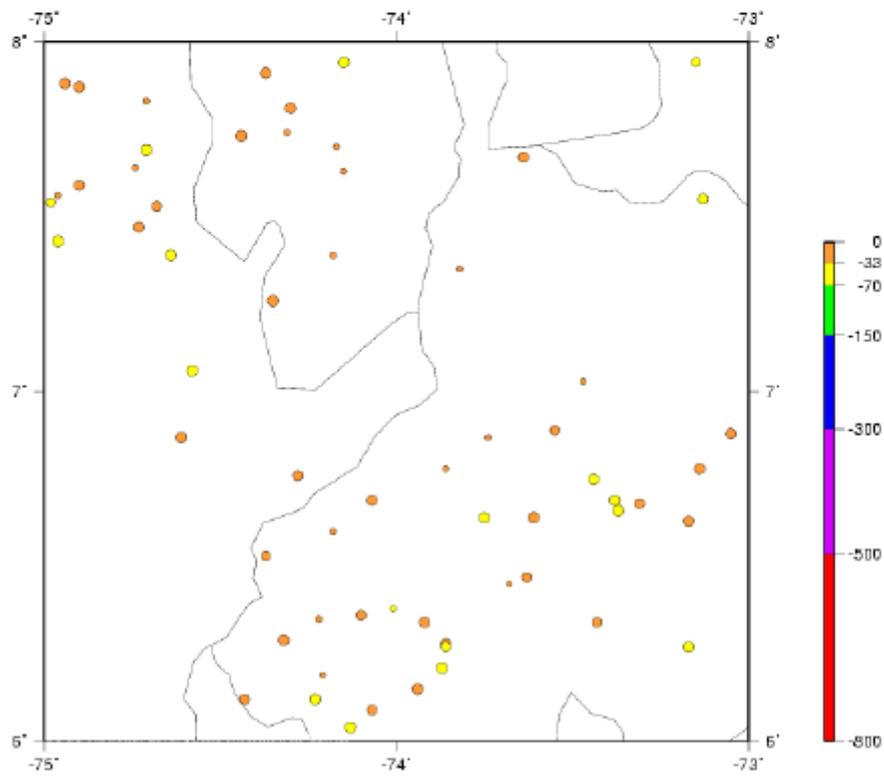
ANALISIS DE DATOS DE SISRA / PDE (USGS), ISC E INGEOMINAS

Se ingresan los datos PDE desde 1973 hasta 2011. El análisis realizado fue filtrado de 0 a 70 km de profundidad, esto con el fin de obtener un dato más cerrado en los resultados. DEPTH: 0 Mínimo 70 Máximo



NEIC: Earthquake Search Results

Rectangular Grid Search
Latitude Range: 6 to 8
Longitude Range: -75 to -73
Depth Range: 0 to 70
Number of Earthquakes: 62

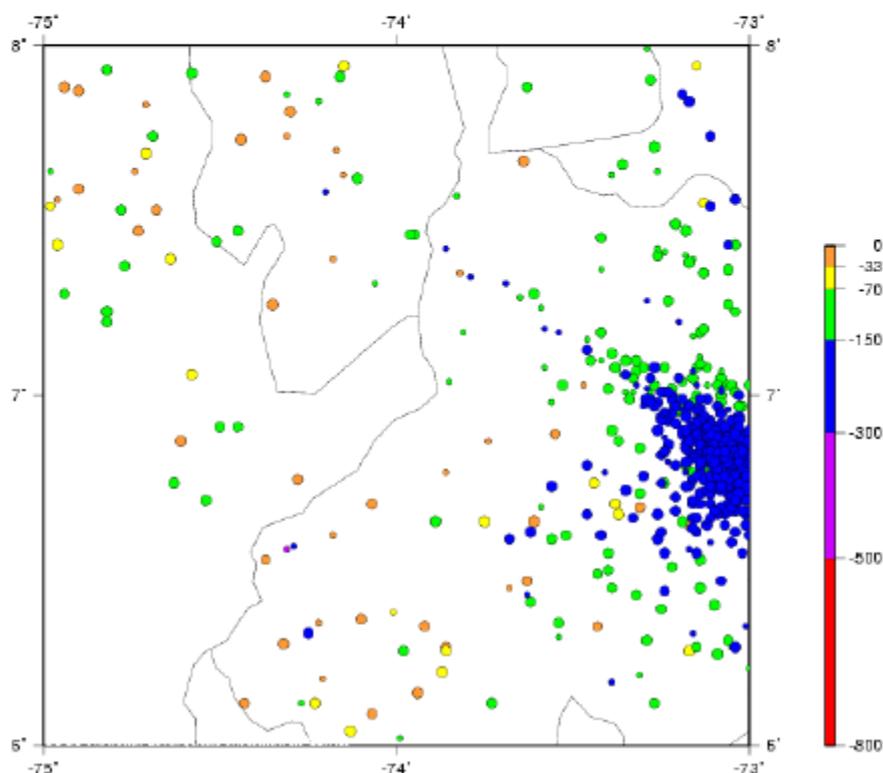


Al realizar el análisis sin el filtro de profundidad se evidencia el nido de Bucaramanga dado ubicado en el oriente colombiano, donde se observa una alta actividad sísmica



NEIC: Earthquake Search Results

Rectangular Grid Search
Latitude Range: 6 to 8
Longitude Range: -75 to -73
Number of Earthquakes: 871

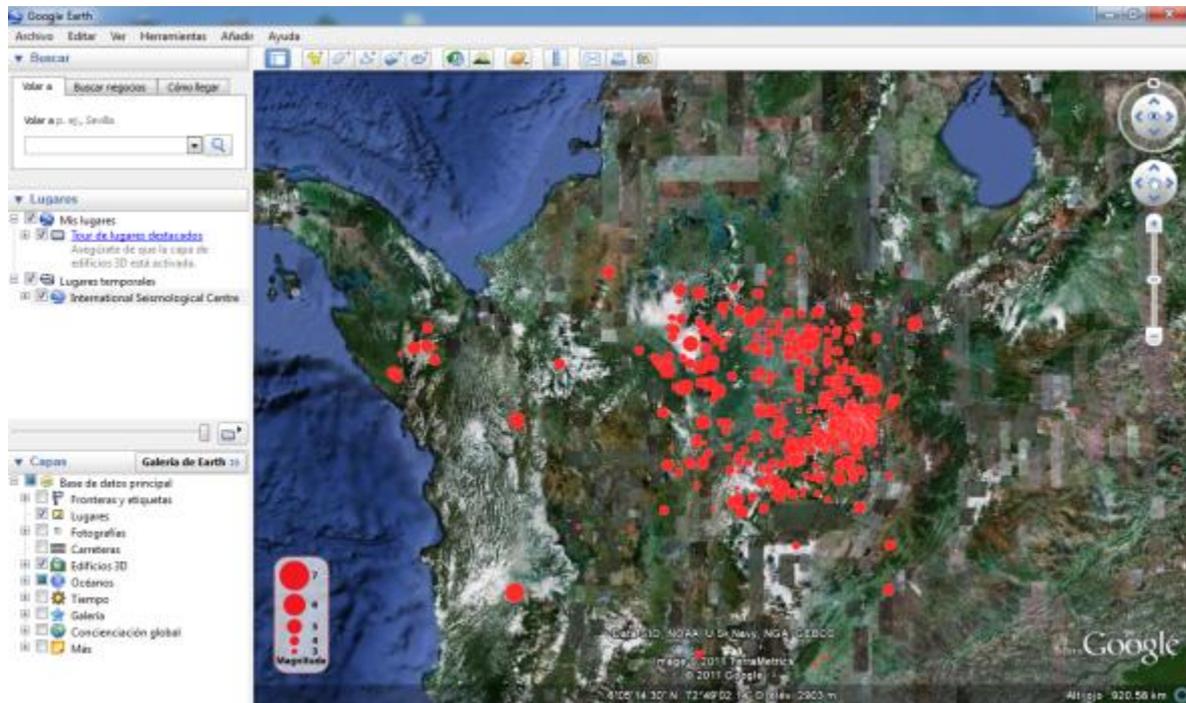


Los únicos eventos que se aprecian se presentan en el nido de Bucaramanga.

En los departamentos de Santander del Sur, Boyacá y Santander del Norte hay una increíble actividad sísmica permanente, a raíz de numerosas fallas geológicas que están localizadas en la zona más ancha de la Cordillera Oriental de Colombia.

