



**ESTUDIO GEOLOGICO Y GEOFISICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE LOJA-BARRIO LA FLORIDA**



Elaborado por

**SECCION GEODINAMICA, MINERIA Y METALURGIA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL
UTPL**



Agosto-2015

Contenido

1. UBICACION.....	4
2. OBJETIVOS	4
3. GEOLOGÍA REGIONAL.....	5
4. GEOMORFOLOGIA	6
5. GEOLOGIA LOCAL.....	7
a. Terraza baja y cauce actual.....	7
b. Terraza media	9
c. Terraza alta	13
d. Terraza Muy alta	13
e. Escarpe de terraza.....	14
f. Escarpe, escarpe de cuesta	14
g. Cimas aterrazadas, superficie de cuesta	17
h. Ladera cóncava saturada	18
6. TRABAJO GEOFISICO	19
7. CONCLUSIONES	29
8. RECOMENDACIONES	30
9. Bibliografía	31

Índice de fotos

Foto 1. Margen derecho (aguas abajo), nótese que en eventos de crecida del rio la terraza media es socavada lateralmente foto del 19-06-2015	8
Foto 2. Margen derecho pero la foto es tomada aguas arriba, nótese que en eventos de crecida del rio la terraza media es socavada lateralmente foto del 19-06-2015	8
Foto 3. Margen derecho tomada aguas arriba, lo señalado ha sido socavado lateralmente, fecha 02 de septiembre de 2015.....	8
Foto 4. Margen derecho terraza media, nótese la capa de limo y arena de 1.00m de espesor, más abajo gravas grises	9
Foto 5. Panorámica de la terraza media, a la izquierda el recodo muestra un antiguo meandro producido por el rio Zamora.....	9
Foto 6. Calicata C#13 colapsada luego de la excavación, el nivel freático está a 1m de profundidad (foto 19-06-2015).....	10
Foto 7. Panorámica de las terrazas altas y muy altas, las flechas indican como es la dispersión de sedimentos por aportes de las partes superiores	14
Foto 8. Afloramiento metamórfico por la vía de acceso hacia San Juan y San Francisco	15

Foto 9. En esta panorámica se apreciar al sur del área de estudio el escarpe de cuesta de tipo metamórfico	15
Foto 10. Afloramiento natural de aglomerado sedimentario, nótese en la base clastos de hasta 50cm de diámetro	16
Foto 11. Aglomerado sedimentario por la vía a San Juan, nótese el talud casi vertical que se mantiene relativamente estable	16
Foto 12. Cantos rodados de la zona escarpada. Foto tomada al norte por la desembocadura de la QB. La Florida	17
Foto 13. Afloramiento de conglomerado en la parte baja recubierto de coluvial con clastos metamórficos en la parte superior, foto tomada al nor-este del área de estudio en el límite con la terraza media.	17
Foto 14. Afloramiento de conglomerado en la parte baja recubierto de coluvial con clastos metamórficos en la parte	18
Foto 15. Equipo Terrameter System utilizado para el estudio geofísico.....	19
Foto 16. Jornada de campo con el Equipo Terrameter System utilizado para el estudio geofísico	23
Foto 17. SEV 9 con el Equipo Terrameter System, al fondo el deslizamiento activo	24
Foto 18. SEV 10 con el Equipo Terrameter System, en la terraza media.	24
Foto 19. Arreglo eléctrico para tomografía eléctrica por IP (polarización inducida).....	28
Foto 20. Arreglo eléctrico para tomografía eléctrica por IP (polarización inducida).....	28
Foto 21. Equipo Terrameter System	28

ESTUDIO GEOLOGICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE LOJA-BARRIO LA FLORIDA

1. UBICACION

El proyecto para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales se ubica al norte de la ciudad de Loja, fuera del área urbana actual, en el sector San Francisco al pie del Cerro El Sañi, entre las quebradas La Florida al norte y quebrada Sans al sur junto al río Zamora. Desde el centro de la ciudad hay una distancia de 9.1 Km y se puede llegar a la zona de estudio por las vías de la ciudad hasta el sector de Sauces norte, desde la entrada a esta ciudadela continuando por la vía a Jimbilla se recorre una distancia de 950m para luego entrar por una camino de tercer orden hacia el margen derecho del río Zamora por un puente de madera con una distancia de 75m, se llega a la zona de estudio, que comprende un área aproximada de 6.25ha y una altura de 1987m.s.n.m.

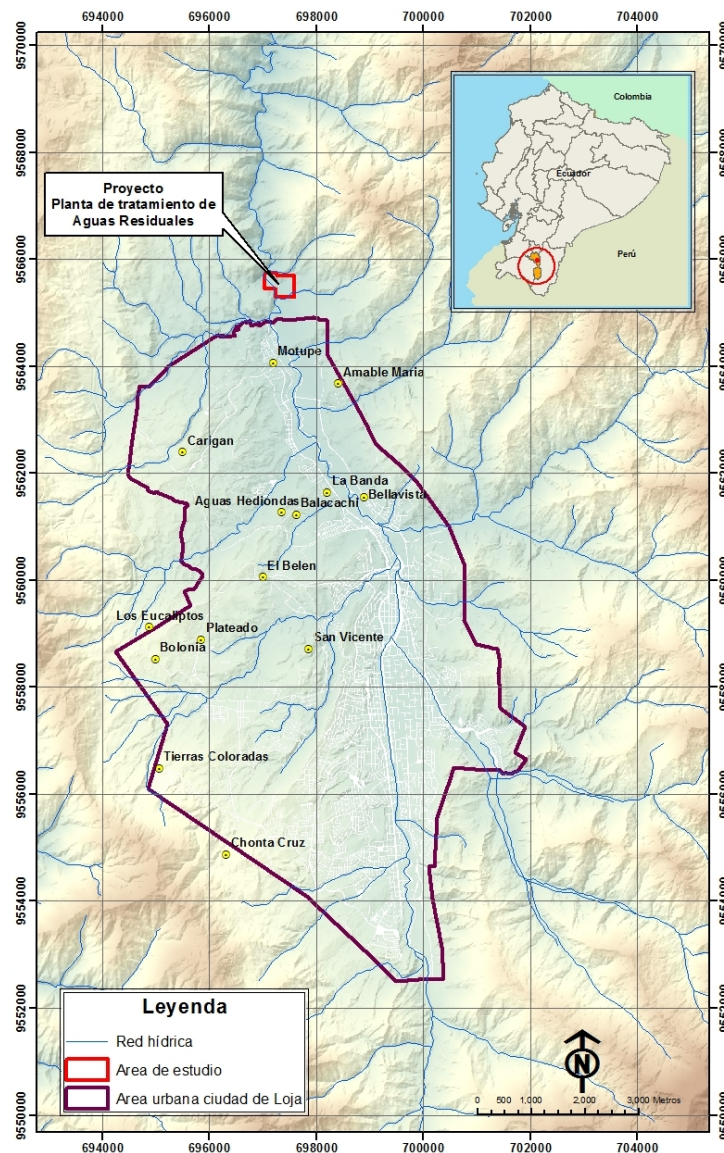


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio con respecto al área urbana de la ciudad de Loja y al Ecuador

2. OBJETIVOS

- Realizar el levantamiento geológico del sector de estudio a fin de determinar las condiciones litológicas en profundidad.
- Elaborar la memoria técnica con recomendaciones para la construcción del reservorio.

3. GEOLOGÍA REGIONAL

La zona del proyecto se encuentra emplazado en la cuenca sedimentaria de Loja (fig. 2), cuya forma elíptica es alargada y estrecha hacia el norte del valle por el sector de Sauces Norte, San Francisco y San Juan. Las series sedimentarias en esta cuenca están tectónicamente divididas por una falla inversa importante post-deposicional con vergencia al oeste (Egüez, et al. 2003), en dos partes, una oriental y otra occidental; yuxtaponiendo diferentes secuencias de sedimentos en sus límites mutuos (Hungerbuhler D. 1997). Dichas series yacen discordantemente sobre el basamento a los dos lados de la cuenca (Litherland et al, 1994).

