

CARTA GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE ASUNCIÓN

L. Ramírez, R. Gómez, N. Cantero y L. Lugo
Facultad de Ciencias y Tecnología. Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción”.
Asunción-Paraguay.
Email: letirams@gmail.com, rodneyhgr@gmail.com

Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Asunción. Paraguay.
R. Franco y L. Amábile
Email: Ysapy@hotmail.com

Palabras claves: Carta Geotécnica, Asunción, Isópacas.

RESUMEN

El conocimiento de las características geotécnicas de una determinada región constituye una herramienta importante para el estudio de factibilidad de obras civiles. El mapa geotécnico constituye una integración de datos sobre el terreno y su entorno, tales como los geotécnicos, geología, clima, topografía, etc. La Carta Geotécnica se define como el conjunto de informaciones, provenientes de fuentes ya existentes o de estudios específicos, elaborados según los criterios que en cada caso marquen los objetivos perseguidos. En el Paraguay, existen trabajos de investigación y estudios relacionados al tema que se encuentran en la actualidad en forma dispersa. La experiencia de profesionales del área de la geotecnia constituye un punto relevante para conseguir el objetivo propuesto. A partir de lo anteriormente expuesto, este trabajo presenta la sistematización de datos soportada por herramientas informáticas (GIS), dando respuesta a una necesidad práctica en el campo de la ingeniería civil.

1 INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las características geotécnicas de una determinada región constituye una herramienta de fundamental importancia para el estudio de factibilidad de obras civiles. La carta geotécnica se define como el conjunto de informaciones provenientes de estudios realizados para obras en el área de interés y de estudios de verificación de aspectos puntuales, elaborada según los criterios que en cada caso marquen los objetivos perseguidos, en mapas de diversa escala, en la que se representa, en forma gráfica, las diferentes características o propiedades del suelo, según sus divisiones, áreas, etc.

La fuente principal de información para lograr el objetivo propuesto ha sido la experiencia de profesionales del área de la geotecnia.

2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La ciudad de Asunción, capital de la República del Paraguay, se encuentra ubicada entre las coordenadas 25°15'00" - 25°22'18" de latitud Sur 57°36'33" - 57°41'36,6" longitud Oeste. Los límites físicos del área de estudio son: El Río Paraguay, las calles Soldado Robustiano Quintana y Camilo San Blas, Avenida Madame Lynch, la Avenida Defensores del Chaco, las Avenidas Fernando de la Mora y Gral. Santos y la Avenida Teniente General Juan D. Perón. Posee una población aproximada de 513.399 habitantes (DGEEC 2002), la mayor concentración urbana del país, en una superficie de 117 km².

3 ELABORACIÓN DE LA CARTA GEOTÉCNICA

A continuación se expone el proceso de elaboración que se adoptó para la realización del trabajo:

- Levantamiento y revisión bibliográfica.
- Geología de la zona de estudio.
- Análisis de más de 4.000 datos de estudios geotécnicos realizados en el área de estudio.
- Procesamiento de la información referente a antiguos cauces de agua.
- Análisis de los mapas geológico, geomorfológico, isopacas de techo de arenas cementadas muy densa, cauces de arroyos y cuencas hidrográficas.
- Procesamiento de los puntos anteriores con el auxilio de Sistemas GIS.
- Zonificación de la información de manera a establecer tipos de cimentaciones, condiciones de excavabilidad y otros criterios necesarios para construcciones civiles.

4 COMPORTAMIENTO TÉCNICO DE LOS SUELOS Y CARTA GEOTÉCNICA

4.1 Geomorfología, geología e hidrología

La zona en estudio se ubica en el extremo Nor-Oeste del Rift de Asunción, el cual presenta unidades geomorfológicas con rasgos de colinas rebajadas, denominadas como lomadas y/o cerros aislados, algunos de los cerros están constituidos por rocas magmáticas del Terciario Medio en contacto con una secuencia sedimentaria de edad Cretácica -Cuaternaria. En cuanto a la forma de los relieves predominan segmentos convexos en los terrenos altos, mientras que en los terrenos bajos y cabecezas de sistemas de drenajes son cóncavos (Bartel 1994).