Según los expertos sismólogos del Instituto Geológico de Minas -Ingeominas- en esta zona se registran 85 movimientos de tierra diarios en la escala de Richter que no son percibidos por el común de sus habitantes por su baja magnitud.

Generados los mapas de Barrancabermeja, se ingresan los datos del cuadro de área de estudio 2°, analizando datos de SISRA, PDE del U.S. Geological Survey Earthquake Hazards Program (USGS), ISC e Ingeominas.



HOMOGENIZAR A MAGNITUDES MS UTILIZANDO LOS DIAGRAMAS UTSU Y FORMULAS DE INGEOMINAS PARA MAGNITUDES ML

Los datos fueron insertados en Excel, se organizaron según la entidad que reporta los datos: INGEOMINAS, ISC, USGS (SISRA-PDE), estos fueron filtrados según la magnitud y la profundidad de los mismos.

Los datos fueron creados en un archivo único el cual obtenía todos los datos, estos se verificaron por fecha (día, mes, año), se filtraron los sismos donde se repetían los reportes, se verificaron las replicas, y se genero un archivo totalmente filtrado según la magnitud y profundidad.

Una vez filtrados los datos se procede a realizar el cálculo de Ms, donde para cada uno de los datos obtenidos de ISC, SISRA y PDE, se calcula ingresando a las graficas de UTSU.

Las siguientes son las tablas por las cuales se realizo el cálculo de Ms por medio de las graficas de UTSU

TABLA UTSU FIGURA 11. pg 51		TABLA UTSU FIGURA 12. pg 52	
Mb (ISC)	Ms (ISC)	Mb (PDE)	Ms (PDE)
4.5	4.0	4.5	4.0
4.6	4.2	4.6	4.2
4.7	4.3	4.7	4.3
4.8	4.5	4.8	4.5
4.9	4.6	4.9	4.6
5.0	4.7	5.0	4.7
5.1	4.8	5.1	4.8
5.2	5.1	5.2	5.1
5.3	5.2	5.3	5.2
5.4	5.3	5.4	5.3
5.5	5.4	5.5	5.4
5.6	5.6	5.6	5.6
5.7	5.8	5.7	5.8
5.8	5.9	5.8	5.9
5.9	6.0	5.9	6.0
6.0	6.2	6.0	6.2
6.1	6.5	6.1	6.5
6.2	6.6	6.2	6.6
6.3	6.8	6.3	6.8
6.4	7.0	6.4	7.0
6.5	7.3	6.5	7.3

Para los datos obtenidos de Ingeominas se realiza el cálculo de Mb ya que los datos de la magnitud son local, MI.

Para lo cual Ingeominas (1995) propone las siguientes conversiones de MI a mb y de mb a Ms:

- $mb = MI - 0,4$ para $MI \leq 5,3$
- $mb = 1,24 MI - 2,0$ para $MI > 5,3$
- $Ms = mb - 1,33$ para $mb < 4,3$
- $Ms = 1,5mb - 3,42$ para $4,3 \leq mb < 5,5$
- $Ms = 3,0 mb - 11,73$ para $5,5 \leq mb < 6,0$

De donde se obtiene la siguiente tabla:

RELACION INGEOMINAS		
ML	Mb	Ms
4	3.6	2.27
4.2	3.8	2.47
4.3	3.9	2.57
4.4	4	2.67
4.5	4.1	2.77
4.6	4.2	2.87
4.7	4.3	2.97
4.9	4.5	3.33
5	4.6	3.48
5.2	4.8	3.78
5.3	4.9	3.93
5.4	5	3.624

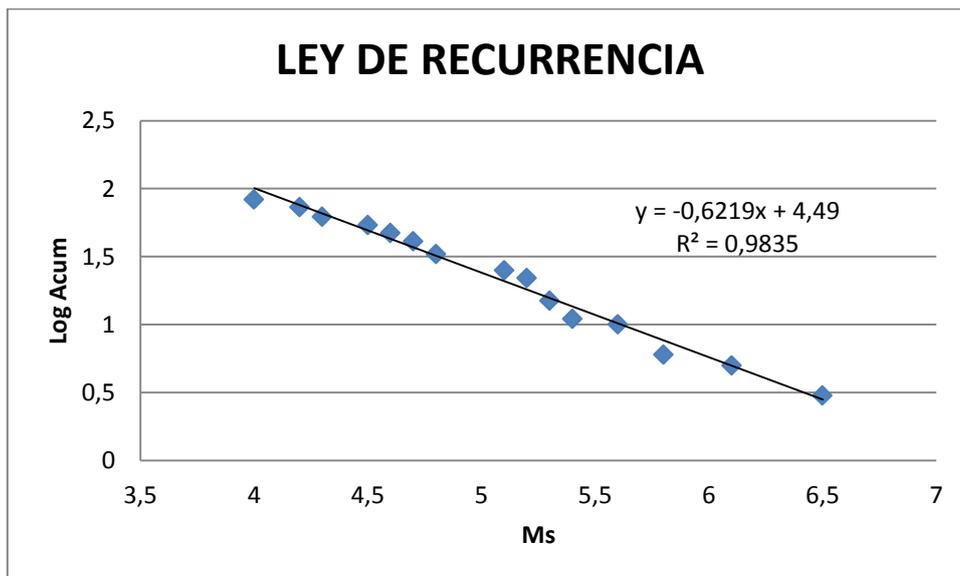
Los datos de Ms de Ingeominas no se toman en cuenta ya que su Ms es inferior a 4.0, por tal razón se realiza el análisis con los valores de Ms de ISC, SISRA y PDE.

Con todos los datos organizados se realiza el cálculo de la ley de recurrencia

MS	RECURRENCIA	ACUMULADO	LOG
4	10	83	1.91907809
4.2	11	73	1.86332286
4.3	8	62	1.79239169
4.5	7	54	1.73239376
4.6	6	47	1.67209786
4.7	8	41	1.61278386

4.8	8	33	1.51851394
5.1	3	25	1.39794001
5.2	7	22	1.34242268
5.3	4	15	1.17609126
5.4	1	11	1.04139269
5.6	4	10	1
5.8	1	6	0.77815125
6.1	2	5	0.69897
6.5	3	3	0.47712125

GRAFICO LEY DE RECURRENCIA DE GUTTENBERG AND RICHTER (TIEMPO TOTAL)



$$y = -0.6219x + 4.49$$

$$R^2 = 0.9835$$

$$\text{Mu} = 4.49/0.6219$$

Mu	7.219810259
-----------	--------------------

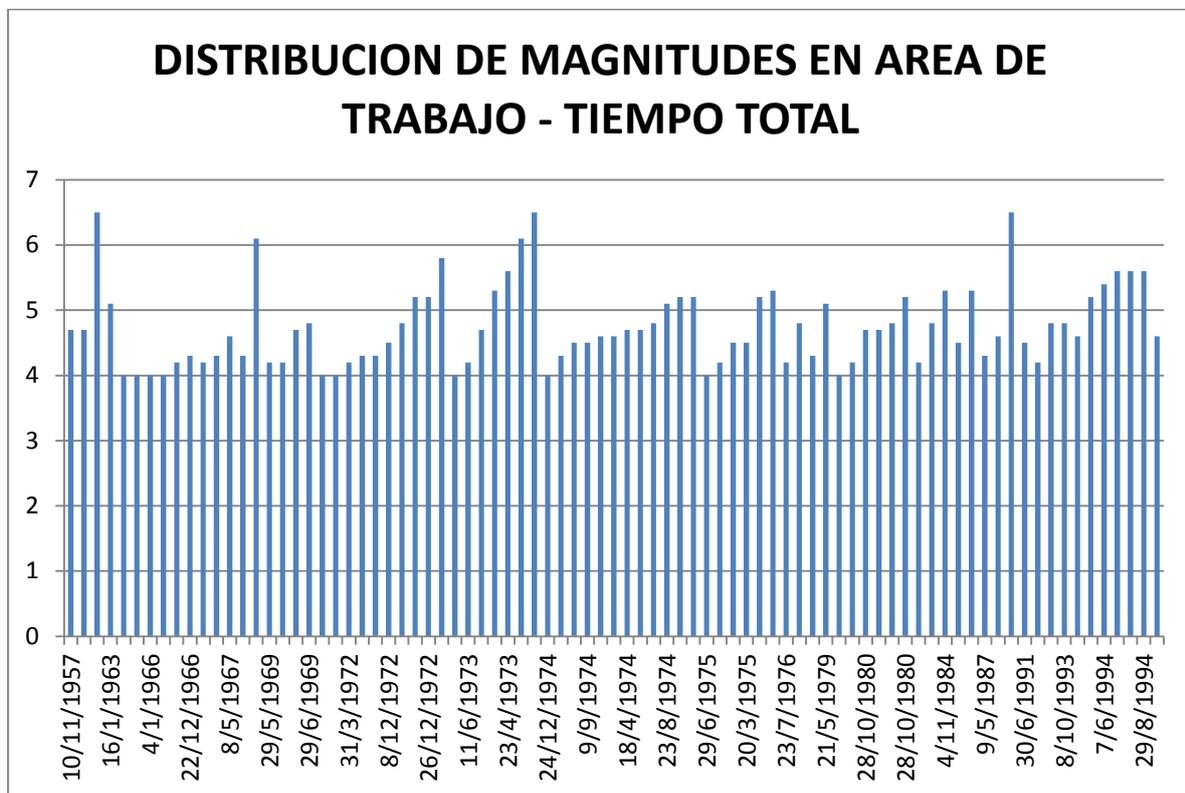
GRAFICO LEY DE RECURRENCIA DE GUTTENBERG AND RICHTER (1950 - 2010)