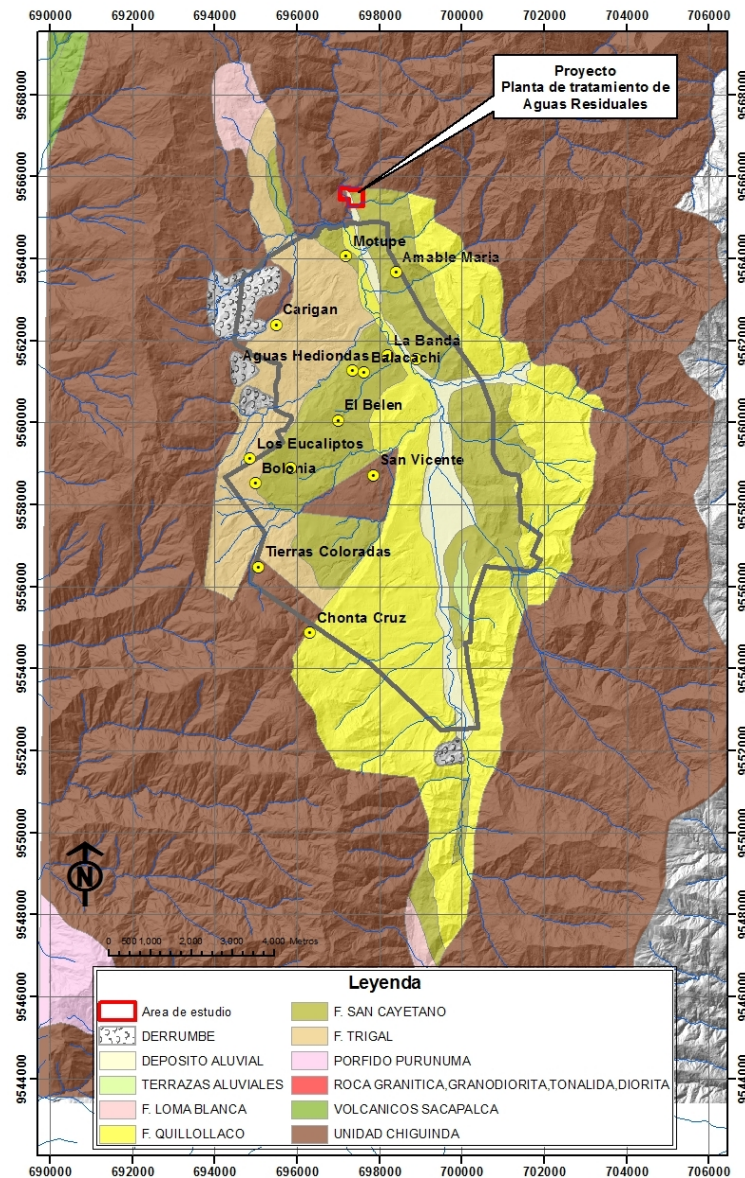


Figura 2. Mapa Geológico Regional, en rojo la zona de estudio con respecto al área urbana de la ciudad de Loja

La litología de esta cuenca en la parte oriental se caracteriza por grandes paquetes de conglomerados que muestran facies típicas asociadas de un ambiente de abanico aluvial con depósitos detríticos dispersos dominado por canales fluviales, se sugiere una edad del Mioceno Tardío (Hungerbuhler D. 1997). Subyace a esta formación con discordancia angular la Formación San Cayetano dividida en tres miembros (Hungerbuhler D. 1997), el miembro superior se caracteriza por la presencia de arenisca y pequeños paquetes de conglomerados, una facie intermedia de limolitas, lutitas, diatomitas, y pequeñas capas de carbón, e improntas de peces y hojas y un miembro inferior de areniscas y conglomerados. La Formación San Cayetano tiene una edad de Mioceno Tardío a Último y descansa discordantemente sobre la Unidad metamórfica Chiguinda.

En el lado oriental de la cuenca la presencia de areniscas de grano grueso con láminas finas de conglomerados y capas menores de limolitas de la Formación Trigal, tiene una edad de 11.1 ± 1.2 Ma., de edad Mioceno Medio (Hungerbuhler D. 1997). Por el sector de Belén cuya formación toma su nombre, hay capas de areniscas gruesas de color marrón que contienen lentes de conglomerados horizontalmente estratificados; las areniscas muestran estratificación cruzada en escalas métricas; los clastos de los conglomerados son en su mayor parte metamórficos con menos clastos volcánicos. Estas capas son asociadas con capas finas de arenisca y en menor de lutitas (Hungerbuhler D. 1997). La Formación Salapa localizada en el área del pueblo Salapa contiene líticos y tobas ricas en vidrio. Las tobas son fuertemente alteradas también a veces completamente transformadas a caolinita y no se observan estructuras primarias. Tiene una potencia aproximada de 10 m (Hungerbuhler D. 1997).

El basamento de la cuenca está constituida por rocas metamórficas de la Unidad Chiguinda constituida por cuarcitas, filitas negras, esquistos gráficas, pizarras y escasas metagrauvacas.

4. GEOMORFOLOGIA

Geomorfológicamente el área se encuentra emplazada en la cordillera Occidental o Real de los Andes, en la cuenca sedimentaria de Loja cuya morfología es de origen estructural formando generalmente superficies y escarpes de cuesta en el lado occidental y terrenos plegados en el lado oriental. Al centro de la misma, formas de origen deposicional compuestas de sedimentos aluviales soportan gran parte del área urbana de la ciudad de Loja.

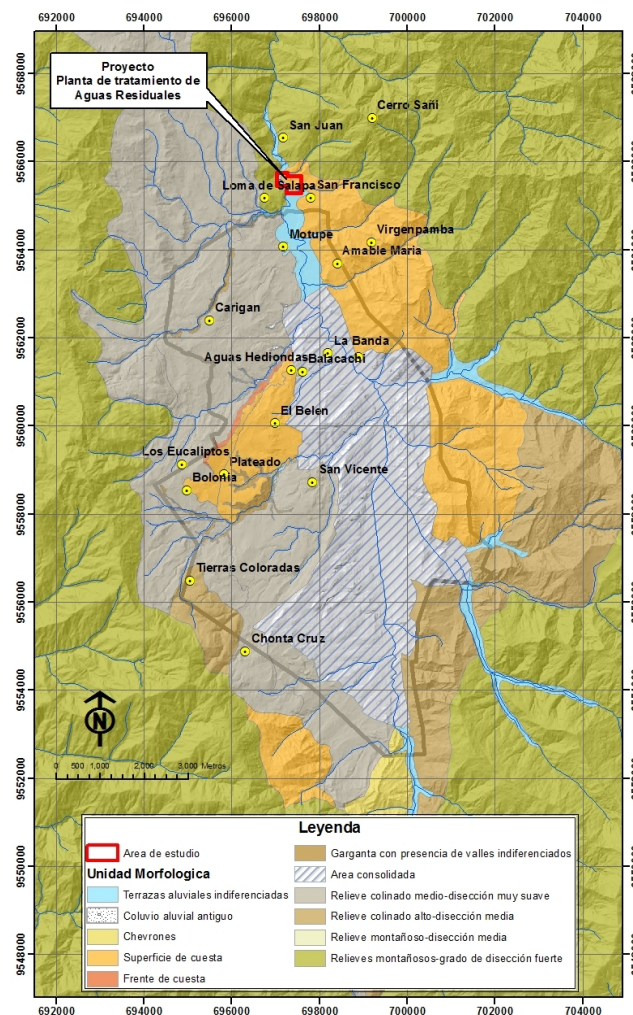


Figura 3. Mapa Geomorfológico Regional, en rojo la zona de estudio con respecto al área urbana de la ciudad de Loja

El área de estudio se da en este ambiente deposicional rellena con sedimentos aluviales acarreados por el divagante río Zamora que en el sitio ha formado meandros abandonados y

hasta 4 niveles de terrazas, estas son terraza baja y cauce actual, terraza media, terraza alta y terraza muy alta, en algunas de las cuales aún se evidencia el escarpe de terraza como un pequeño talud que divide a las unidades.

En los alrededores hacia la parte oriental relieves estructurales colinados con cimas planas de la Fm. San Cayetano y Quillollaco contrastan notablemente con el relieve montañoso del cerro Sañi. Hacia la parte occidental terrenos escarpados colinados como Loma de Salapa, compuestos de rocas metamórficas encierran la cuenca en este sector.

5. GEOLOGIA LOCAL

Toda la infraestructura que compone la planta de tratamiento de aguas residuales se ha diseñado en terrenos deposicionales de tipo aluvial acarreados por el río Zamora, estos aluviales tienen diferente litología poco consolidada y saturada por aguas subterráneas que provienen de la parte alta oriental y por el nivel freático del río Zamora.

De acuerdo a las geoformas mostradas en el mapa de abajo se describirá las litologías presentes en el área de estudio, todas las fotos anexadas han sido tomadas en junio de 2015 en plena época invernal.