En lo relativo a la geología, Paraguay se ubica en el Área de dos grandes cuencas sedimentarias: hacia el Oeste la Cuenca del Chaco y en el Este de la Cuenca del Paraná. Ambas cuencas se hallan separadas hacia el Norte por el Alto del Río Apa y hacia el Sur por el Alto del Río Tebicuary, las mismas a su vez están separadas por el bajo de San Pedro. El Alto del Río Tebicuary presenta orientación Noroeste – Sureste y se halla afectada por la tectónica distensiva, el Graben de Acahay y el de Asunción (Bartel 1994).

Estas estructuras de graben datan del Mesozoico y probablemente se originaron en el Jurásico o el Cretácico Inferior, en el contexto de la ruptura del paleocontinente Gondwana.

En el área de Asunción, el comportamiento hidrológico, particularmente el del agua de lluvia, está vinculado a factores como la declividad, la naturaleza del suelo, el soporte geológico y la posibilidad de escurrimiento hacia los cursos de agua y la descarga de los principales arroyos y cauces menores. Estos factores están ligados al fenómeno de lluvias torrenciales frecuentes de corta duración, características de climas subtropicales.

Las geoformas representadas en el Rift de Asunción, donde se encuentra insertada el área de estudio, tras una precipitación de poca intensidad, presentan un escenario caracterizado por el débil escurrimiento de agua superficial, dependiendo de las características de infiltración del terreno, presenta trechos muy dinámicos y/o acentuados en los terrenos bajos, asociados a una alta tasa de declividad y a zonas sin cobertura vegetal (Velásquez y Pflugfelder 1997).

4.2 Subsuelo de la Ciudad de Asunción

En general se puede resumir que el subsuelo de la ciudad de Asunción está constituido por dos materiales bien diferenciados por su comportamiento y

resistencia: los suelos superficiales y la formación resistente definida como arenas cementadas.

A partir del análisis de datos efectuado fue posible zonificar el área de estudio en cuatro zonas bien definidas de acuerdo al tipo de suelo y sus características geotécnicas relevantes para obras de ingeniería civil. Estas zonas se presentan divididas en tres diferentes estratos u horizontes, cuyas características corresponden a las definidas en (USDA 1994): Horizonte A, Horizonte B y Horizonte C (Tabla 1).

El horizonte A corresponde a suelos que constituyen la capa vegetal. El elemento determinante para la clasificación de las zonas, es el Horizonte B que a su vez se subdivide en: (a) Zona O.F.: Suelos de origen fluvial, corresponde a los suelos lindantes con el Río Paraguay. (b) Zona O.C.A.: Suelos de sedimentos próximos a los cauces y arroyos antiguos y actualmente existentes. (c) Zona O.A.: Suelos de origen aluvial, zona definida por la Av. Aviadores del Chaco, próximo al Jardín Botánico y Grupo Habitacional Aeropuerto. (d) Zona O.C.R.: Suelos de origen coluvial o residual. Finalmente, el Horizonte C corresponde a las arenas cementadas.

	HORIZONTE	TIPOS DE SUELO
	A	Suelos Vegetales
	B	Suelos de Origen Fluvial Suelos de Sedimentarios Suelos de Origen Aluvial Suelos de Origen Coluvial o Residual
	C	Arenas Cementadas

Tabla 1. Cuadro de Horizontes propuestos.

Los parámetros de suelos propuestos de peso específico, fricción y cohesión fueron obtenidos a partir de los resultados de los ensayos relevados, la experiencia de profesionales del área y tablas de correlaciones de ángulo de fricción (ϕ), peso específico (γ) y cohesión (c) relacionados con los tipos de suelo y valores del número de golpes "N" del SPT.

4.3 Horizontes A y B

4.3.1 Zona O.F. (Origen Fluvial)

Horizonte A: Los suelos de este horizonte corresponden al suelo vegetal constituido por arena limosa (SM), limos arcillosos orgánicos (ML) y en menor proporción arena arcillosa de color marrón, gris amarillento o gris oscuro de espesores entre 1m a 2m

Horizonte B: El horizonte está constituido por sedimentos fluviales desarrollados en zonas inundables del río Paraguay. En su mayor parte se hallan anegados con algunos esteros y lagunas, las cuales se inundan totalmente en épocas de crecidas del Río Paraguay.