La recurrencia desde 1950 en adelante corresponde a la grafica anterior, ya que no se presentan datos de años inferiores a 1957.

Se organizan los datos de la magnitud de todos los catálogos obtenidos, se calcula la recurrencia de cada magnitud, así mismo se calcula el acumulado de esta recurrencia y se calcula el Log10.

Todos los registros obtenidos fueron organizados según el año en que se presentaron; La siguiente es la distribución de la magnitud con respecto al tiempo.

Se organizan los datos de la magnitud de todos los catálogos obtenidos, se calcula la recurrencia de cada magnitud, así mismo se calcula el acumulado de esta recurrencia y se calcula el Log10.



Para el análisis de la completitud se verificaron los eventos presentados en décadas, es decir: Años 50 al 60, 60 al 70, 70 al 80, 80 al 90, 90 al 00 y 00 al 2010.

1950 - 1960		1960 - 1970		1970 - 1980		1980 - 1990		1990 - 2010		2000 - 2010	
		4	4	4	6						
		4.2	4	4.2	5	4.2	1	4.2	1		
		4.3	3	4.3	4	4.3	1				
				4.5	5	4.5	1	4.5	1		
		4.6	1	4.6	2	4.6	1	4.6	1	4.6	1
4.7	2	4.7	1	4.7	5						
		4.8	1	4.8	4	4.8	1	4.8	2		
		5.1	1	5.1	2						
				5.2	6			5.2	1		
				5.3	2	5.3	2				
								5.4	1		
				5.6	1			5.6	3		
				5.8	1						
		6.1	1	6.1	1						
		6.5	1	6.5	1	6.5	1				

La siguiente tabla presenta la agrupación de los eventos presentada en los años de 1950 al 2010

TOTAL						
MS	1950 - 2010	1960-2010	1970-2010	1980-2010	1990-2010	2000-2010
4	10	10	6	0	0	0
4.2	11	11	7	2	1	0
4.3	8	8	5	1	0	0
4.5	7	7	7	2	1	0
4.6	6	6	5	3	2	1
4.7	8	6	5	0	0	0
4.8	8	8	7	3	2	0
5.1	3	3	2	0	0	0
5.2	7	7	7	1	1	0

5.3	4	4	4	2	0	0
5.4	1	1	1	1	1	0
5.6	4	4	4	3	3	0
5.8	1	1	1	0	0	0
6.1	2	2	1	0	0	0
6.5	3	3	2	1	0	0

Se procede a realizar el cálculo para cada una de las magnitudes.

$\lambda =$	N/T
$\sigma =$	$\sqrt{\lambda}/\sqrt{T}$

AÑOS	TIEMPO	MAGNITUD MS=4.0		MAGNITUD MS=4.2		MAGNITUD MS=4.3		MAGNITUD MS=4.5		MAGNITUD MS=4.6	
		λ	σ								
60	1950-2010	0.1667	0.053	0.1833	0.055	0.1333	0.047	0.117	0.044	0.100	0.041
50	1960-2010	0.200	0.063	0.220	0.066	0.1600	0.057	0.140	0.053	0.120	0.049
40	1970-2010	0.150	0.061	0.175	0.066	0.1250	0.056	0.175	0.066	0.125	0.056
30	1980-2010	0.000	0.000	0.067	0.047	0.0333	0.033	0.067	0.047	0.100	0.058
20	1990-2010	0.000	0.000	0.05	0.050	0.0000	0.000	0.050	0.050	0.100	0.071
10	2000-2010	0.000	0.000	0	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.100

MAGNITUD MS=4.7		MAGNITUD MS=4.8		MAGNITUD MS=5.1		MAGNITUD MS=5.2		MAGNITUD MS=5.3		MAGNITUD MS=5.4	
λ	σ										
0.1333	0.047	0.1333	0.047	0.050	0.029	0.1167	0.044	0.067	0.033	0.0167	0.017
0.1200	0.049	0.1600	0.057	0.060	0.035	0.1400	0.053	0.080	0.040	0.0200	0.020
0.1250	0.056	0.1750	0.066	0.050	0.035	0.1750	0.066	0.100	0.050	0.0250	0.025
0.0000	0.000	0.1000	0.058	0.000	0.000	0.0333	0.033	0.067	0.047	0.0333	0.033
0.0000	0.000	0.1000	0.071	0.000	0.000	0.0500	0.050	0.000	0.000	0.0500	0.050
0.0000	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.000

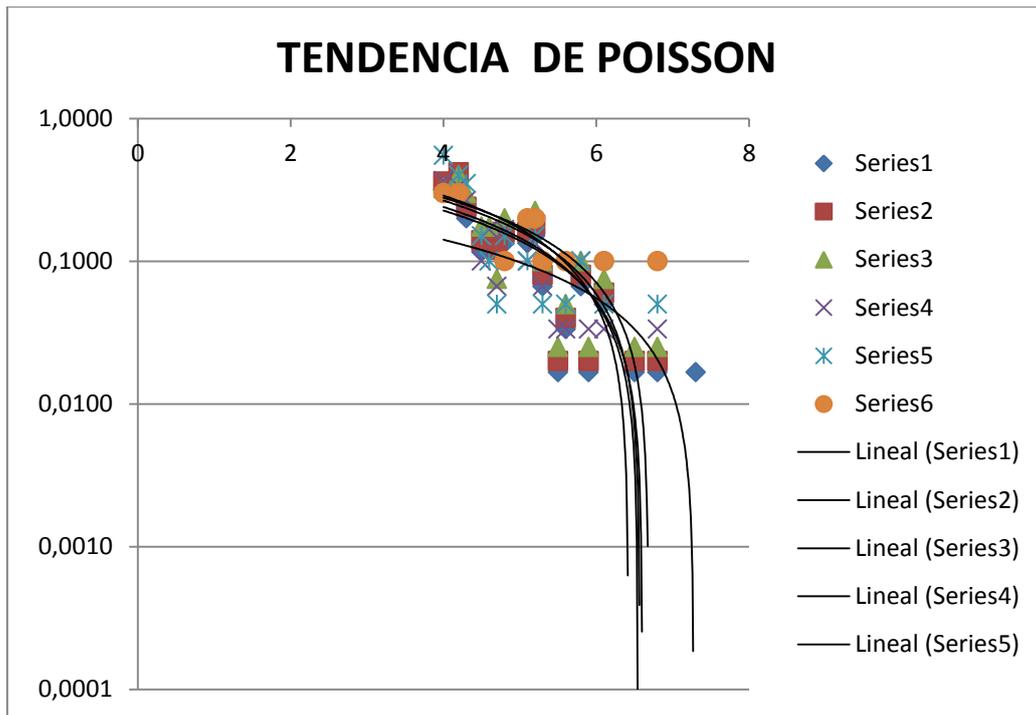
MAGNITUD MS=5.6		MAGNITUD MS=5.8		MAGNITUD MS=6.1		MAGNITUD MS=6.5	
λ	σ	λ	σ	λ	σ	λ	σ
0.067	0.033	0.0167	0.017	0.0333	0.024	0.050	0.029
0.080	0.040	0.0200	0.020	0.0400	0.028	0.060	0.035
0.100	0.050	0.0250	0.025	0.0250	0.025	0.050	0.035
0.100	0.058	0.0000	0.000	0.0000	0.000	0.033	0.033
0.150	0.087	0.0000	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.000

Para cada uno de los datos de magnitud obtenidos en los catálogos se calculan λ y σ , en cada uno de los años, esto con respecto al tiempo.