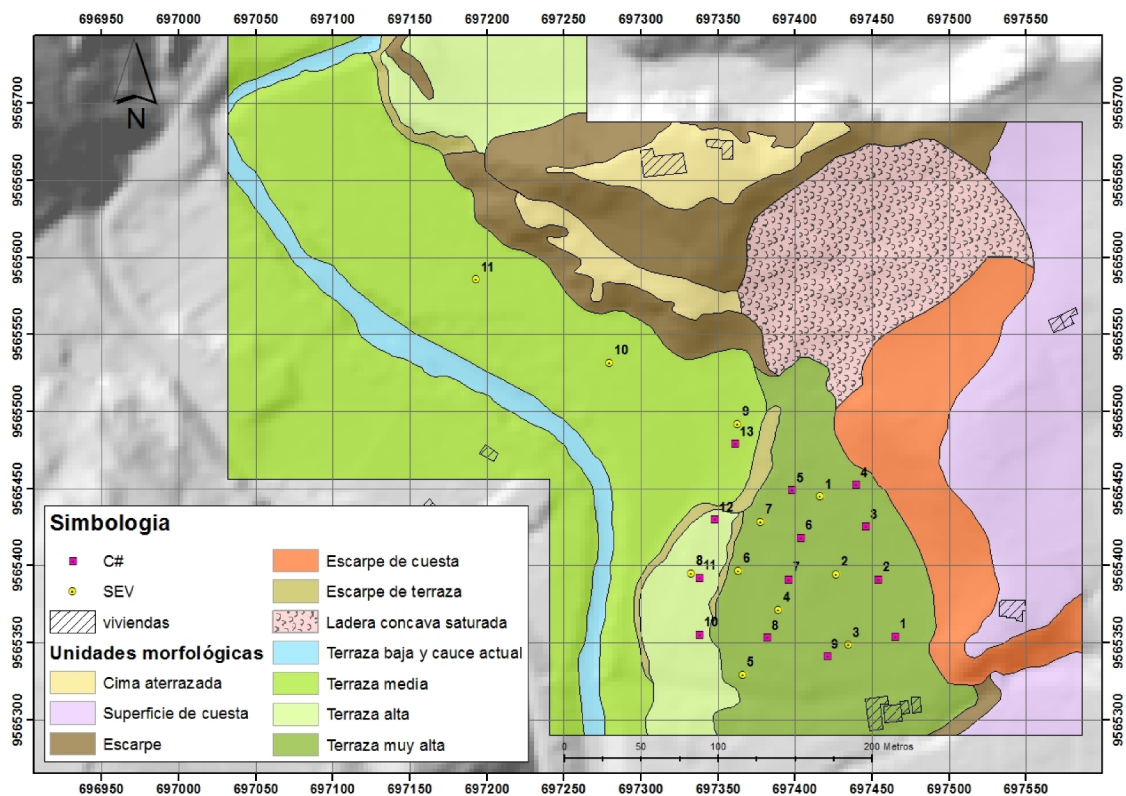


Figura 4. Mapa Geomorfológico del área de estudio

a. Terraza baja y cauce actual

Corresponde al cuerpo de agua del río Zamora, en cuyo lecho contiene grava y arena en pequeñas islas que se forman a lo largo del río que actualmente está siendo explotada por el Consejo Provincial de Loja. Frente a la zona de explotación y zona de stock del Consejo Provincial, el río forma un meandro semicircular que socava el margen derecho (aguas abajo) por erosión hídrica lateral, es decir socava la terraza al nivel de la corriente y luego cae a manera de bloques con pastizal por gravedad que luego son llevado por la corriente, como se observa en las fotografías.

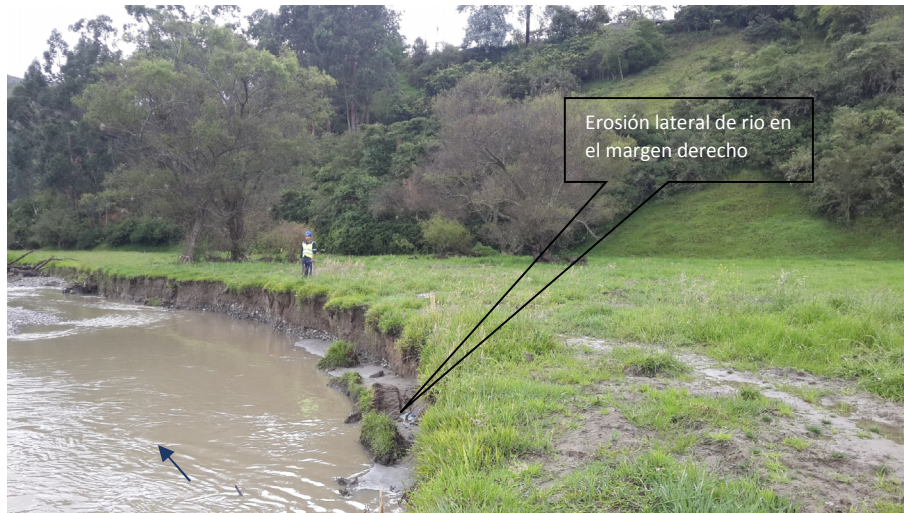


Foto 1. Margen derecho (aguas abajo), nótese que en eventos de crecida del río la terraza media es socavada lateralmente foto del 19-06-2015



Foto 2. Margen derecho pero la foto es tomada aguas arriba, nótese que en eventos de crecida del río la terraza media es socavada lateralmente foto del 19-06-2015



Foto 3. Margen derecha tomada aguas arriba, lo señalado ha sido socavado lateralmente, fecha 02 de septiembre de 2015

b. Terraza media

Constituye el nivel superior al cauce actual, se compone de una capa de limo y arena de hasta 2m de espesor, sobre el cual existe grava de coloración grisácea.



Foto 4. Margen derecho terraza media, nótase la capa de limo y arena de 1.00m de espesor, más abajo gravas grises

La terraza media constituye una amplia área con una pendiente relativamente plana, y se caracteriza por suelos saturados en superficie originando zonas pantanosas debido al mal drenaje de las aguas de escorrentía. La calicata construida en este sector (C#13) evidenció un nivel freático a 1.0m de profundidad, los suelos observados estaban muy saturados que no permitió la excavación más allá de los 2m, por la continua caída de las paredes de la calicata. Constituye una zona con alta probabilidad de inundación por crecida del río Zamora.



Foto 5. Panorámica de la terraza media, a la izquierda el recodo muestra un antiguo meandro producido por el río Zamora



Foto 6. Calicata C#13 colapsada luego de la excavación, el nivel freático está a 1m de profundidad (foto 19-06-2015).

Es necesario indicar que el mapa geomorfológico elaborado muestra niveles de terrazas distintos, el cual sin duda alguna muestra que la historia hidrológica del río Zamora tiene crecidas recurrentes y forma un cauce meándrico que tiende a ser divagante formado lo que se conoce como “llanura de inundación”, caracterizada por la terraza media plana que se encuentra junto al cauce del río y que sufre desborde de las aguas durante las crecidas.

Esta llanura de inundación no es específico para el sitio de estudio, sino que es visible a todo lo largo del río Zamora y sus afluentes Río Malacatos, Jipiro entre otros, sujetas a inundaciones recurrentes. Debido a su naturaleza siempre cambiante, estas llanuras de inundación y otras áreas inundables deben ser tomadas muy en cuenta para la implantación de obras a fin de que no sean afectadas por el desborde del río.

El mapa geomorfológico muestra niveles de terraza y en base a ello se puede elaborar un mapa de susceptibilidad de inundación (ver mapa de abajo) en donde se puede inferir sin datos hidrológicos la probabilidad de inundación, esto se comparó con el mapa de inundaciones elaborado por Gestión de Riesgos cuyo modelo es más completo porque utiliza factores hidrográficos, densidad de flujo, ráster de saturación, uso del suelo y geología. Dando como resultado la misma peligrosidad por inundación en el sitio de estudio.

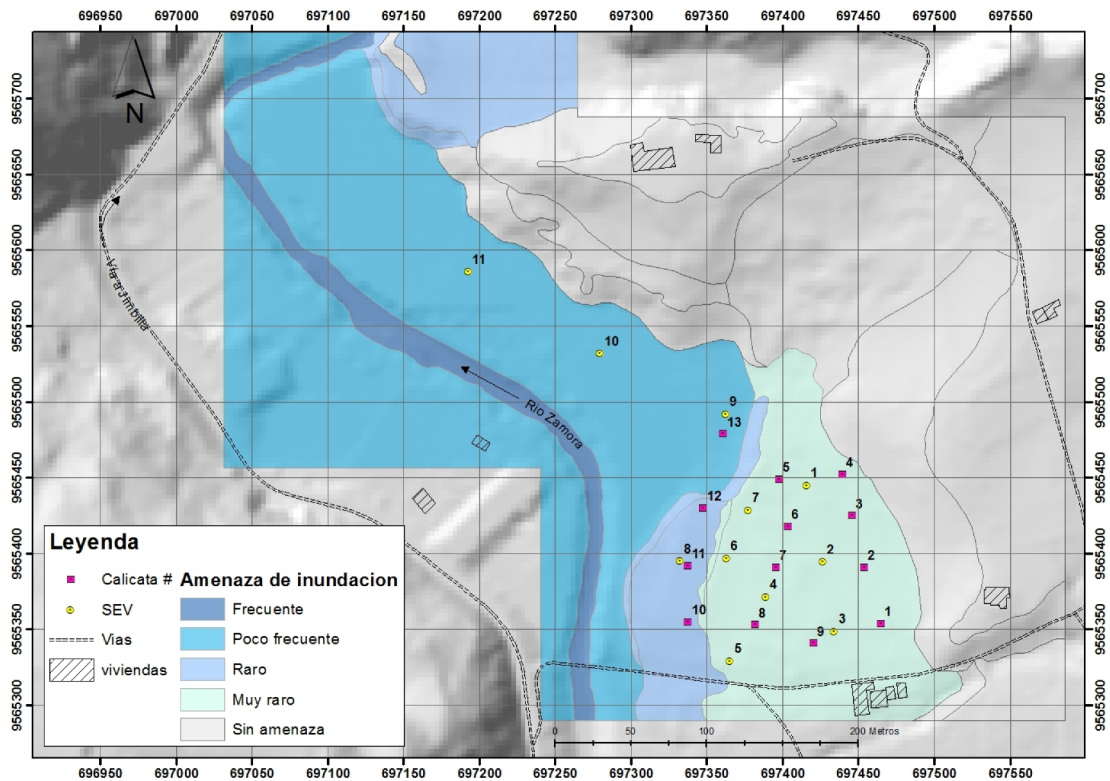


Figura 5. Mapa Geomorfológico del área de estudio

El mapa de susceptibilidad a inundaciones se ha caracterizado de acuerdo a la siguiente clasificación

Amenaza de inundación Frecuente

Corresponde al cauce del río conformado por pequeños islotes de grava y arena y el cuerpo de agua. Generalmente esta zona es inundable en épocas de lluvias intensas.