Los sedimentos se hallan constituidos por arenas mal graduadas (SP), arenas limosas (SM), arenas arcillosas (SC), arcillas arenosas (CL), limos y arcillas (ML y CL-CH), generalmente saturadas.

Estudios geotécnicos efectuados en el Río Paraguay y Bañados desde Puente Remanso hasta el Cerro Lambaré, con perforaciones de hasta 20m de profundidad, revelan que los materiales mencionados presentan densidad relativa muy suelta respecto al ensayo de SPT para los primeros 3m con aumento gradual a suelta, hacia la profundidad de los 20m con predominio de material del tipo arenoso.

4.3.1.1 Consideraciones para anteproyectos

Es importante mencionar que esta zona corresponde a un área sujeta a períodos de inundación. Las inundaciones más importantes se dieron en los años 1905, 1920, 1983. En el año 1963 el nivel del Río alcanzó la cota 62,6 y en el año 1992 la cota 63.

a) Permeabilidad

Los suelos fluviales (zona de Bañados) están generalmente saturados, con nivel freático variable entre 0 y 1m, relacionado con los niveles de precipitaciones y con los niveles del Río Paraguay. El tipo de suelo predominante es: arenas limosas (SM) o arenas arcillosas (SC) y del orden de 10^{-2} y 10^{-4} cm/s.

b) Excavabilidad

Esta zona se caracteriza por suelos desmoronables, por lo que se debe prever el entibamiento durante el proceso de ejecución de las excavaciones. También poseen nivel freático potente por lo cual es recomendable la utilización de sistemas de drenajes o rebajamiento del nivel freático. Para el cálculo de empujes, a efectos de pre-factibilidad, se podría considerar: $\phi = 27^\circ$; $c = 0$; $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$.

c) Cimentaciones

Para construcciones livianas se podría plantear como solución de fundación la utilización de plateas, zapatas o cimientos de piedra bruta colocada efectuando un minucioso análisis de las cargas a ser transmitidas a nivel de fundación. Para cargas elevadas se debería plantear la utilización de fundaciones apoyadas dentro de las arenas cementadas.

4.3.2 Zona O.C.A. (Origen de sedimentos próximos a Cauces y Arroyos)

Horizonte A: Los suelos de este horizonte corresponden al suelo vegetal constituido por arena limosa (SM) o arena arcillosa (SC) de color marrón o marrón rojizo, con espesores del orden de 0,3m.

Horizonte B: Antiguos cauces de arroyos que han sido rellenados a través del tiempo, básicamente por material areno limoso (SM) con espesores de

hasta 20 m, depositados sobre las arenas cementadas muy densas. Observando las cartas topográficas y de Arroyos y Cauces de los años 1952 y comparándolas con las actuales se ha podido observar que muchos de los cauces han retrocedido y en dichos sitios se ha producido un relleno de suelos transportados y depositados.

Se concluye que los suelos de esta zona son en general del tipo arena limosa o arena arcillosa, sin embargo, en algunos sectores, se han detectado suelos predominantemente arcillosos del tipo CL.

4.3.2.1 Consideraciones para anteproyectos

Cabe destacar que la presencia de acuíferos potentes relacionados a los antiguos paleocauces, ocasiona serios problemas constructivos durante los trabajos de excavación de obras de ingeniería, con caudales del orden de los 50 m³/h.

En general, el techo de la arena cementada presenta mucha variabilidad de acuerdo a los diferentes estudios efectuados en la zona, con valores máximos de hasta 15 m.

a) Permeabilidad

Esta zona se caracteriza por suelos muy permeables del tipo arena limosa o arena arcillosa, muy sueltas y niveles freáticos ocasionalmente potentes. Se deberá analizar la posibilidad del uso de equipo de bombeo y elementos de entibamiento, incluso para sondeos de exploración geotécnicas. A efectos de anteproyecto se puede estimar para esta zona una permeabilidad variable del orden de 10⁻² a 10⁻⁵ cm/s.

b) Excavabilidad

En algunos sectores se podrían producir desmoronamientos debido a la presencia de arenas muy sueltas y nivel freático potente, por lo que se debe prever entibamiento y bombeo durante el proceso de ejecución de las excavaciones.

c) Cimentaciones

Las fundaciones superficiales utilizando zapatas o cimiento corrido de piedra bruta podrán ser analizadas para el caso de cargas leves. Para el caso de cargas elevadas y proyectos de envergadura, el tipo de fundación recomendado para la zona es el de pilotes apoyados dentro de la formación resistente, que en algunos sectores llega a 20m de profundidad.