Se organizan los datos de las magnitudes obtenidas con respecto a λ calculado:

Ms Vs λ						
MS	1950-2010	1950-2010	1970-2010	1980-2010	1990-2010	2000-2010
4	0.167	0.200	0.150	0.000	0.000	0.000
4.2	0.183	0.220	0.175	0.067	0.050	0.000
4.3	0.133	0.160	0.125	0.033	0.000	0.000
4.5	0.117	0.140	0.175	0.067	0.050	0.000
4.6	0.100	0.120	0.125	0.100	0.100	0.100
4.7	0.133	0.120	0.125	0.000	0.000	0.000
4.8	0.133	0.160	0.175	0.100	0.100	0.000
5.1	0.050	0.060	0.050	0.000	0.000	0.000
5.2	0.117	0.140	0.175	0.033	0.050	0.000
5.3	0.067	0.080	0.100	0.067	0.000	0.000
5.4	0.017	0.020	0.025	0.033	0.050	0.000
5.6	0.067	0.080	0.100	0.100	0.150	0.000
5.8	0.017	0.020	0.025	0.000	0.000	0.000
6.1	0.033	0.040	0.025	0.000	0.000	0.000
6.5	0.050	0.060	0.050	0.033	0.000	0.000

La siguiente es la grafica de **Ms Vs λ**



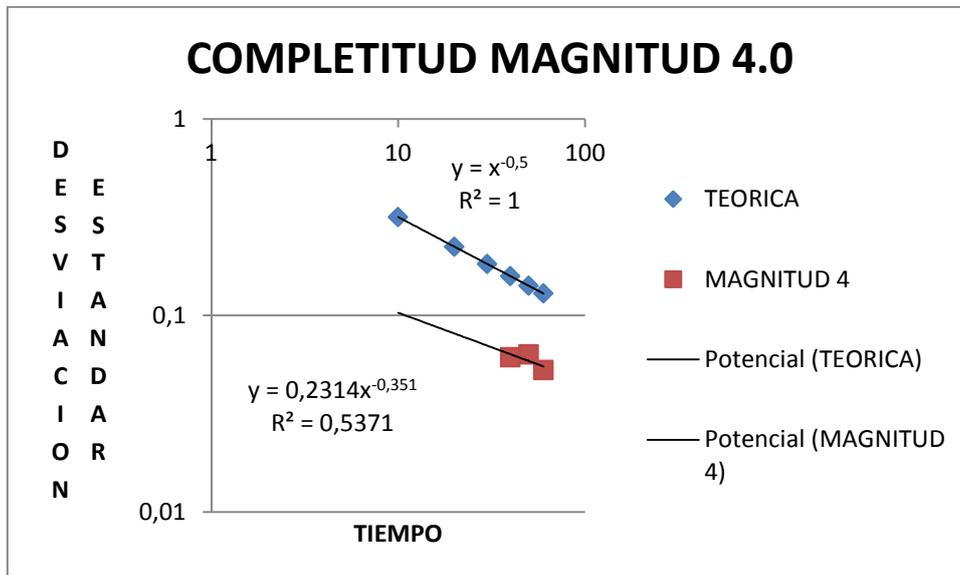
Se organizan los datos de las magnitudes obtenidas con respecto a σ calculado

$1/\sqrt{T}$		σ					
σ	AÑOS	Ms=4.0	Ms=4.2	Ms=4.3	Ms=4.5	Ms=4.6	Ms=4.7
0.12909944	60	0.053	0.055	0.047	0.044	0.041	0.047
0.14142136	50	0.063	0.066	0.057	0.053	0.049	0.049
0.15811388	40	0.061	0.066	0.056	0.066	0.056	0.056
0.18257419	30	0.000	0.047	0.033	0.047	0.058	0.000
0.2236068	20	0.000	0.050	0.000	0.050	0.071	0.000
0.31622777	10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.000

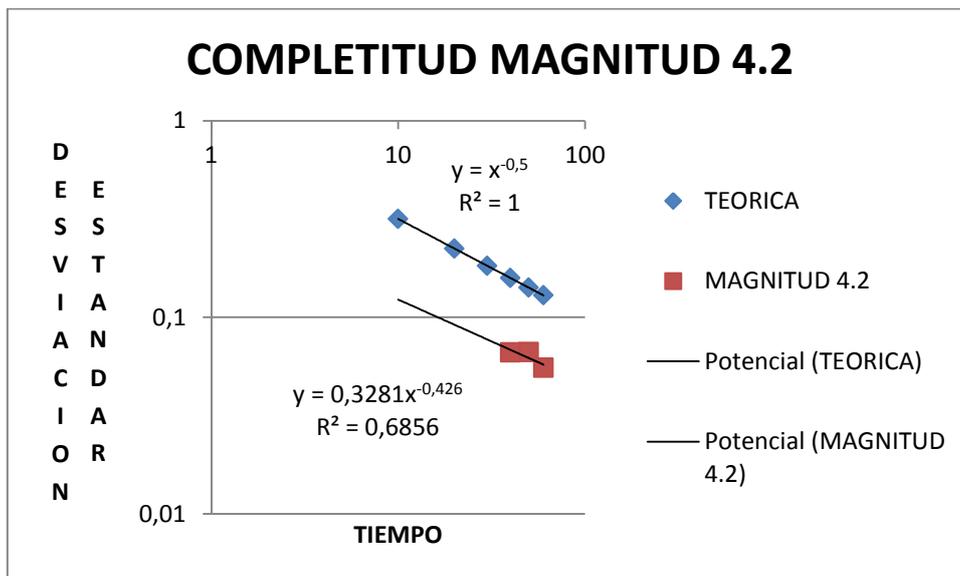
σ								
Ms=4.8	Ms=5.1	Ms=5.2	Ms=5.3	Ms=5.4	Ms=5.6	Ms=5.8	Ms=6.1	Ms=6.5
0.047	0.029	0.044	0.033	0.017	0.033	0.017	0.024	0.029
0.057	0.035	0.053	0.040	0.020	0.040	0.020	0.028	0.035
0.066	0.035	0.066	0.050	0.025	0.050	0.025	0.025	0.035
0.058	0.000	0.033	0.047	0.033	0.058	0.000	0.000	0.033
0.071	0.000	0.050	0.000	0.050	0.087	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

CALCULO DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y GENERAR N (COMPLETO)

El siguiente es el análisis de completitud para cada magnitud en el periodo evaluado