Amenaza de inundación Poco Frecuente

Corresponde a la terraza media que puede ser afectada por el desborde del río Zamora, en el sitio de estudio la altura de la terraza media es de hasta 1.70m. Es decir que al crecer el río mayor a esta altura, existiría inundación de toda esta zona. Esto se evidencia en el sitio, pues existen grandes acumulaciones de limo y arena en toda la terraza, además de troncos y basura atrapada en ramas de matorrales y pequeños árboles. Históricamente se sabe que el río Zamora si alcanza estos niveles de crecida como se muestra en las fotos siguientes.



Diario La Hora, 26 de febrero de 1999. Desborde del río Malacatos, supero los 2m de altura



Inundación del terminal terrestre por desborde de la quebrada Turunuma y Las Pavas, afluentes del río Zamora, periódico La Hora, febrero de 1999.



Desalojo de troncos en el puente del ITS DAB, después de la crecida del río Malacatos el 12 de octubre del 2008. El agua rebaso los 2.5m de altura

Amenaza de inundación Raro

Existe poca probabilidad de inundación, el nivel de crecida del río Zamora deberá ser superior a los 5m de altura para que afecte a toda la zona de estudio.

Amenaza de inundación Muy Raro

Existe muy poca probabilidad de inundación, el nivel de crecida del río Zamora deberá ser superior a los 10m de altura para que afecte a toda esta zona.

De acuerdo a este análisis se deberá realizar muros de hormigón que proteja la ribera del río Zamora en el área de estudio a fin de evitar la erosión lateral del río y sobre todo evitar inundaciones por desborde del mismo.

c.Terraza alta

Forma un nivel superior a la terraza media, el límite con la anterior unidad es un escarpe subvertical de hasta 2m de altura aproximadamente, tiene una pendiente de hasta 6.5% (3.7°) Constituida por suelo orgánico de hasta 0.50m de profundidad, seguido de una capa arcillosa grisácea de 0.30m de espesor, 2,30m de espesor de arena de color gris de baja consistencia, no consolidada. A 3m de profundidad se encontró una grava de color café claro con clastos metamórficos angulares de 15 a 35cm de diámetro aproximadamente. Los clastos metamórficos indican que de tiempo en tiempo existían aportes gravitacionales de las laderas superiores producidos por coluviones, estos son más notorios en la terraza muy alta.

d.Terraza Muy alta

Se caracteriza por una pendiente suave de hasta el 6.2% (3.2°), se caracteriza porque en superficie contiene clastos metamórficos de hasta 0.30m de diámetro, estos clastos también se encuentran formando pequeños lentes en profundidad, lo que indica que además del aporte de sedimentos fluviales, existía aportes gravitacionales provenientes de las partes altas metamórficas que bajaron quizás en forma de flujos evidenciado por su matriz arcillosa. De hecho tanto la terraza alta y muy alta forman en superficie un pequeño abanico aluvial, lo que se manifiesta en la alternancia de litologías clásticas finas y gruesas en algunos casos sin continuidad lateral, es decir forman estratos lenticulares que lateralmente no tienen correlación.

Todas estas litologías no están consolidadas y se encuentran saturados bajo un nivel freático superficial que se encuentra entre 3.60 a 4.0m de profundidad en toda esta zona.

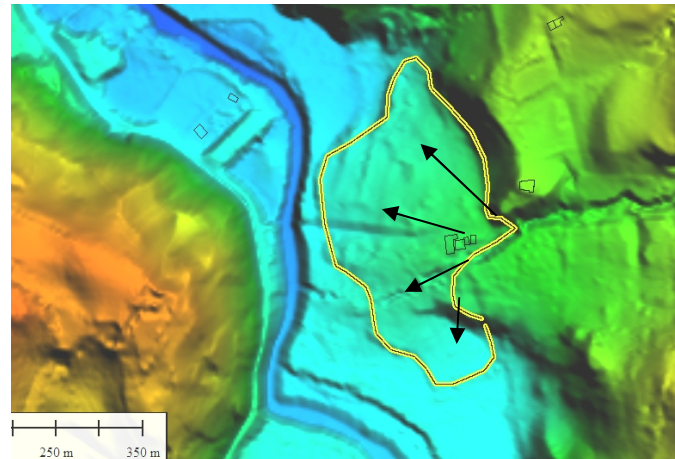


Figura 6. Mapa de sombras del área de estudio, las flechas muestran la dispersión de los sedimentos sobre las terrazas aluviales



Foto 7. Panorámica de las terrazas altas y muy altas, las flechas indican como es la dispersión de sedimentos por aportes de las partes superiores

Según el diseño de construcción de los tanques de la planta de tratamiento de aguas residuales, estos se encuentran en esta zona de terrazas altas y muy altas y es donde se ha concentrado el estudio geotécnico debido a que es la zona donde existirá la mayor carga sobre el suelo, debido a ello a fin de conocer las capas en profundidad se realizaron sondeos eléctricos verticales como un método de prospección geofísica.

e. Escarpe de terraza

Forma una grada en la separación de los niveles de terraza, constituida de arcilla y gravas localmente, presenta un desnivel de hasta 2.0m de altura.

f. Escarpe, escarpe de cuesta

Constituyen laderas rectas de pendiente fuerte y tienen diferentes litologías, así en la parte sur junto a la vía de acceso tienen pendientes entre el 40 al 70% y está compuesto de rocas metamórficas tipo esquistos, y esquistos grafiticos (color gris a negro) medianamente meteorizados en superficie, pero se muestran compactos al martillarlos. Tienen rumbos que varía de N67E a N70E y tienen buzamientos de 30 a 45° hacia el NW.



Foto 8. Afloramiento metamórfico por la vía de acceso hacia San Juan y San Francisco



Foto 9. En esta panorámica se aprecia al sur del área de estudio el escarpe de cuesta de tipo metamórfico

En el sector norte del área de estudio al contrario del área sur, estos escarpes son más pronunciados con pendientes mayores al 70% pudiendo localmente incluso, formar escarpes subverticales. Están compuestos de rocas sedimentarias detríticas, así en la parte alta sobre la cota 2020 m.s.n.m, se observa como un aglomerado con clastos gruesos subangulares de hasta 50cm de diámetro, compacto y se lo observa estable en taludes de 80° por la vía a San Juan y afloramientos naturales como se observa en las fotos de abajo.



Foto 10. Afloramiento natural de aglomerado sedimentario, nótese en la base clastos de hasta 50cm de diámetro



Foto 11. Aglomerado sedimentario por la vía a San Juan, nótese el talud casi vertical que se mantiene relativamente estable

El aglomerado sedimentario en esta zona, es relativamente estable aun en taludes muy pronunciados, por lo que no representa un peligro por movimientos en masa. Sin embargo en condiciones de alta humedad pueden ser funcionales.

Hacia la base de esta secuencia en el límite con la terraza media, el escarpe está conformado por un conglomerado que contiene clastos metamórficos pequeños con diámetros de hasta 10cm, recubierto superficialmente por una capa de 1m de potencia de un coluvión que contiene clastos de hasta 20cm de diámetro.

Toda esta zona escarpada no muestra signos de movimientos en masa, caídas de rocas por gravedad son visibles y se evidencian como clastos dispuestos de forma desordenada en la superficie de las laderas.



Foto 12. Cantos rodados de la zona escarpada. Foto tomada al norte por la desembocadura de la QB. La Florida



Foto 13. Afloramiento de conglomerado en la parte baja recubierto de coluvial con clastos metamórficos en la parte superior, foto tomada al nor-este del área de estudio en el límite con la terraza media.

g. Cimas aterrazadas, superficie de cuesta

Constituyen zonas relativamente estables debido a su pendiente suave a plana, por lo que generalmente existen viviendas allí construidas. Se encuentran en la parte norte y este del área de estudio y están sobre cotas mayores a 2015 m.s.n.m. La parte más oriental del área de estudio, tiene un basamento metamórfico, pero en superficie contiene material clástico coluvial que debido al mal drenaje de ciertas zonas contiene los suelos saturados con zonas encharcadas y localmente con reptación, sobretodo la zona que se encuentra sobre el deslizamiento presente en el área de estudio.

En la parte norte, la cima aterrazada contiene una vivienda construida sobre el aglomerado sedimentario, toda esta zona se evidencia estable.

h.Ladera cóncava saturada

Constituye toda una zona de deslizamiento ubicado en la parte meridional del área de estudio, donde se puede apreciar zonas saturadas debido a la escorrentía superficial que proviene de la parte superior, se evidencia zonas de fracturas y reptación. El movimiento es combinado, es decir un flujo con movimiento traslacional.



Foto 14. Afloramiento de conglomerado en la parte baja recubierto de coluvial con clastos metamórficos en la parte

Para evitar su continuo movimiento es necesario recolectar el agua de la parte superior por la vía a San Juan, y canalizarla a través de una alcantarilla y tubería hacia la parte baja, y de esta manera evitar su saturación que provoca el movimiento.

La recolección de las aguas se deberá realizar mediante la construcción de un dren que deberá estar ubicado en la parte alta o cabecera del deslizamiento por la vía a San Juan (ver mapa de abajo), además se indica que un canal de drenaje deberá estar ubicado en la parte alta de las terrazas aluviales a fin de que recolecte todas las aguas superficiales que provienen de la parte alta, como se indica en el mapa de abajo.

Estas medidas permitirán drenar la ladera donde actualmente se produce el deslizamiento y con esto evitar que se siga produciendo el movimiento. Sin embargo a fin de mejorar la estabilidad del terreno es necesario realizar terrazas (corrección geométrica) y sembrar vegetación herbácea sobre el mismo a fin de evitar su meteorización.

