



GIS Aplicado a la LT 220 kV Horqueta – Pedro Juan Caballero

Juan Manuel Palmieri, Andrés Corna, Rose Marie Gil de Stark

ANDE

PARAGUAY

RESUMEN

El presente trabajo busca ser un modelo para la elaboración de una base de datos georeferenciada completa y ordenada de las líneas de transmisión construidas en toda la extensión del territorio paraguayo. Actualmente se cuenta con aproximadamente 4500 km. de líneas de 500, 220 y 66 kV, con más de 10.000 puntos de ubicación de torres a lo largo del trazado de las mismas.

Para realizar una demostración del potencial GIS aplicada a las LTs se tomó como ejemplo la LT 220kV Horqueta – Pedro Juan Caballero, utilizando como soporte el software Arc View.

Los datos colectados guardan relación con los diferentes estudios geotécnicos realizados, datos de la topografía, tipo de fundaciones, tipo de torres, aisladores, puestas a tierra y sus mediciones de resistencia, vanos, progresivas, flechas, ubicación de empalmes de conductores y CG, caminos de acceso, franja de servidumbre, zonas críticas de la línea y puntos notables, todas éstas informaciones relacionadas con su posición geográfica las cuales fueron relevadas a lo largo de la traza de la línea.

El trabajo hace hincapié en el área de la geotécnica, rama de la ingeniería que estudia las propiedades de los suelos, de forma a demostrar las utilidades que brinda la construcción de la base de datos georeferenciada en las distintas ingenierías implicadas en la construcción de la línea. Se recopiló los datos arrojados por los estudios de suelos realizados durante el proyecto y la construcción, de manera a obtener zonificaciones y tipología de suelos, muy útiles para correlacionar datos en formaciones geológicas similares y comparando con el mapa geológico en escala 1:1.000.000.

Los datos que se incluyeron pueden ser utilizados en el futuro para el mantenimiento de las líneas y la obtención de datos estadísticos que ayuden a mejorar la preparación de los proyectos.

Además, atendiendo a que actualmente se cuenta con múltiples trabajos en sistema de información geográfica, los shapefiles (unidades de información) preparadas para éste trabajo pueden ser utilizados combinando con otros relevamientos y base de datos de manera a cruzar información y conseguir así nuevas conclusiones al respecto de los datos cargados.

No menos importante es la contribución a la manera de trabajar en la construcción de la línea, que tiene su inicio en la etapa de proyecto y finaliza en la puesta en servicio de una nueva obra de ingeniería que en general lleva consigo la apertura de muchas posibilidades de desarrollo



VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

para las zonas afectadas al área de influencia de la línea, continuando hasta el mantenimiento y eventos que pudieran desarrollarse a lo largo de su vida útil, de tal manera a que una base de datos actualizada brinde la retroalimentación de la información tan importante para el mejoramiento en la calidad de la prestación del servicio eléctrico.

Cabe señalar que el presente trabajo forma parte de un proyecto más amplio que consiste en un “Banco de Datos Informatizado de los Estudios Geotécnicos de las líneas de transmisión de la Administración Nacional de Electricidad – ANDE”, utilizados en el proyecto y construcción de líneas existentes de transmisión eléctrica dentro del territorio nacional, que actualmente se está desarrollando conjuntamente entre la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción y la ANDE, orientado al área geotécnica.

PALABRAS CLAVES

GIS, información georeferenciada, línea de transmisión, estudios geotécnicos, fundaciones, conductor, cable de guardia, torres, aisladores, puesta a tierra.”.

1. OBJETIVO

El objetivo del trabajo es obtener un producto final que permita:

- a. Fácil acceso a gran cantidad de información.
- b. Ordenar y georeferenciar las informaciones existentes.
- c. En cuanto a suelo se refiere: disponer de información precisa y georeferenciada de los resultados arrojados por los estudios de suelos a lo largo de la línea, relacionar variables, identificar zonas con características propias, correlacionar resultados para futuros proyectos.
- d. Facilitar los trabajos de mantenimiento de Líneas de Transmisión, poniendo a disposición de los encargados datos importantes de la línea.
- e. Ofrecer un soporte de trabajo en GIS para Líneas de alta y media tensión.
- f. Retorno de la información de obra al proyecto, para lograr la importante retroalimentación en las obras de ingeniería, puesto que una vez elaborada la base de datos se encontraría a disposición de los interesados.