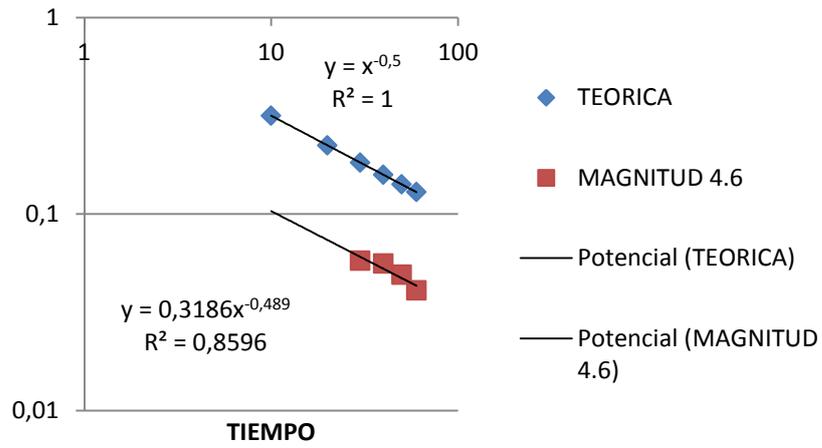


COMPLETITUD DE MAGNITUDES DE 4.2 Y 4.3



D
E
E
S
S
V
T
I
A
N
C
D
I
A
O
R
N

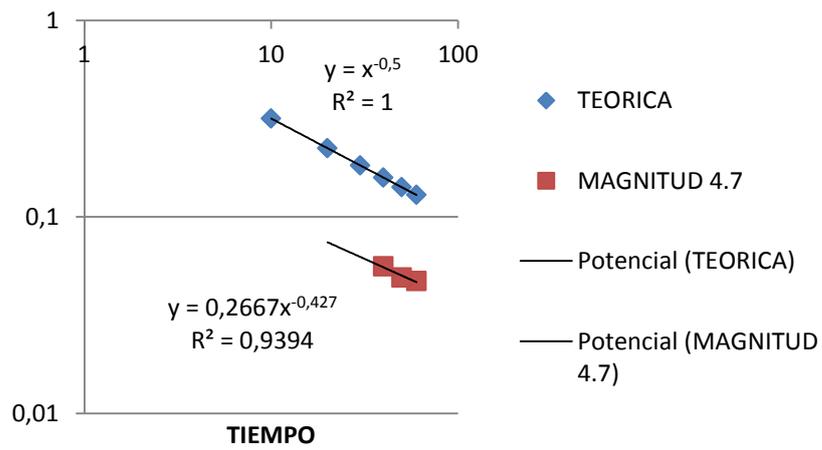
COMPLETITUD MAGNITUD 4.6



COMPLETITUD DE MAGNITUDES DE 4.7 Y 4.8

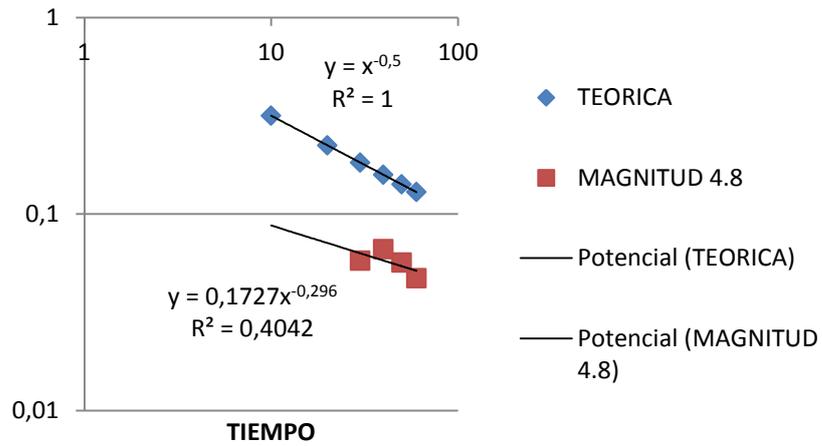
D
E
E
S
S
V
T
I
A
N
C
D
I
A
O
R
N

COMPLETITUD MAGNITUD 4.7



D
E
E
S
S
V
T
I
A
N
C
D
I
A
O
R
N

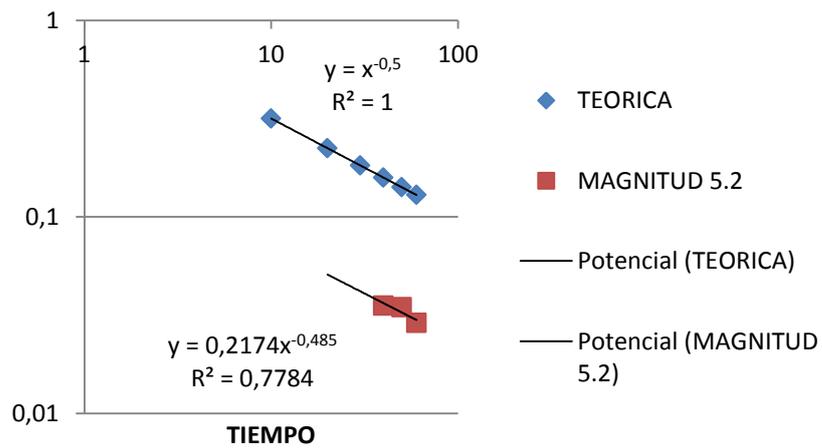
COMPLETITUD MAGNITUD 4.8

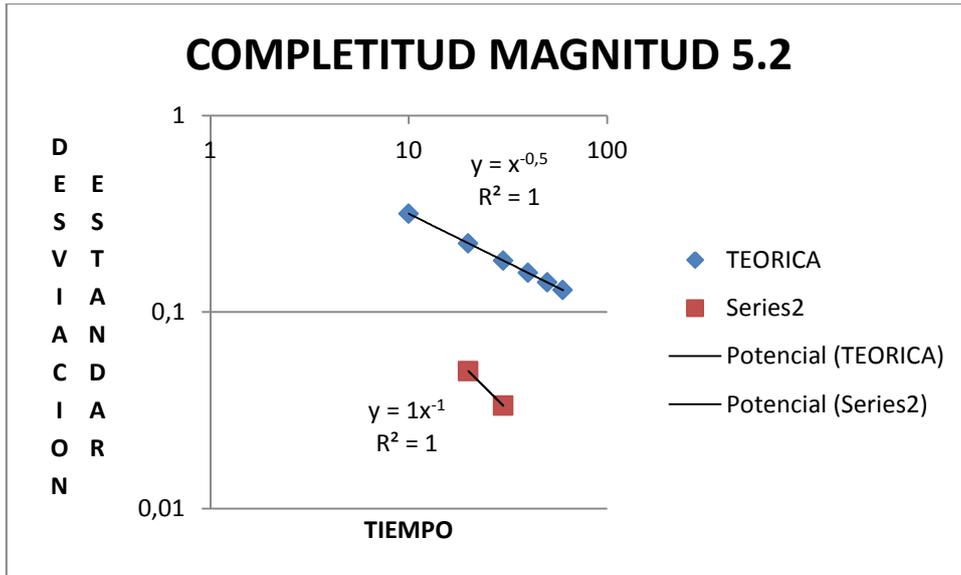


COMPLETITUD DE MAGNITUDES DE 5.1 Y 5.2

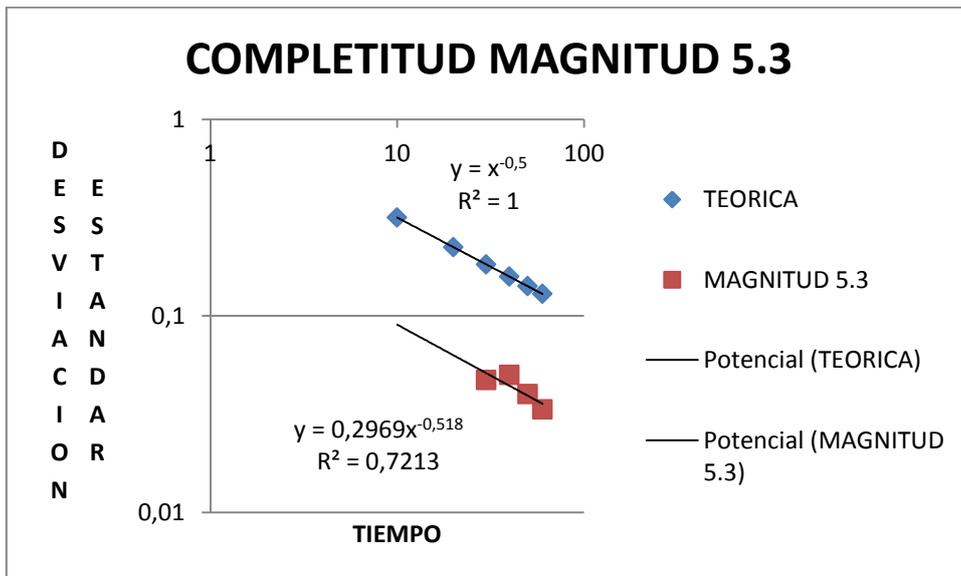
D
E
E
S
S
V
T
I
A
N
C
D
I
A
O
R
N

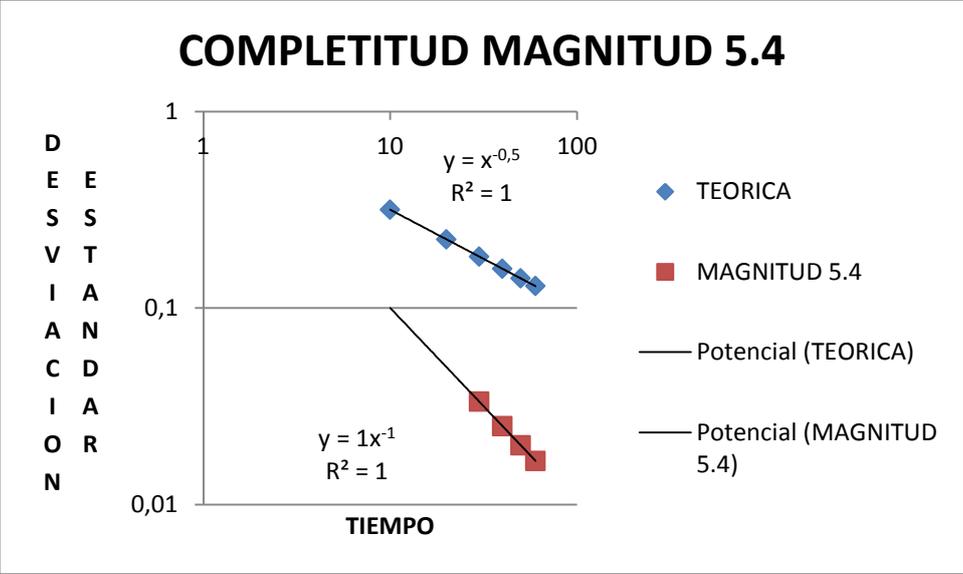
COMPLETITUD MAGNITUD 5.1



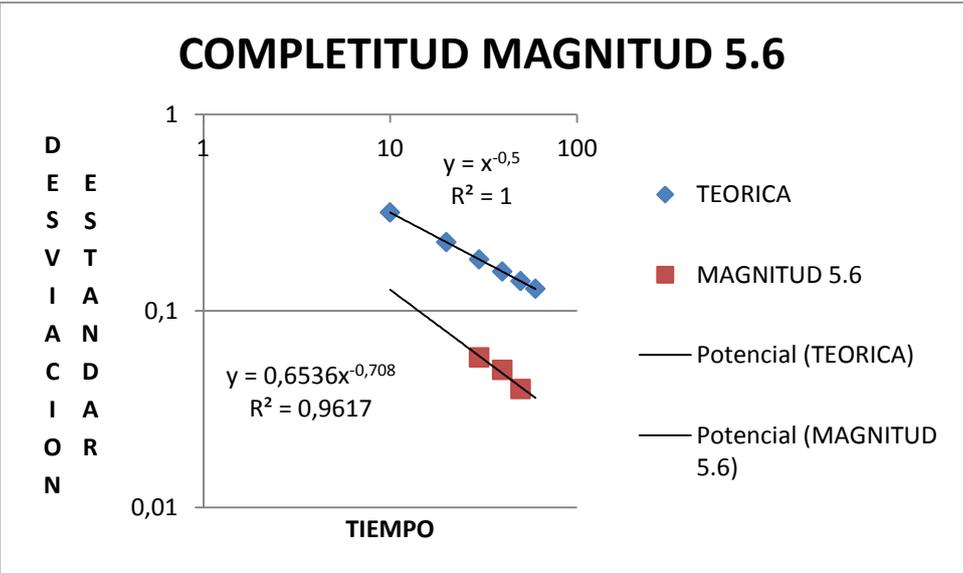


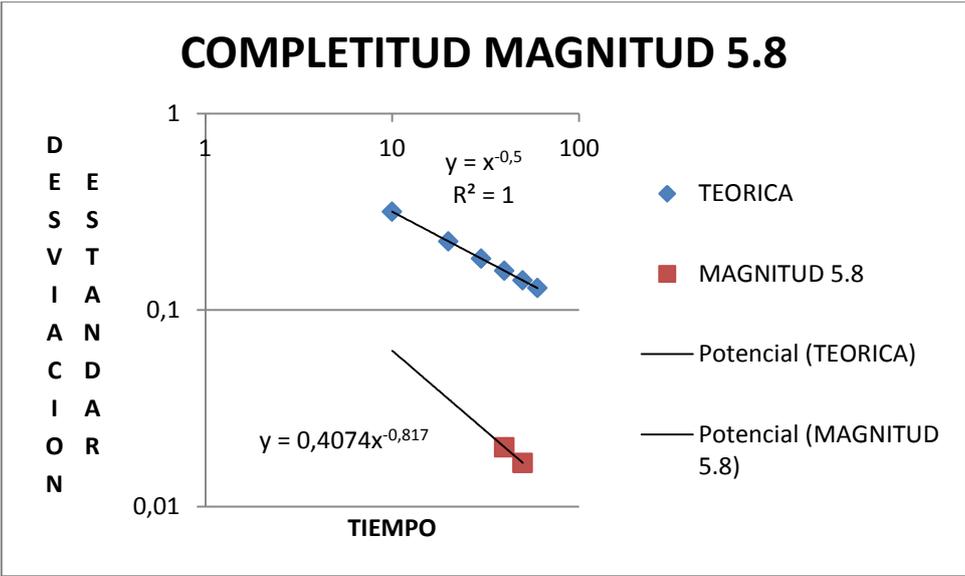