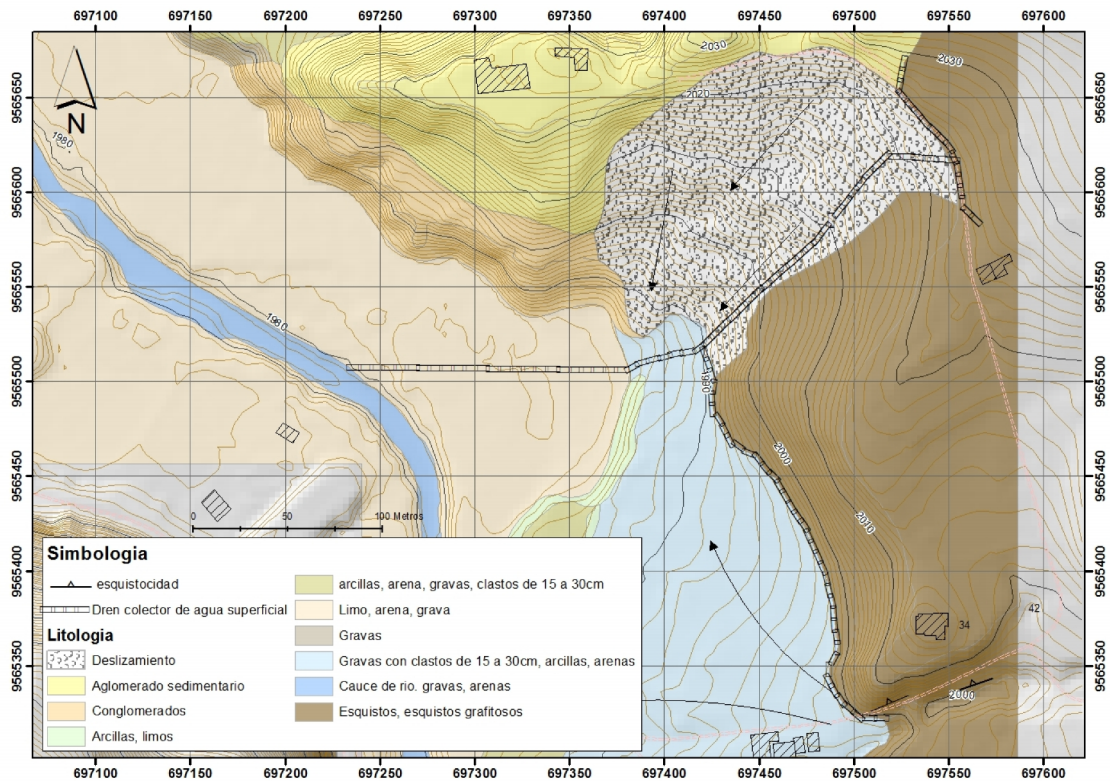


Figura 7. Ubicación del dren sugerido para la recolección de aguas superficiales

6. TRABAJO GEOFISICO

A fin de determinar de modo indirecto las capas en profundidad se realizó trabajo geofísico de resistividad eléctrica mediante Sondeos Eléctricos Verticales SEV mediante la utilización del equipo Terrameter System (ver foto)

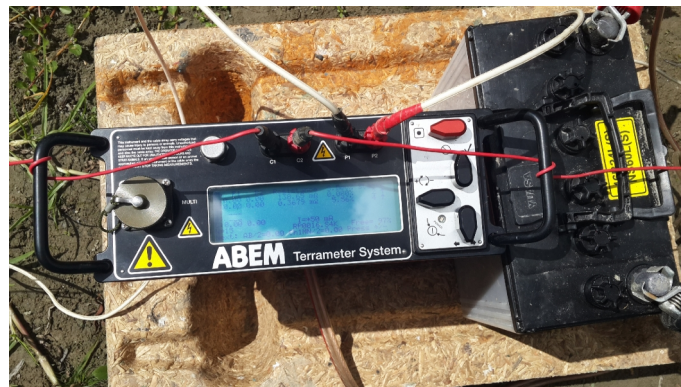


Foto 15. Equipo Terrameter System utilizado para el estudio geofísico

En lo que respecta al método se utilizó el Sondeo Schlumberger que consiste en separar progresivamente los electrodos inyectores A y B dejando los electrodos detectores M y N fijos en torno a un punto central. La representación de este sondeo muestra en ordenadas $\dots a$ ($W \cdot m$) y en abscisas la distancia $AB/2$ (m). En este sondeo el efecto de las heterogeneidades irrelevantes es menor pues sólo se mueven el par de electrodos inyectores A y B.

El proceso consiste en la toma de resistividades aparentes a través de electrodos, que deben estar alineados y lo más recto posible, aumentando progresivamente la distancia entre ellos manteniendo un punto fijo central y anotando los resultados en fichas técnicas.

Si la distancia entre los electrodos AB aumenta, la corriente circula a mayor profundidad pero su densidad disminuye.

La corriente de I_a penetrara por el punto A en el subsuelo, esta regresará por el electrodo B, con una I_b volviendo al dispositivo para cerrar el circuito.

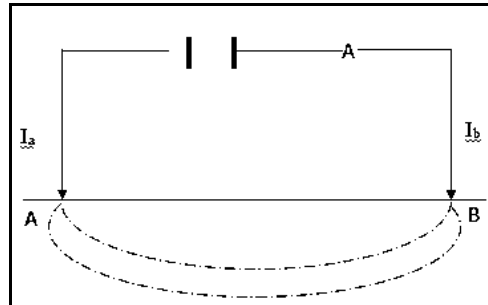


Figura 8. Circuito de emisión de corriente.

El arreglo o configuración empleado es el de Schlumberger el cual se trata de una composición simétrica de los electrodos AMNB dispuestos en línea, donde la distancia de los electrodos detectores MN es mucho menor que la de los inyectores AB, las ventajas de este método es que esta configuración es menos sensible a las variaciones laterales del terreno o buzamiento de los estratos, debido a que los electrodos de potencial permanecen inmóviles, además de que la medición es más despejada, ya que sólo se desplazan los electrodos de corriente.

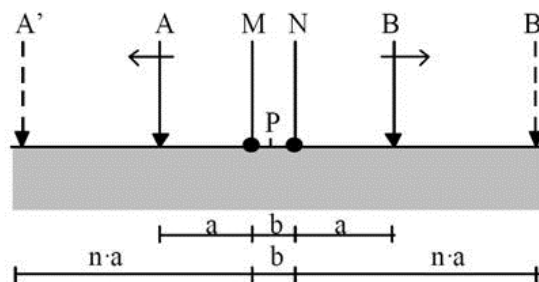


Figura 9. Sondeo Schlumberger. Los electrodos A y B se abren progresivamente mientras M y N están fijos.

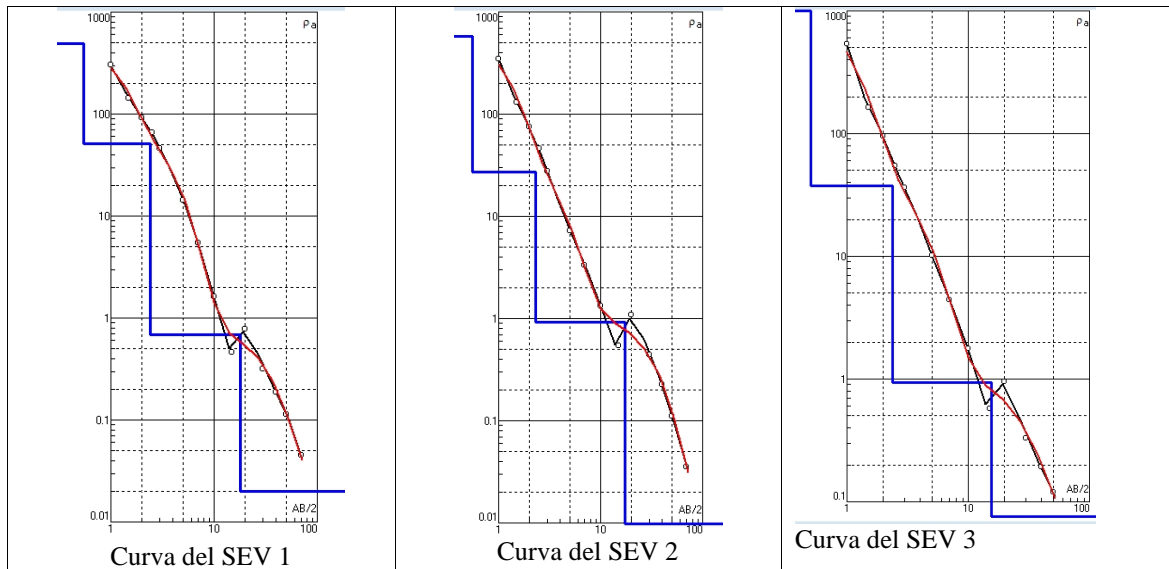
Los datos de espaciamientos tanto de AB y MN obtenidos en el campo fueron anotados en fichas para posteriormente pasarlos al programa IPI2Win, desarrollado por la Moscow State University, Geological Faculty, Department Of Geophysics. El cual permite realizar interpretaciones interactivas automatizadas y/o semi-automatizadas de SEV a partir de datos obtenidos por cualquiera de los arreglos más populares utilizados en la prospección eléctrica y realizar de esta forma la interpretación de la curva y los perfiles geoelectricos.