2. USOS Y RECURSOS

Para el desarrollo del trabajo se utilizaron los siguientes elementos:

- a. Datos topográficos del trazado de la línea.
- b. Ortofotocartas georeferenciadas del trazado de la línea.
- c. Mapa geológico del Paraguay.
- d. Datos climáticos e hidrográficos de la zona.
- e. Datos geotécnicos de la línea correspondientes a ensayos de suelo realizados por el Departamento de Topografía de la ANDE y por la empresa contratista de las obras de construcción de la línea.
- f. Datos del proyecto y construcción de la línea.



Para el procesamiento y enlace de la información se utilizaron otros recursos como:

- g. Planillas electrónicas.
- h. Software GIS (Arc-view 3.2).
- i. Software CAD (Auto-Cad).

3. METODOLOGIA

A seguir se presenta en forma sintética la metodología que fue empleada en la elaboración de esta investigación:

- a. Presentación: se refiere a la presentación inicial que se realiza en el inicio del trabajo.
- b. Antecedentes: se refiere a la descripción de la línea y del área de estudio: ubicación, geología, topografía, clima, hidrografía.
- c. Recolección de datos de la línea: del proyecto y construcción, topográficos, geotécnicos, etc.
- d. Clasificación de los datos mencionados.
- e. Procesamiento de la información con el inicio de la creación de una base de datos
- f. Utilización de Sistemas Informáticos.
- g. Enlace base de datos - Mapa digitalizado.
- h. Caracterización de los suelos y fundaciones.
- i. Franja de servidumbre y caminos de acceso de tramos seleccionados.
- j. Historial de la Línea
- k. Conclusiones.

4. DESCRIPCIÓN DE LÍNEA Y EL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 General

La línea tiene una longitud aproximada de 165 km. y se extiende desde la posición de salida de línea de 220 kV, en la Estación Horqueta, hasta la posición de llegada en 220 kV en la Estación Pedro Juan Caballero I.

4.2 Características eléctricas

- Tensión Nominal: 220 kV valor efectivo entre fases.
- Frecuencia: 50 Hz.
- N° de circuitos: uno, trifásico.
- Conductor: ACSR, 636 MCM, "GROSBEAK". Un conductor por fase.
- Cable de guardia: Acero galvanizado de extra alta resistencia (EHS), 3/8".
- Cadena de aisladores: Se emplearon cadenas de aisladores poliméricos de goma silicona para las cadenas de suspensión y anclaje, con acoplamiento tipo bola y rótula.



4.2 Ubicación

La línea se encuentra ubicada al Norte de la Región Oriental del Paraguay, en los Departamentos de Concepción y Amambay.

4.3 Geología de la Traza

La Línea de Transmisión atraviesa distintas formaciones geológicas; primeramente desde la Estación Horqueta hasta aproximadamente el desvío a Bella Vista, *la Formación Aquidabán*, cuya estratigrafía es plano-paralela, estratificación cruzada en las areniscas de grano grueso y capas con secuencia granulométrica decreciente de abajo hacia arriba. La Formación está compuesta por areniscas de coloración roja con cantos esparcidos, capas de diamigritas con gran presencia de cantos y lentes de grano grueso (con granos de cuarzo disperso). El color general es rojo con variaciones hacia el rosa blanquecino y amarillo. Entre los suelos que sobre yacen a la Formación, a lo largo de la traza de la línea, se encuentran predominantemente los de tipo areno arcillosos (SC) y areno limosos (SM) de color rojizo, aunque también aparecen en menor proporción suelos limo arenosos (ML) y arcillo arenosos del tipo CL. Se ha detectado en algunos sondeos techo de roca a escasa profundidad, evidenciado por la presencia de rocas, gravas y gravillas.

Luego el trazado de la línea atraviesa la Formación Misiones, de origen eólico y en algunos casos fluvial, formada por areniscas de estratificación cruzada de granulación fina a media con intercalación de láminas de arcilla, generalmente no poseen más del 10 % de limo y arcilla. También se encuentran conglomerados o brechas con clastos de arcillas y pizarras. Entre los suelos que sobre yacen esta Formación se encuentran los de tipo areno limosos (SM) y areno arcillosos (SC), además de existir en algunos sectores suelos arcillosos del tipo CL. Se ha detectado en algunos sondeos el techo de roca a escasa profundidad.