COMPLETITUD DE MAGNITUDES DE 5.3 Y 5.4



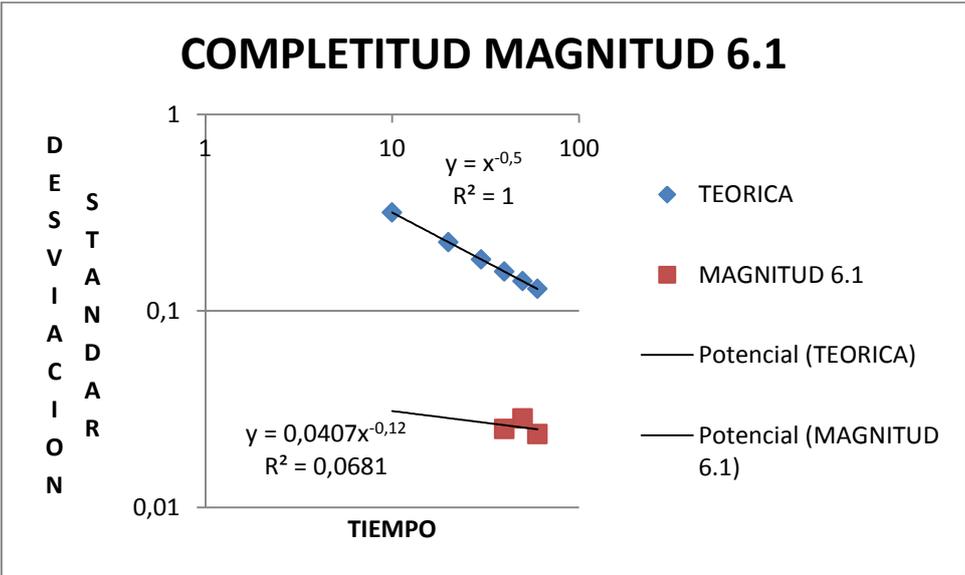


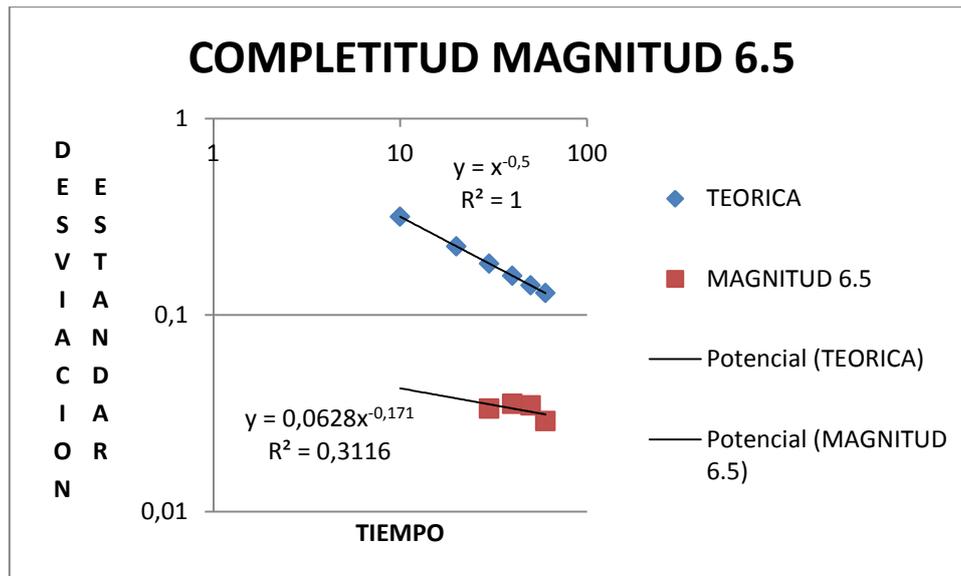
COMPLETITUD DE MAGNITUDES DE 5.6 Y 5.8





COMPLETITUD DE MAGNITUDES DE 6.1 Y 6.5





Se Calcula La COMPLETITUD FINAL para cada magnitud

AÑOS	TIEMPO	Magnitud Ms = 4.0					
		$\lambda_{\text{calculado}}$	$\sigma_{\text{calculado}}$	N	$\sigma_{\text{Teórico}}$	$\lambda_{\text{Teórico}} = (\sigma_{\text{Teórico}})^2 * T$	$N_{\text{teórico}} = \lambda_{\text{Teórico}} * T$
60	1950 - 2010	0.17	0.05	10	0.03	0.05	3
50	1960 - 2010	0.20	0.06	10	0.03	0.05	3
40	1970 - 2010	0.15	0.06	6	0.04	0.05	2
30	1980 - 2010	0.00	0.00	0	0.04	0.05	2
20	1990 - 2010	0.00	0.00	0	0.05	0.05	1
10	2000 - 2010	0.00	0.00	0	0.07	0.05	1