• Sondeos Eléctricos Verticales

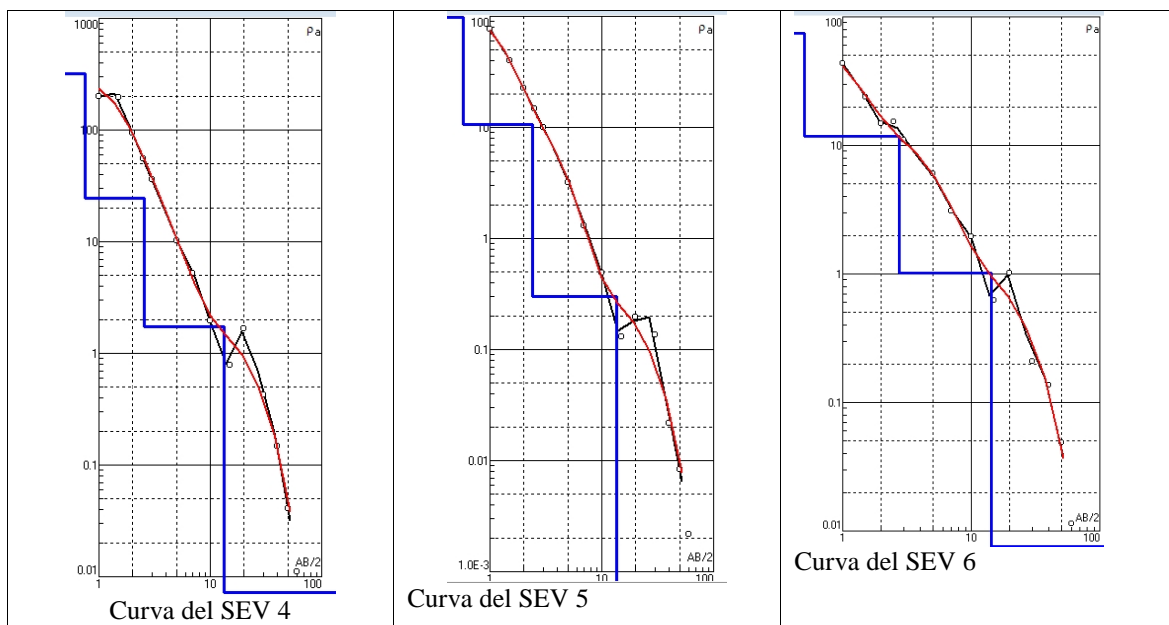
En las tablas siguientes se muestra la resistividad aparente, la potencia o espesor del estrato y la profundidad a partir del nivel del terreno en metros.

SEV Nro	ρ	Potencia estrato (m)	Profundidad (m)
SEV 1	495	0.545	0.545
	51.5	1.84	2.39
	0.686	15.6	18
	0.0198		

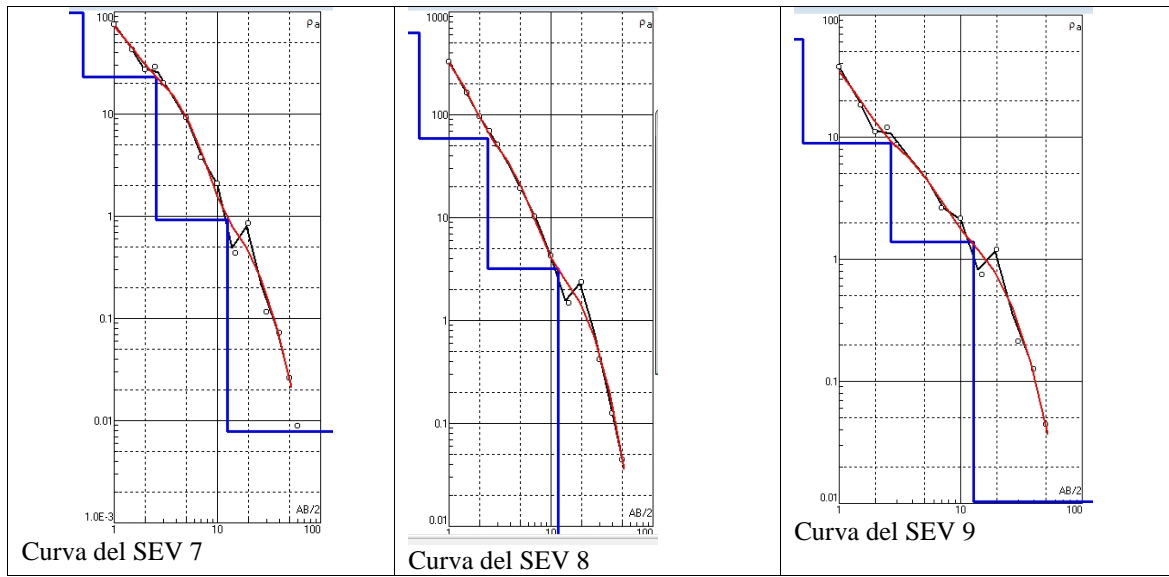
SEV Nro	ρ	Potencia estrato (m)	Profundidad (m)
SEV 2	572	0.55	0.55
	27.1	1.77	2.33
	0.929	15.1	17.4
	0.0098		
SEV 3	1005	0.5	0.5
	37.5	1.89	2.39
	0.934	13.2	15.6
	0.0413		



SEV Nro	ρ	Potencia estrato (m)	Profundidad (m)
SEV 4	320	0.746	0.746
	24.7	1.78	2.53
	1.75	10.7	13.3
	0.0012		
SEV 5	127	0.572	0.572
	10.7	1.82	2.39
	0.303	11.2	13.6
	0.0001		
SEV 6	74.1	0.5	0.5
	11.8	2.27	2.77
	1.02	11.7	14.4
	0.00077		



SEV Nro	ρ	Potencia estrato (m)	Profundidad (m)
SEV 7	126	0.5	0.5
	22.9	2.07	2.57
	0.922	9.94	12.5
	0.0078		
SEV 8	623	0.506	0.506
	58.5	1.9	2.41
	3.18	9.38	11.8
	0.0063		
SEV 9	62.9	0.5	0.5
	8.97	2.17	2.67
	1.4	10.1	12.8
	0.0103		



SEV Nro	ρ	Potencia estrato (m)	Profundidad (m)
SEV 10	140	0.582	0.582
	30.7	2.09	2.67
	1.44	8.78	11.4
	0.0071		
SEV 11	19.6	0.5	0.5
	2.265	2.25	2.75
	0.397	11	13.7
	0.0022		

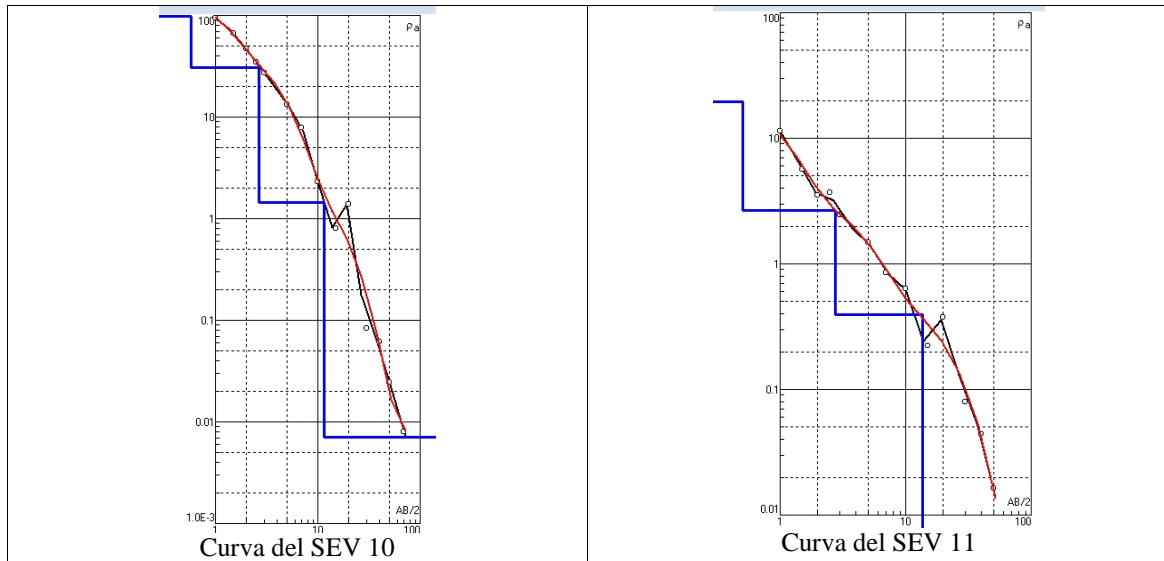


Foto 16. Jornada de campo con el Equipo Terrameter System utilizado para el estudio geofísico



Foto 17. SEV 9 con el Equipo Terrameter System, al fondo el deslizamiento activo



Foto 18. SEV 10 con el Equipo Terrameter System, en la terraza media.