El trazado de la línea llega hasta la ciudad de Pedro Juan Caballero y es hacia el final de la traza que la línea atraviesa la Formación Alto Paraná, constituida por una extensa área de derrames basálticos, predominantemente tolheíticos. Los suelos formados in situ a partir de la roca madre (basalto), se constituyen en los suelos residuales. Existe una zona de transición entre los suelos de grano grueso y los de grano fino, entre los vértices V/TB y V/Ux, zona que prácticamente coincide con los límites entre la Formación Misiones y la Formación Alto Paraná. Entre los suelos que sobre yacen la Formación Alto Paraná, a lo largo del trazado de la Línea, predominan los limos de media y alta compresibilidad ML y MH y en menor proporción suelos tipo CL y SC-SM. El horizonte superior de suelo (maduro) se caracteriza por su fuerte color rojo, el contenido elevado de granos finos y su plasticidad media a elevada. Hacia la base de este horizonte se presenta en algunos lugares un nivel de gravas. El horizonte que sigue por debajo (suelo joven), está formado por limo arcilloso, de mediana plasticidad, color amarillento y con fragmentos de basalto alterado en su maza. En algunos lugares se presentan afloramientos de la roca basáltica.

4.4 Topografía

La topografía del trazado de la línea es bastante accidentada teniendo diferencias de cotas importantes entre una torre y otra de hasta aproximadamente 40 metros y cambios bruscos de pendientes a lo largo de la traza. En algunos lugares la pendiente del terreno supera el 20 %.

4.5 Clima



VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

El área de estudio se caracteriza por temperaturas medias de 21°C y lluvias anuales promedios que fluctúan entre los 1400 y los 1600 mm..

4.6 Hidrografía

Los afluentes del río Aquidabán atraviesan la línea en algunas zonas. El trazado de la línea se acerca al referido río en la zona del Cruce a Bella Vista. Existen además arroyos, corrientes de agua, algunas permanentes y otras intermitentes, en algunos puntos a lo largo del trazado de la misma.

5. SECUENCIA DE TAREAS REALIZADAS

A seguir se presenta en forma sintética las tareas realizadas para la elaboración de este trabajo:

- a) Recolección y procesamiento de las coordenadas de todos los vértices de la línea.
- b) Ubicación georeferenciada en un sistema de coordenadas UTM, en el plano digitalizado del trazado de la línea, de todos los puntos de emplazamiento de torres, previa determinación de las coordenadas (X,Y,Z) de los mismos.
- c) Recolección de informaciones geológicas, geotécnicas y datos relacionados al proyecto y la construcción de la línea.
- d) En cuanto a suelo se refiere: preparación de la información geotécnica a ser procesada, seleccionando los datos confiables y descartando la información dudosa, como ser falsos rechazos, profundidades no definidas de los diferentes horizontes, etc. Determinación de los espesores de los distintos horizontes de suelo, analizando cada sitio y cada sondeo en particular.
- e) Procesamiento de la información utilizando planillas electrónicas Excel.
- f) Elaboración de histogramas, curvas y tablas con los datos geotécnicos procesados, de forma a poder analizar las diferentes propiedades de los horizontes de suelo encontrados.
- g) Preparación de imágenes y archivos a ser incluidos en la base de datos.
- h) Ubicación en el plano digitalizado de los caminos de acceso a la línea de manera a facilitar la información a la gente encargada del mantenimiento de la misma.
- i) Elaboración de un sistema de consultas y presentación de los datos de cada torre, con el software GIS, de forma a poder acceder de manera fácil a la información de la base de datos y disponer de la ubicación exacta de cada una de ellas.

6. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS Y FUNDACIONES

6.1 Suelos

A manera de ejemplificar la caracterización de los suelos de diferentes zonas geológicas, a continuación se presentan los resultados obtenidos luego del procesamiento y análisis de los datos geotécnicos de una de las formaciones geológicas que atraviesa la línea, específicamente

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

la *Formación Alto Paraná*. Se presentan a continuación histogramas realizados con los datos geotécnicos procesados:

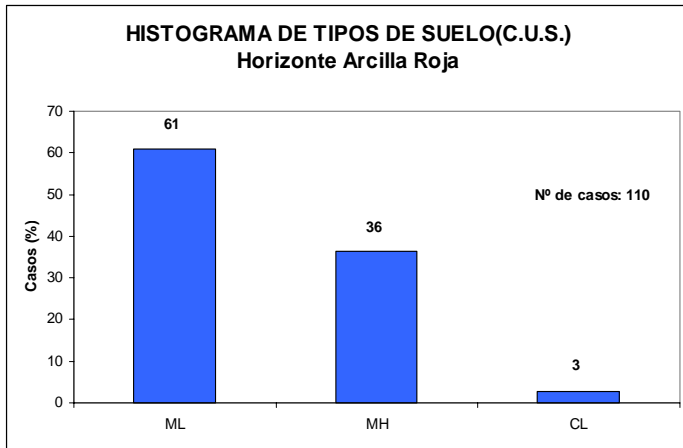


Figura Nº 1

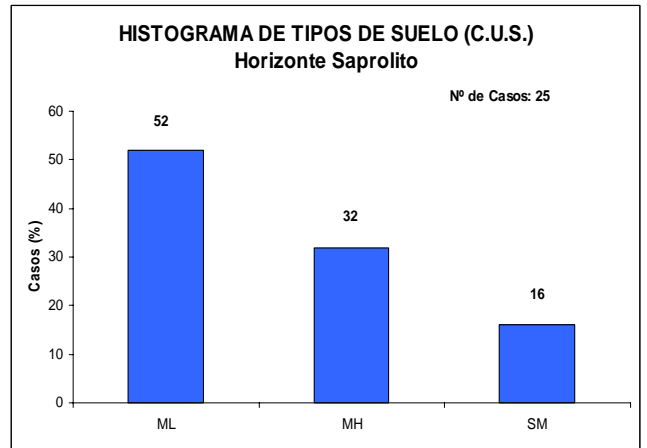


Figura Nº 2

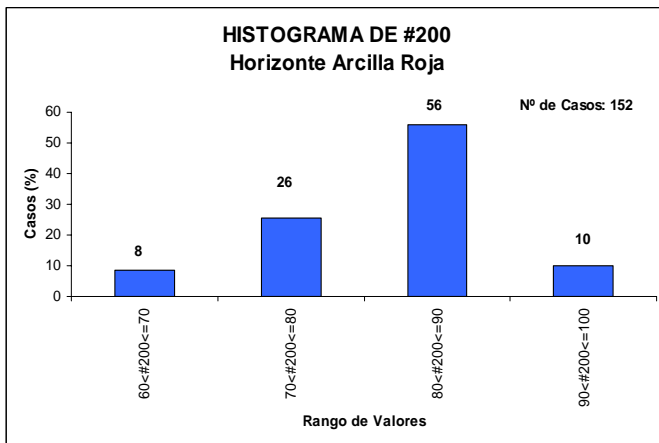


Figura Nº 3

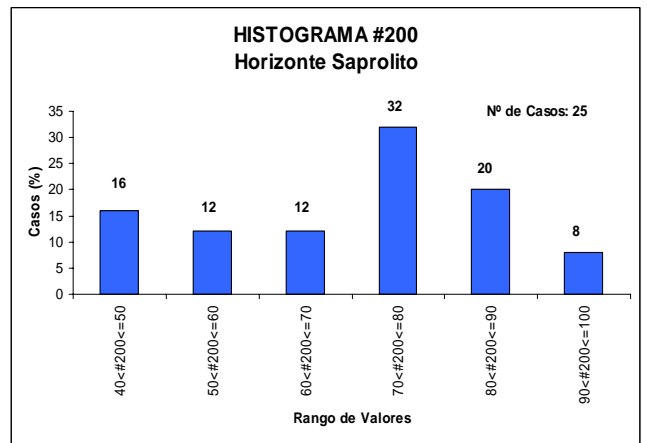


Figura Nº 4

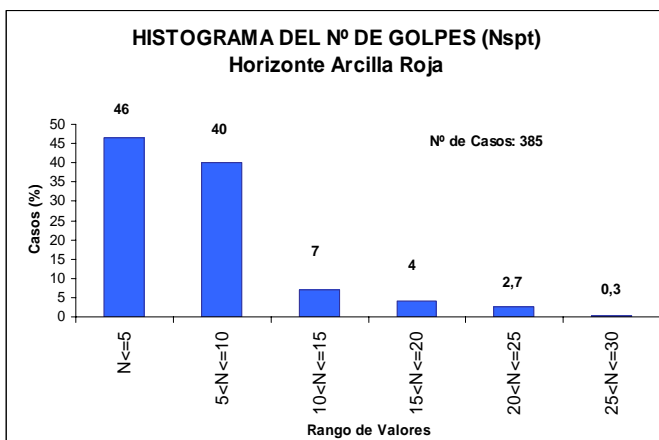


Figura Nº 5

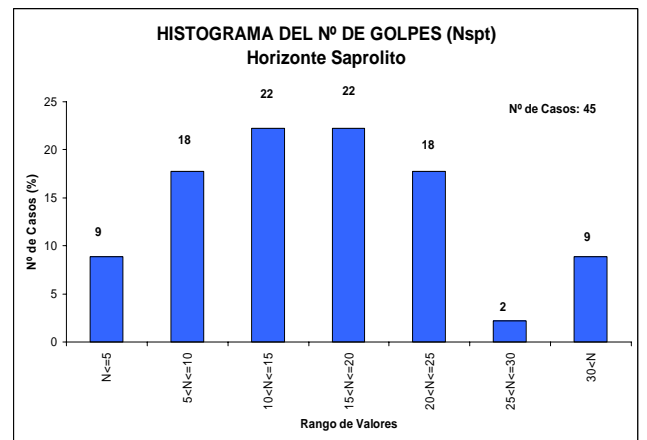


Figura Nº 6



6.2 Fundaciones

Los tipos de fundaciones utilizados fueron: tubulones construidos contra terreno natural y dimensionados según el tipo de suelo encontrado, 2a, 2b, 3a, 3b, 4a, 4b y 5a, clasificados conformes a los N_{spt} de cada torre; también se utilizaron pilotes Strauss para suelos cohesivos y preperforados con lodo bentonítico para el caso de suelos no cohesivos y con presencia de agua (suelos tipo 5b); en zonas donde se encontraron estratigrafías con rocas se utilizaron anclajes, ubicadas en la zona de Itapopó (suelos tipo 1)

Los diseños de las distintas de fundaciones utilizadas, así como las cargas dimensionantes de las mismas se encuentran en la base de datos, relacionadas a la posición geográfica de torre.