4.3.3 Zona O.A. (Origen Aluvial)

Horizonte A: Los suelos de este horizonte corresponden al suelo vegetal constituido por arena limosa (SM), arena arcillosa (SC) o arcilla limo arenosa (CL) en algunos casos de color marrón, gris o marrón rojizo de aproximadamente 0,5m de profundidad.

Horizonte B: Los suelos aluviales se encuentran en las áreas bajas adyacentes a sitios elevados y en general presentan un sistema de drenaje difícil que no permite el rápido escurrimiento de las aguas hacia las desembocaduras de los cauces. Están constituidas por arenas arcillosas (SC), arcilla arenosa (CL) de coloración gris amarillentas o marrón rojizo amarillento y en algunos casos grises, con densidad suelta a medianamente densa. Las arenas cementadas por lo general son detectadas a poca profundidad, entre 3 y 5 m.

4.3.3.1 Consideraciones para anteproyectos

Considerando la presencia en la zona de numerosas nacientes, el tipo de suelo, la formación resistente a poca profundidad y la falta de declividad topográfica, dicho sector puede sufrir inundaciones en épocas de lluvias frecuentes o intensas de corta duración, debido a la falta de drenaje superficial que encauce las aguas.

a) Permeabilidad

Se estima que estos suelos poseen una permeabilidad del orden de 10⁻⁵ a 10⁻⁶ cm/s. Se ha observado que, en las zonas bajas y de poca pendiente, los suelos se hallan saturados con nivel freático variando entre 0,5m a 3m de profundidad.

c) Excavabilidad

Esta zona se caracteriza por suelos desmoronables y presencia de nacientes de aguas por lo que se debe prever el entibamiento durante el proceso de ejecución de las excavaciones. También posee nivel freático potente por lo cual es recomendable la utilización de sistemas de drenajes o rebajamiento del nivel freático. Para el cálculo de empujes, a efectos de pre-factibilidad, se podría considerar: $\phi = 27^\circ$; $c = 0$ y $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$.

d) Cimentaciones

El tipo de fundación recomendado para la zona es la utilización de pilotes apoyados dentro de la formación resistente. Las fundaciones superficiales utilizando zapatas o cimentación corrida de piedra bruta son recomendadas en el caso que la formación resistente se presente a profundidades inferiores a 2m. En general no es recomendable en dicha zona la construcción de sub-suelos.

4.3.4 Zona O.C.R. (Origen Coluvial o Residual)

Horizonte A: Los suelos de este horizonte corresponden al suelo vegetal constituido por arena limosa, arena arcillosa o arcilla limo arenosa principalmente de color marrón o marrón rojizo, muy suelta de profundidades variables entre 0,3 y 0,8m de profundidad.

Horizonte B: Predominan los suelos del tipo residuales o coluviales. La alteración de las arenas cementadas produce suelos del tipo arenas arcillo-

sas (SC), arenas limosas (SM) y arenas limo arcillosas (SM-SC). Los suelos residuales tienden a aumentar su índice de plasticidad conforme aumenta la profundidad por lo menos dentro de los primeros 4 metros [2]. Los suelos arcillo arenosos (CL) predominan en los taludes con pendiente mayores ya que son favorecidos por una mayor lixiviación de elementos finos debidos a la rapidez de escurrimiento e infiltración de las aguas. Los suelos coluviales, por su naturaleza textural y génesis, se caracterizan por la predominancia de suelos areno limosos (SM) de características muy sueltas.

4.3.4.1 Consideraciones para anteproyectos

El techo de la formación resistente se encuentra en la zona a profundidades que varían entre 1m y 10m.