La imagen de abajo muestra la disposición de las calicatas y de los sondeos (SEV) realizados

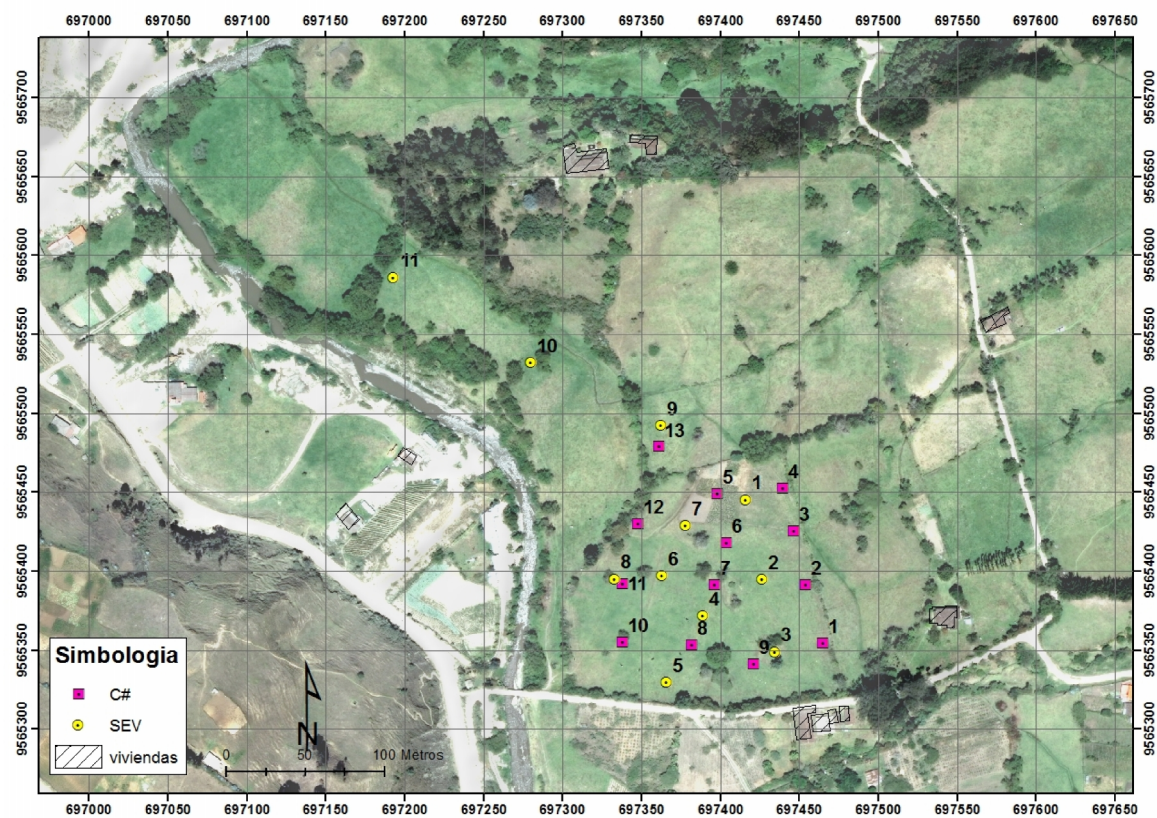


Figura 10. Mapa de ubicación de calicatas y SEV's.

Según los datos que se muestran de los SEV's 1,2,3,4,5,6,7, 8 en la tabla de abajo se puede evaluar las litologías presentes, apoyados de la información obtenida de las calicatas construidas.

	SEV 1	SEV 2	SEV 3	SEV 4	SEV 5	SEV 6	SEV 7	SEV 8
ρ_1	495	572	1005	320	127	74.1	126	623
ρ_2	51.5	27.1	37.5	24.7	10.7	11.8	22.9	58.5
ρ_3	0.686	0.929	0.934	1.75	0.303	1.02	0.922	3.18
ρ_4	0.0198	0.0098	0.0413	0.0012	0.0001	0.0077	0.0078	0.0063
profundidad(m)	18	17.4	15.6	13.3	13.6	14.4	12.5	11.8

Como se observa los datos de resistividad (ρ) el primer horizonte geoléctrico tiene valores que oscilan entre 74 a 1000 Ω -m que se refiere a un capa de arcilla que contiene clastos metamórficos de hasta 30 cm de diámetro, pudiendo localmente incluso ser mayores, el aumento o disminución de las resistividad se debe a la presencia o ausencia de clastos metamórficos. Esta capa tiene un espesor que varía entre 0.5 a 0.8m.

La segunda capa tiene un espesor que varía entre 1.7 a 2.3m y tiene valores de resistividad que varía entre 11 a 59 Ω -m, que podría representar un estrato arcilloso con lentes de arena.

La tercera capa tiene un espesor que varía entre 9 a 16m y tiene valores de resistividad que varía entre 0.6 a 3 Ω -m, que podría representar un estrato de arena con intercalaciones de arcilla y contenido de humedad elevado o sedimentos clásticos finos saturados con agua subterránea que proviene de la escorrentía superficial.

La capa final tiene valores de resistividad bien bajos de 0.04 a 0.001 que sin duda alguna representa un nivel saturado de aguas subterráneas que provienen del río Zamora (Nivel freático) la litología aquí podría representar sedimentos clásticos saturados.

Con respecto a los SEV's 9, 10 y 11, la tabla siguiente muestra los valores en resumen:

	SEV 9	SEV 10	SEV 11
ρ_1	62.9	140	19.6
ρ_2	8.97	30.7	2.26
ρ_3	1.4	1.44	0.397
ρ_4	0.0103	0.0071	0.0022
profundidad(m)	12.8	17.4	13.7

Los SEV's 9, 10 y 11 están dispuestos en la terraza media, y la capa superficial representa un espesor de 0.6m de limo y arcilla, localmente en superficie muestra arena producto de las subidas del nivel del río en épocas de crecida.

La segunda capa tiene valores de resistividad que varía entre 2.26 a 30.7 Ω -m que representan gravas finas o arenas gruesas con alto contenido de humedad y tienen un espesor promedio de hasta 2.3m, Por debajo de este nivel se encuentran resistividades bajas que indican la presencia de material conductivo, que varía entre 0.4 a 1.4 Ω -m y tiene un espesor de 8 a 11m. Un nivel más saturado tiene valores menores a 0.01 Ω -m.

Las resistividades altas están claramente asociadas a arenas y gravas mientras que el nivel conductivo basal podría estar asociado con arcillas saturadas.

A fin de poder establecer la geología en profundidad se correlacionó los datos litológicos de las calicatas (descripción de calicatas en el informe geotécnico) con los SEV's de esta manera se pudo construir los perfiles geológicos combinados con perfiles geoelectricos, estos se muestran en la parte de anexos.

Tomografía eléctrica

La técnica de la Tomografía Eléctrica emplea los valores de resistividad aparente medidos con dispositivo geoelectrico sobre la superficie del terreno. La relación entre la resistividad aparente y la resistividad verdadera, es una relación compleja. Para determinar la resistividad verdadera del subsuelo a partir de los valores de la resistividad aparente, se aplica la técnica de la "inversión", mediante la cual se obtiene el modelo real del subsuelo. El dispositivo utilizado es dipolo-dipolo por polarización inducida

Mediante este método se exponen los resultados obtenidos tras aplicar tomografía eléctrica. El suelo en cuestión ha sido relevado en condiciones de mediana a alta humedad. Se utilizó el dispositivo electrodico dipolo - dipolo, aplicados a dos líneas, para lo cual se ha utilizado un tomógrafo con 141 electrodos en 280m de longitud del perfil con espaciamientos de 2m entre electrodos para la línea 1 y de 81 electrodos con espaciamiento de 2m con una longitud del perfil de 160m para la línea 2. Este método geofísico ha brindado una convincente distribución de los materiales del subsuelo, sustentado en la descripción de calicatas próxima a dicho perfil, además de SEV's y a los controles de campo realizados.

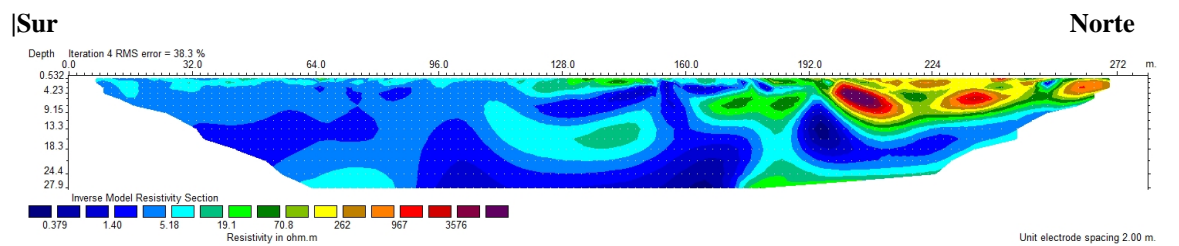
El análisis realizado con SEV's y calicatas interpretado en perfiles geológicos no difiere mayormente con la tomografía realizada, debido a que los materiales encontrados tienen la misma tendencia y valores de resistividad, es decir la fuente de sedimentación aluvial y el aporte gravitacional de sedimentos de la parte alta permiten afianzar el modelo antes descrito. Todos los materiales en la zona de estudio son mayormente sedimentos finos poco consolidados y saturados formando lentes intercalados con gravas y horizontes de rocas angulares en una matriz

arcillosa. No se hizo tomografía eléctrica en la terraza media debido al alto contenido de agua en superficie.