7. DATOS DEL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA

7.1 Limpieza de Franja y Caminos de Acceso

Se incluyeron los criterios con que fueron limpiadas las zonas afectadas por la franja de servidumbre, cumpliendo con el plan de mitigación ambiental correspondiente a la construcción de la línea; en cuanto a los caminos de acceso se dejaron ubicados los caminos que fueron utilizados para la construcción de las torres.

7.2 Puesta a Tierra

Se utilizaron dos tipos diferentes de puestas a tierra, dependiendo del tipo de suelo encontrado: una normal, que consiste en jabalinas conectadas a la estructura por medio de un cable de cobre y donde éstas no podían ser utilizadas por presencia de roca en el subsuelo se colocaron pletinas de acero galvanizado. En la base de datos se denominan las jabalinas con la letra “N” y las pletinas con la letra “P”.

7.3 Torres y Aisladores

Los tipos de torres y aisladores utilizados fueron colectados en las planillas que ahora conforman la base de datos en Arcview, utilizando la letra “S” para identificar a las cadenas de suspensión y “A” las de anclaje. Las siluetas de las torres utilizadas se encuentran relacionadas a su posición geográfica a lo largo de la línea.

Datos del Proyecto y Construcción de la Línea: Estos datos fueron colectados en las planillas que ahora conforman la base de datos en Arcview.

7.4 Otros Datos

Fueron también colectados en las planillas que ahora conforman la base de datos en Arcview, todos los datos relacionados al proyecto y la construcción de la línea.