AÑOS	TIEMPO	Magnitud Ms = 4.2					
		$\lambda_{\text{calculado}}$	$\sigma_{\text{calculado}}$	N	$\sigma_{\text{Teórico}}$	$\lambda_{\text{Teórico}} = (\sigma_{\text{Teórico}})^2 * T$	$N_{\text{teórico}} = \lambda_{\text{Teórico}} * T$
60	1950 - 2010	0.18	0.06	11	0.04	0.11	6
50	1960 - 2010	0.22	0.07	11	0.05	0.11	5
40	1970 - 2010	0.18	0.07	7	0.05	0.11	4
30	1980 - 2010	0.07	0.05	2	0.06	0.11	3
20	1990 - 2010	0.05	0.05	1	0.07	0.11	2
10	2000 - 2010	0.00	0.00	0	0.10	0.11	1

AÑOS	TIEMPO	Magnitud Ms = 4.3					
		$\lambda_{\text{calculado}}$	$\sigma_{\text{calculado}}$	N	$\sigma_{\text{Teórico}}$	$\lambda_{\text{Teórico}} = (\sigma_{\text{Teórico}})^2 * T$	$N_{\text{teórico}} = \lambda_{\text{Teórico}} * T$
60	1950 - 2010	0.13	0.05	8	0.03	0.11	5
50	1960 - 2010	0.16	0.06	8	0.04	0.07	3
40	1970 - 2010	0.13	0.06	5	0.04	0.07	3
30	1980 - 2010	0.03	0.03	1	0.05	0.07	2
20	1990 - 2010	0.00	0.00	0	0.06	0.07	1
10	2000 - 2010	0.00	0.00	0	0.08	0.07	1

AÑOS	TIEMPO	Magnitud Ms = 4.5					
		$\lambda_{\text{calculado}}$	$\sigma_{\text{calculado}}$	N	$\sigma_{\text{Teórico}}$	$\lambda_{\text{Teórico}} = (\sigma_{\text{Teórico}})^2 * T$	$N_{\text{teórico}} = \lambda_{\text{Teórico}} * T$
60	1950 - 2010	0.12	0.04	7	0.01	0.01	7
50	1960 - 2010	0.14	0.05	7	0.01	0.01	0
40	1970 - 2010	0.18	0.07	7	0.01	0.01	0
30	1980 - 2010	0.07	0.05	2	0.02	0.01	0
20	1990 - 2010	0.05	0.05	1	0.02	0.01	0
10	2000 - 2010	0.00	0.00	0	0.03	0.01	0

AÑOS	TIEMPO	Magnitud Ms = 4.6					
		$\lambda_{\text{calculado}}$	$\sigma_{\text{calculado}}$	N	$\sigma_{\text{Teórico}}$	$\lambda_{\text{Teórico}} = (\sigma_{\text{Teórico}})^2 * T$	$N_{\text{teórico}} = \lambda_{\text{Teórico}} * T$
60	1950 - 2010	0.10	0.04	6	0.04	0.10	6
50	1960 - 2010	0.12	0.05	6	0.05	0.10	5
40	1970 - 2010	0.13	0.06	5	0.05	0.10	4
30	1980 - 2010	0.10	0.06	3	0.06	0.10	3
20	1990 - 2010	0.10	0.07	2	0.07	0.10	2
10	2000 - 2010	0.10	0.10	1	0.10	0.10	1

AÑOS	TIEMPO	Magnitud Ms = 4.7					
		$\lambda_{\text{calculado}}$	$\sigma_{\text{calculado}}$	N	$\sigma_{\text{Teórico}}$	$\lambda_{\text{Teórico}} = (\sigma_{\text{Teórico}})^2 * T$	$N_{\text{teórico}} = \lambda_{\text{Teórico}} * T$
60	1950 - 2010	0.13	0.05	8	0.03	0.07	4
50	1960 - 2010	0.12	0.05	6	0.04	0.07	4
40	1970 - 2010	0.13	0.06	5	0.04	0.07	3
30	1980 - 2010	0.00	0.00	0	0.05	0.07	2
20	1990 - 2010	0.00	0.00	0	0.06	0.07	1
10	2000 - 2010	0.00	0.00	0	0.08	0.07	1

AÑOS	TIEMPO	Magnitud Ms = 4.8					
		$\lambda_{\text{calculado}}$	$\sigma_{\text{calculado}}$	N	$\sigma_{\text{Teórico}}$	$\lambda_{\text{Teórico}} = (\sigma_{\text{Teórico}})^2 * T$	$N_{\text{teórico}} = \lambda_{\text{Teórico}} * T$
60	1950 - 2010	0.13	0.05	8	0.02	0.03	2
50	1960 - 2010	0.16	0.06	8	0.02	0.03	1
40	1970 - 2010	0.18	0.07	7	0.03	0.03	1
30	1980 - 2010	0.10	0.06	3	0.03	0.03	1
20	1990 - 2010	0.10	0.07	2	0.04	0.03	1
10	2000 - 2010	0.00	0.00	0	0.05	0.03	0

AÑOS	TIEMPO	Magnitud Ms = 5.1					
		$\lambda_{\text{calculado}}$	$\sigma_{\text{calculado}}$	N	$\sigma_{\text{Teórico}}$	$\lambda_{\text{Teórico}} = (\sigma_{\text{Teórico}})^2 * T$	$N_{\text{teórico}} = \lambda_{\text{Teórico}} * T$
60	1950 - 2010	0.05	0.03	3	0.03	0.05	3
50	1960 - 2010	0.06	0.03	3	0.03	0.05	2
40	1970 - 2010	0.05	0.04	2	0.03	0.05	2
30	1980 - 2010	0.00	0.00	0	0.04	0.05	1
20	1990 - 2010	0.00	0.00	0	0.05	0.05	1
10	2000 - 2010	0.00	0.00	0	0.07	0.05	0

AÑOS	TIEMPO	Magnitud Ms = 5.2					
		$\lambda_{\text{calculado}}$	$\sigma_{\text{calculado}}$	N	$\sigma_{\text{Teórico}}$	$\lambda_{\text{Teórico}} = (\sigma_{\text{Teórico}})^2 * T$	$N_{\text{teórico}} = \lambda_{\text{Teórico}} * T$
60	1950 - 2010	0.12	0.04	7	0.13	1.00	60
50	1960 - 2010	0.14	0.05	7	0.14	1.00	50
40	1970 - 2010	0.18	0.07	7	0.16	1.00	40
30	1980 - 2010	0.03	0.03	1	0.18	1.00	30
20	1990 - 2010	0.05	0.05	1	0.22	1.00	20
10	2000 - 2010	0.00	0.00	0	0.32	1.00	10

AÑOS	TIEMPO	Magnitud Ms = 5.3					
		$\lambda_{\text{calculado}}$	$\sigma_{\text{calculado}}$	N	$\sigma_{\text{Teórico}}$	$\lambda_{\text{Teórico}} = (\sigma_{\text{Teórico}})^2 * T$	$N_{\text{teórico}} = \lambda_{\text{Teórico}} * T$
60	1950 - 2010	0.07	0.03	4	0.04	0.09	5
50	1960 - 2010	0.08	0.04	4	0.04	0.09	4
40	1970 - 2010	0.10	0.05	4	0.05	0.09	4
30	1980 - 2010	0.07	0.05	2	0.05	0.09	3
20	1990 - 2010	0.00	0.00	0	0.07	0.09	2
10	2000 - 2010	0.00	0.00	0	0.09	0.09	1