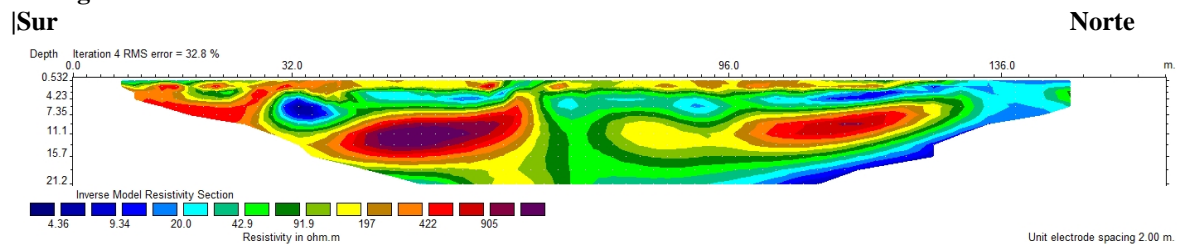


Figura 11. Mapa de ubicación de la línea de tomografía eléctrica, las flechas indican la posición del observador en el perfil geoelectrico 2D.

Tomografía Perfil 1



Tomografía Perfil 2



De los perfiles realizados se puede observar que las resistividades más bajas corresponden a materiales finos saturados, mientras que los valores de 200 a 400 Ωm corresponden a gravas, las resistividades mayores a 400 Ωm son por la presencia de clastos metamórficos en su composición.

Los perfiles arriba indicados se encuentran en mayor detalle en anexos



Foto 19. Arreglo eléctrico para tomografía eléctrica por IP (polarización inducida).



Foto 20. Arreglo eléctrico para tomografía eléctrica por IP (polarización inducida).



Foto 21. Equipo Terrameter System

7. CONCLUSIONES

El trabajo realizado permite tener las siguientes conclusiones:

- Las litologías presentes en el área de estudio geológico son de tipo deposicional que están conformadas por las terrazas aluviales cuaternarias del río Zamora compuesta por arcillas, limos, arenas y gravas. Estas terrazas se encuentran recubiertas en la parte sur del área por un abanico aluvial con material procedente de la parte alta la característica de estos sedimentos son los clastos metamórficos angulares de hasta 30cm de diámetro en una matriz arcillosa, además de arcillas arenosas.
- Este abanico aluvial que recubre parcialmente las terrazas alta y muy alta, se manifiesta en la alternancia de litologías clásticas finas y gruesas en algunos casos sin continuidad lateral, es decir forman estratos lenticulares que lateralmente no tienen correlación. Todas estas litologías están poco consolidadas y se encuentran saturados bajo un nivel freático superficial que se encuentra entre 3.60 a 4.0m de profundidad en toda esta zona, agua que proviene de la escorrentía superficial.
- Estas litologías superficiales debido a la presencia de agua en sus poros tienden a provocar subsidencias con cargas excesivas.
- Litologías sedimentarias Miocénicas están representadas por conglomerados y aglomerados de la Fm. Quillollaco (Kennerley, 1973) y se encuentran en la parte alta del área de estudio, y se caracteriza por presentar un relieve escarpado.
- Un relieve más suave con cimas planas está conformado por el basamento metamórfico de la Unidad Chiguinda, las litologías visibles en esta área son esquistos y esquistos grafiticos.
- En cuanto a riesgos geológicos existe peligrosidad por un deslizamiento activo en la parte meridional del área de estudio, donde existen cicatrices de movimiento y reptación, se trata de un movimiento combinado flujo con movimiento traslacional.
- Existe amenaza por inundación en épocas de crecidas de la terraza media además de la continua erosión lateral hídrica del río Zamora que poco a poco socava el talud de la terraza aumentando su cauce.
- En cuanto al trabajo geofísico se puede observar que las altas resistividades (entre 70 a 1000 $>200 \Omega\text{-m}$) se encuentran a nivel superficial hasta una profundidad de 0.8m. Por debajo de este nivel se encuentran resistividades bajas que varía entre 11 a 59 $\Omega\text{-m}$ con espesores de 1.7 a 2.3m. Más abajo las resistividades varían entre 0.6 a 3 $\Omega\text{-m}$ y con un espesor de 9 a 16m que pueden representar capas de arena con intercalaciones de arcilla y contenido de humedad elevado por la escorrentía superficial. Al fondo resistividades muy bajas entre 0.04 a 0.001 $\Omega\text{-m}$ indican la presencia de material conductivo. Las resistividades altas están claramente asociadas a arenas y gravas mientras que el nivel conductivo basal es asociado con arcillas.
- El análisis realizado con SEV's y calicatas interpretadas en perfiles geológicos no difiere mayormente con la tomografía realizada, los materiales encontrados tienen la misma tendencia y valores de resistividad, es decir la fuente de sedimentación aluvial y el aporte gravitacional de sedimentos de la parte alta permiten afianzar el modelo antes descrito.
- Todos los materiales en la zona de estudio son mayormente sedimentos finos poco consolidados y saturados formando lentes intercalados con gravas y horizontes de rocas angulares en una matriz arcillosa. No se hizo tomografía eléctrica en la terraza media debido al alto contenido de agua en superficie

8. RECOMENDACIONES

De lo anteriormente mencionado se recomienda lo siguiente:

- Para la construcción de la planta de aguas residuales de la ciudad de Loja es importante considerar que los sedimentos aluviales tienden a provocar subsidencias por lo que es necesario realizar un mejoramiento de suelo.
- Paralelo a la conformación del terreno se deberá realizar drenes en la parte superior de las terrazas aluviales (del terreno plano) a fin de minimizar la saturación de los suelos. Este drenaje se deberá realizar a la profundidad de 5m del nivel actual. Igualmente al pie del deslizamiento se deberá canalizar el agua que fluye a través de una alcantarilla que desemboque en el río Zamora.
- Es muy importante se realice corrección geométrica de la ladera donde actualmente existe un deslizamiento activo, donde además se deberá recolectar o canalizar las aguas de escorrentía superficial de la parte alta (por la vía a San José) a fin de minimizar la movilidad del terreno.
- Se deberá realizar muros de hormigón que proteja la ribera del río Zamora en el área de estudio a fin de evitar la erosión lateral del río y sobre todo evitar inundaciones por desborde del mismo.
- La construcción de un puente nuevo (en el sitio del puente actual) es importante para el acceso. El estribo izquierdo (aguas abajo) del puente se deberá anclar en la roca metamórfica que aflora en este margen, mientras que el estribo derecho se lo realizara sobre los sedimentos aluviales.
- Todos los trabajos de mejoras se deberán realizar en lo posible en época de verano.

Atentamente,

Ing. Galo Guamán Jaramillo

GEOLOGO-MINERO

DOCENTE INVESTIGADOR-UTPL

Telef: 07 370 1444 ext 3207

Email: gaguaman2@utpl.edu.ec

9. Bibliografía

- a) **Aster Jean Louis**, 2005. “Geofísica Aplicada a la Hidrogeología”, editorial Paraninfo, Madrid, 1975. **Apuntes De Geología General** Texto Del Ing. Edison Navarrete Profesor De Geología General Fict – Espol
- b) **Castro D. Antonio**, Petrografía Básica, 1989, Edit. Paraninfo S. A., Madrid-España.
- c) **Dirección General de Geología y Minas (DGGM)** 1979. Hoja Geológica, Loja y Gonzanamá. Escala 1:100,000.
- d) **Duque, P.** 2000. **Léxico Estratigráfico del Ecuador**. CODIGEM.
- e) **DNDC & ESPE**. 1991. Mapa sismotectónico del Ecuador, escala 1:1 000 000. Egred J. 2004. Catálogo de terremotos del Ecuador, Intensidades. Resumen de efectos de los terremotos de grado VIII. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- f) **Egüez, A., Alvarado, A., & Yepes, H.**, 2003, Mapa de fallas y pliegues cuaternarias de Ecuador y regiones oceánicas adyacentes. U. S. Geological Survey – Escuela Politécnica Nacional, Programa Internacional de la Litosfera, Grupo de Trabajo II-2. OFR 03-289.
- g) **FOUCALT, A. & RAOULT, J-F.** 1985. “Diccionario de Geología”. Primera Edición. Editorial Masson, S.A Barcelona-España.
- h) **Henry s Romer, 1969**. Fotogeología Aplicada. Editorial Universitaria de buenos Aires Argentina. 125 pag.
- i) **HUNGERBUHLER Dominik, 1997**, Neogene basins in the Andes of southern Ecuador: evolution, deformation and tectonic implications, Swiss federal Institute of Zurich.
- j) **S.A.Drury. 1987**, Image interpretation in Geology. Second edition. Published by Chapman & Hall. London
- k) **LITHERLAND, M., ASPDEN, J. A., & JEMIELITA, R.A.** 1994. “The metamorphic belts of Ecuador”. Overseas Memoir 11, BGS, Keyworth, United Kingdom. 147p.
- l) **Max Derruau**. Geomorfología. Ediciones Ariel.S.A. Barcelona.
- m) **Kennerley, J.B.** 1973. Geology of Loja Province Southern Ecuador. Institute of Geological Sciences. Overseas Geology and Mineral Resources, Photogeological Unit, No. 23, 34 pp.GGS, Nottingham
- n) **VAN ZUIDAM R.A.** 1985. “Aereal Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping”. Printed Smith Publishers. Netherlands
- o) **WHITTEN, D.G.A & BROOKS, J.R.V.** 1980. “Diccionario de Geología”. Primera Edición en Castellano. Editorial Alianza. Madrid-España.
- p) **TARBUCK, E.J y Lutgens, F.K.** 1999. “Ciencias de la Tierra”. Prentice Hall. ISBN edición latinoamericana. Madrid-España.