7. CONCLUSIONES

7.1 Conclusiones geotécnicas.

- a) Los suelos que sobreyacen a la formación Alto Paraná están constituidos principalmente por suelos finos, conforme puede apreciarse en las figuras N° 3 y N° 4 donde el porcentaje de

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

suelo pasante del tamiz # 200 en la mayoría de los casos analizados supera el 60%, para ambos horizontes estudiados.

b) En el Horizonte Arcilla Roja se tiene:

- el máximo espesor encontrado a lo largo de la LT ~ 7,5 metros.
- el espesor promedio = 5 metros.
- predominan los suelos limos tipo ML y MH aunque también aparecen en menor proporción suelos arcillosos del tipo CL (Figura N° 1).
- en el 80 % de los 385 casos estudiados, en número de golpes N, correspondiente al ensayo de penetración estándar, es menor que 10 (Figura N° 5).
- la humedad natural varía entre 32 y 55 %, el límite líquido entre 47 y 82 %, el límite plástico entre 30 y 44 % y el #200 entre 61 y 97 %, para una profundidad promedio de 3 metros.
- se pudo constatar en algunos sondeos, al final de este horizonte, la presencia del nivel de gravas.
- en cuanto a parámetros de cálculo para fundaciones fueron relevados los siguientes valores límites: ángulo de fricción del suelo entre 12° y 22°, cohesión entre 15 y 80 (KPa) , peso específico natural del suelo entre 14 y 16 (KN/m³).

c) En el Horizonte Saprolito:

- Debido a que la mayoría de los estudios de suelos concluían entre los 6 a 8 metros de profundidad, este Horizonte no pudo ser caracterizado de igual forma que el horizonte de arcilla roja, puesto que solo se constató su presencia en 20 sondeos ejecutados. Esto nos hace suponer que en la mayoría de los casos el saprolito estaría a una profundidad mayor a la de estudio.
- en los sondeos donde se constató la presencia de este horizonte, predominan los suelos limos tipo ML y MH aunque también aparecen en menor proporción suelos arenosos del tipo SM (Figura N° 2).
- en los casos analizados, el rango de número de golpes N, correspondiente al ensayo de penetración estándar, es bastante amplio como puede apreciarse en la figura 6.

7.2 Conclusiones generales

a) Con este aporte entendemos que hemos alcanzado el objetivo propuesto, quedando demostrada la importancia que posee el correcto procesamiento georeferenciado de los datos obtenidos a partir del proyecto y la construcción de una línea de transmisión, facilitando la tarea a los encargados del mantenimiento de la misma y sirviendo de una riquísima base a proyectistas para futuras obras.

b) También es importante recalcar la importancia que posee el procesamiento de la gran cantidad de información geotécnica, única en su género, generada a lo largo de toda la



línea de transmisión, posibilitando el estudio del suelo en todo el territorio Nacional, y recogiendo esa información en una base de datos sencilla y georreferenciada que puede ser utilizada tanto por la ANDE como por cualquier otro interesado para los más diversos fines.

c) Por último queda por resaltar la utilidad que posee la herramienta informática GIS y la información georreferenciada, pudiendo otras instituciones ubicar sus datos de manera a formar una gran base de datos a nivel Nacional, con los datos más variados como ser catastro, ubicación de pozos de agua, ubicación de torres de comunicación celular, ubicación de puestos de salud, comisarías, centros educativos y cualquier otro dato relevante.

BIBLIOGRAFIA

BOSIO J.J.,CANTERO N (1994). "Características de los suelos residuales de la formación Alto Paraná del Paraguay". X Congr. Bras. De Mec. Dos Solos e Engenharia de Fundacoes. Volumen 4, pag. 1173-1180.

CANTERO, NORMA (1991). "Banco de datos geotécnicos y su relación con las formaciones geológicas del Paraguay". Rev. Estructura y Geotécnia. Año 3, pag. 30-39.

DE SALVO, OSMAR (1990). "El perfil de meteorización de las rocas basálticas y su importancia en la ingeniería de fundaciones". Rev. Estructura y Geotécnia. Año 1, pag. 33-45.

PALMIERI, VELAZQUEZ J. (1982). "Geología del Paraguay ". Ed.Napa . Asunción . pp . 65.

PAR 83/005 "Proyecto Mapas Geológico, Hidrológico, Metalogénico del Paraguay" . Gobierno Nacional NN.UU. Año 1990.

STARK, ROSE MARIE GIL(2003). "Estudio de los Suelos Residuales de Basalto en el área de Encarnación". 2do. Congreso Paraguayo de Ingeniería y Geotécnia - II COPAINGE.