AÑOS	TIEMPO	Magnitud Ms = 5.4					
		$\lambda_{\text{calculado}}$	$\sigma_{\text{calculado}}$	N	$\sigma_{\text{Teórico}}$	$\lambda_{\text{Teórico}} = (\sigma_{\text{Teórico}})^2 * T$	$N_{\text{teórico}} = \lambda_{\text{Teórico}} * T$
60	1950 - 2010	0.02	0.02	1	0.13	1.00	60
50	1960 - 2010	0.02	0.02	1	0.14	1.00	50
40	1970 - 2010	0.03	0.03	1	0.16	1.00	40
30	1980 - 2010	0.03	0.03	1	0.18	1.00	30
20	1990 - 2010	0.05	0.05	1	0.22	1.00	20
10	2000 - 2010	0.00	0.00	0	0.32	1.00	10

AÑOS	TIEMPO	Magnitud Ms = 5.6					
		$\lambda_{\text{calculado}}$	$\sigma_{\text{calculado}}$	N	$\sigma_{\text{Teórico}}$	$\lambda_{\text{Teórico}} = (\sigma_{\text{Teórico}})^2 * T$	$N_{\text{teórico}} = \lambda_{\text{Teórico}} * T$
60	1950 - 2010	0.07	0.03	4	0.08	0.43	26
50	1960 - 2010	0.08	0.04	4	0.09	0.43	21
40	1970 - 2010	0.10	0.05	4	0.10	0.43	17
30	1980 - 2010	0.10	0.06	3	0.12	0.43	13
20	1990 - 2010	0.15	0.09	3	0.15	0.43	9
10	2000 - 2010	0.00	0.00	0	0.21	0.43	4

AÑOS	TIEMPO	Magnitud Ms = 5.8					
		$\lambda_{\text{calculado}}$	$\sigma_{\text{calculado}}$	N	$\sigma_{\text{Teórico}}$	$\lambda_{\text{Teórico}} = (\sigma_{\text{Teórico}})^2 * T$	$N_{\text{teórico}} = \lambda_{\text{Teórico}} * T$
60	1950 - 2010	0.02	0.02	1	0.05	0.17	10
50	1960 - 2010	0.02	0.02	1	0.06	0.17	8
40	1970 - 2010	0.03	0.03	1	0.06	0.17	7
30	1980 - 2010	0.00	0.00	0	0.07	0.17	5
20	1990 - 2010	0.00	0.00	0	0.09	0.17	3
10	2000 - 2010	0.00	0.00	0	0.13	0.17	2

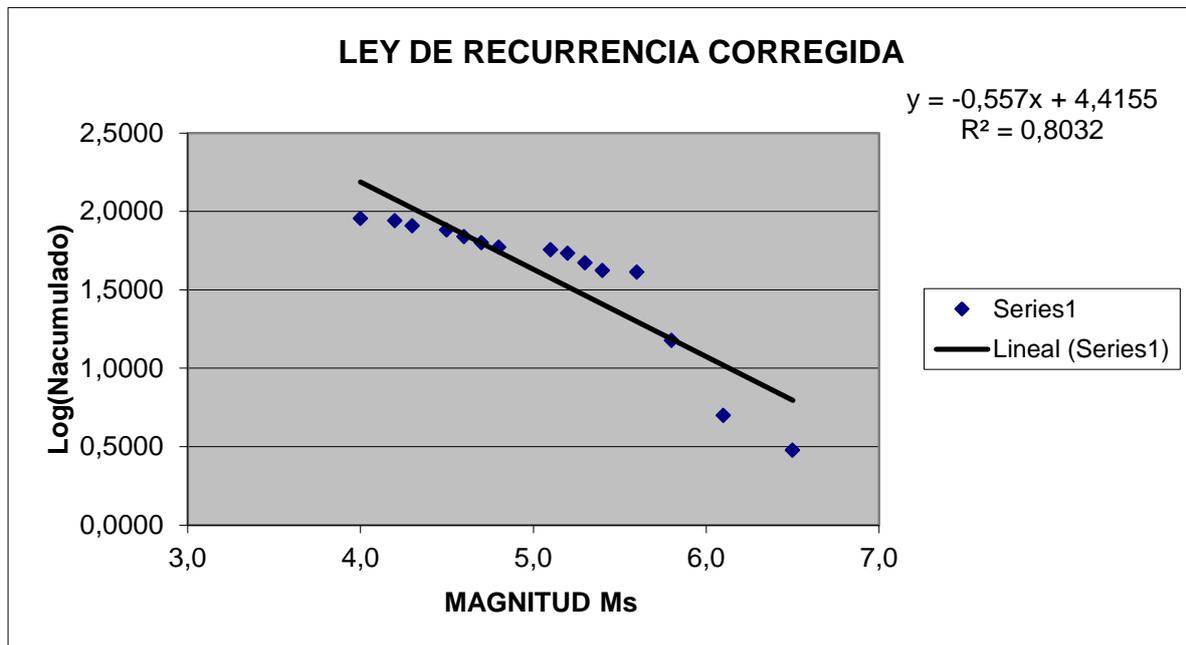
AÑOS	TIEMPO	Magnitud Ms = 6.1					
		$\lambda_{\text{calculado}}$	$\sigma_{\text{calculado}}$	N	$\sigma_{\text{Teórico}}$	$\lambda_{\text{Teórico}} = (\sigma_{\text{Teórico}})^2 * T$	$N_{\text{teórico}} = \lambda_{\text{Teórico}} * T$
60	1950 - 2010	0.03	0.02	2	0.01	0.00	2
50	1960 - 2010	0.04	0.03	2	0.01	0.00	0
40	1970 - 2010	0.03	0.03	1	0.01	0.00	0
30	1980 - 2010	0.00	0.00	0	0.01	0.00	0
20	1990 - 2010	0.00	0.00	0	0.01	0.00	0
10	2000 - 2010	0.00	0.00	0	0.01	0.00	0

AÑOS	TIEMPO	Magnitud Ms = 6.5					
		$\lambda_{\text{calculado}}$	$\sigma_{\text{calculado}}$	N	$\sigma_{\text{Teórico}}$	$\lambda_{\text{Teórico}} = (\sigma_{\text{Teórico}})^2 * T$	$N_{\text{teórico}} = \lambda_{\text{Teórico}} * T$
60	1950 - 2010	0.05	0.03	3	0.01	0.00	3
50	1960 - 2010	0.06	0.03	3	0.01	0.00	0
40	1970 - 2010	0.05	0.04	2	0.01	0.00	0
30	1980 - 2010	0.03	0.03	1	0.01	0.00	0
20	1990 - 2010	0.00	0.00	0	0.01	0.00	0
10	2000 - 2010	0.00	0.00	0	0.02	0.00	0

Calculados $\sigma_{\text{Teórico}}$, $\lambda_{\text{Teórico}}$ y $N_{\text{teórico}}$, se toma un N acumulado al cual se le calcula el log10, como se relaciona en la siguiente tabla, con el cual se calcula la ley de recurrencia corregida

1950 - 2010			
Ms	N	$N_{\text{acumulado}}$	$\text{Log}(N_{\text{acumulado}})$
4.0	3	90	1.9542
4.2	6	87	1.9395
4.3	5	81	1.9085
4.5	7	76	1.8808
4.6	6	69	1.8388
4.7	4	63	1.7993
4.8	2	59	1.7709
5.1	3	57	1.7559
5.2	7	54	1.7324
5.3	5	47	1.6721
5.4	1	42	1.6232
5.6	26	41	1.6128
5.8	10	15	1.1761
6.1	2	5	0.6990
6.5	3	3	0.4771

GRAFICA LEY DE RECURRENCIA DE GUTTENBERG AND RICHTER (TIEMPO TOTAL) CON LAS NUEVOS DATOS DE COMPLETITUD



Mu = a/b = 7.9

Durante el análisis realizado de los mapas se observa que la mayor presentación de sismos son los relacionados con el nido sísmico de Bucaramanga, los sismos presentados en la ciudad de Barrancabermeja presentan dispersión y profundidades inferiores a 70 km. Teniendo en cuenta los registros históricos de la ciudad de Barrancabermeja/Santander se realizó un análisis de amenaza sísmica por medio de los catálogos de Ingeominas, ISC, SISRA y PDE, obteniendo un total de 3245 datos, los cuales fueron filtrados por magnitud y profundidad para obtener así un resultado más acertado de la recurrencia.