El nivel freático se presenta variable con respecto principalmente a las variaciones de las precipitaciones considerando que se trata de un sedimento predominantemente arenoso y está relacionado con la topografía y la profundidad del techo de la formación resistente.

a) Permeabilidad

Estos suelos son moderadamente a muy poco permeables. Los suelos residuales derivados de las arenas cementadas con contenido arcilloso, de características areno limo arcillosas, arcilla arenosa (SC, CL, SM, SC) tienen un coeficiente de permeabilidad del orden de 10^{-4} a 10^{-6} cm/s. Los suelos coluviales areno limosos (SM) son de mayor permeabilidad con valores del orden de 10^{-3} a 10^{-4} cm/s.

b) Excavabilidad

Se deberá prever entibamiento y prestar especial atención a la existencia construcciones linderas. Para el cálculo de empujes, a efectos de pre-factibilidad, se podría considerar: $\phi = 30^\circ$; $c = 0$; $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$.

4.4 Horizonte C. Arenas Cementadas

Teniendo en cuenta lo expuesto en (Bosio 1997a), a los suelos del tipo arenosos de la ciudad de Asunción, le subyace un material denominado arena cementada. Las mismas se subdividen en muy densas y arenas pobremente cementadas.

4.4.1 Arenas Cementadas Muy Densas

Las arenas cementadas muy densas de Asunción y alrededores forman un macizo continuo cuyo techo raramente excede la profundidad de treinta metros. En la mayoría de los casos se encuentra aflorando o a profundidades menores que ocho metros. Los macizos de arenas cementadas muy densas sin estructuras relicto son homogéneos y presentan gran resistencia en afloramientos cuando están secos (Bosio 1997).

4.4.2 Arenas Pobremente Cementadas

Las arenas pobremente cementadas se originan a partir de sedimentos arenosos que, al no ser afectados intensamente por el proceso de diagénesis, no llegaron a constituirse en arenas cementadas muy densas. En condiciones de humedad natural, presentan resistencias a la compresión no confinada muy semejantes a las arenas cementadas densas en estado seco. Debido a la debilidad del cementante y la naturaleza del material ligante son muy friables (Bosio 1997).

4.4.3. Consideraciones para anteproyectos

Una característica preocupante de las arenas pobremente cementadas en excavaciones por debajo del nivel freático, es la casi total pérdida del material ligante al producirse el arrastre de la matriz arcillosa por el agua que fluye a través de sus poros. El material se debilita transformándose en una arena densa, quedando su cohesión original reducida a la que le confiere la tensión superficial y la trabazón de sus granos. Igual fenómeno ocurre en el fondo de excavaciones cuando no se realiza previamente el descenso del nivel freático.

Es importante mencionar que se han observado en ciertas exploraciones geotécnicas, la presencia de "bolsones" arenosos de baja resistencia intercalados con los horizontes de arena cementada, por lo que es siempre recomendable un estudio geotécnico para obra de envergadura.

a) Excavabilidad

La excavación de macizos de arenas cementadas se ejecuta primeramente fragmentando el material por medio de picos, barretas o martilletes, para su retiro posterior mediante palas manuales o mecánicas. En algunos sitios de la ciudad se observan acumulaciones de óxido de hierro en las arenas cementadas formando concreciones o costras continuas las cuales son muy duras y difíciles de remover.

Los parámetros a ser considerados para anteproyectos de excavación (rango de valores estimados para arenas pobremente cementadas y muy densas) son: ϕ entre 35° a 50° ; $c = 0$; $\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$ y 20 kN/m^3 .

b) Resistencia

La resistencia de las arenas cementadas, varía según el grado de saturación en que se encuentre. En afloramientos, cuando esta expuesta al sol, presenta baja humedad. Las arenas cementadas cuando están confinadas son muy resistentes, sin importar que se ubiquen por encima o por debajo del nivel freático. Sobre este material asientan la mayor parte de los edificios importantes de Asunción.

c) Licuefacción de arenas en el fondo de excavaciones

Se han observado fenómenos de licuefacción de arenas en el fondo de excavaciones realizadas por debajo del nivel freático. Este fenómeno afecta solo a los primeros centímetros (Bosio 1997b).

d) Formación de cárcavas.

Lo que originariamente constituyeran pequeñas hendiduras en la roca, se fueron ensanchando a través del tiempo hasta alcanzar el grado en que se encuentran en la actualidad, bajo la influencia de otros factores, como el deslizamiento de sus bordes y la propia erosión lateral.

5 CARTA GEOTÉCNICA PROPUESTA

En las Figuras N° 1, 2 se presentan algunos planos originados a partir del estudio efectuado (ver Tabla 2). En la Figura N° 3 se observa la zonificación propuesta y descrita anteriormente.

Zona	Superficie	Datos	Incidencia
OF	15 km ²	24	2,00 %
OCA	53km ²	743	61,92 %
OA - OCR	49km ²	433	36,08 %

Tabla 2. Incidencia de datos por superficie.

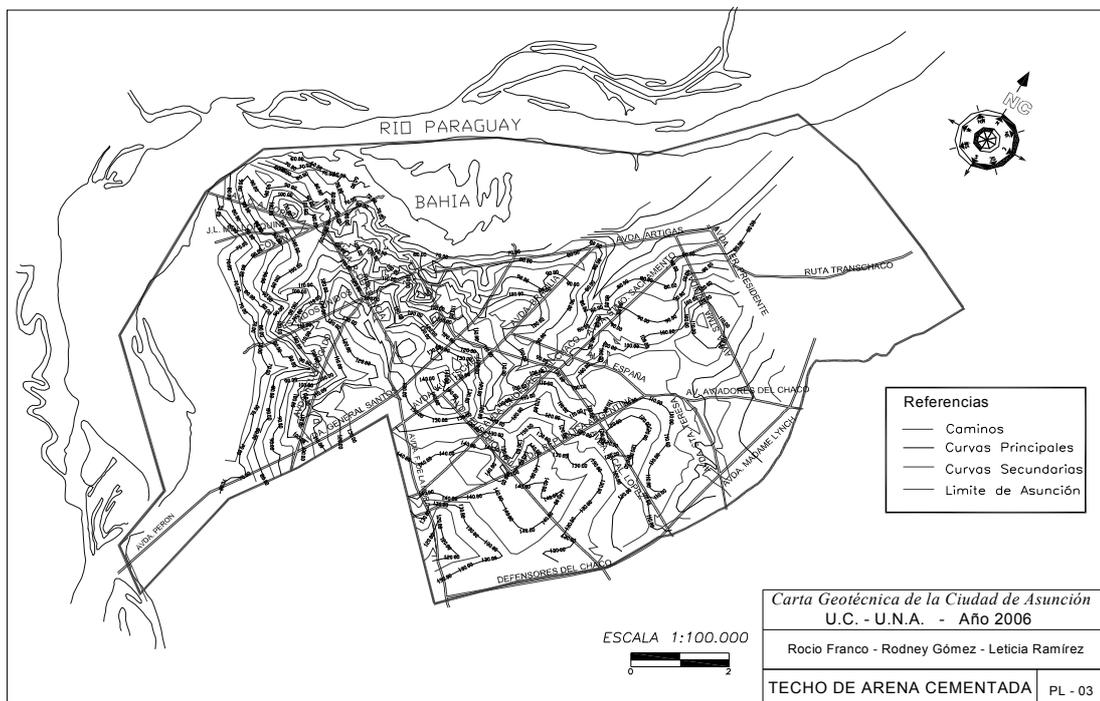
2) Realización del mapa actualizado de isopacas del techo de las arenas cementadas (Figura 1).

3) Realización del mapa de cauces y ríos de Asunción, que actualmente se encuentran en sectores entubados, colmatados y con ocupaciones, con información detallada de nombres, nacientes, desarrollo de los cauces y desembocadura (Figura 2).

4) La carta geotécnica presentada permite obtener las siguientes informaciones: (a) División de la ciudad de Asunción en zonas de comportamiento similar, (b) caracterización geotécnica de los horizontes de cada zona, de acuerdo a la profundidad, (c) mapeo de nivel freático, (d) características de excavabilidad, (e) índices geotécnicos de los suelos de cada zona, (f) información preliminar de cárcavas existentes, y (g) particularidades en las características del subsuelo detectadas en las diversas zonas.

5) La información presentada en la Carta Geotécnica propuesta se encuentra totalmente georeferenciada utilizando herramientas informáticas del tipo GIS (Geographical Information System).

6) Es un elemento sumamente dinámico y de fácil utilización, dicha carta requiere de constantes actualizaciones debido al crecimiento de la ciudad.



6 CONCLUSIONES

Figura 1. Techo de arena cementada.

Se pueden mencionar los siguientes aportes de esta investigación:

1) El relevamiento de los diversos datos existentes inherentes a este trabajo, sobre el área de la región de estudio.

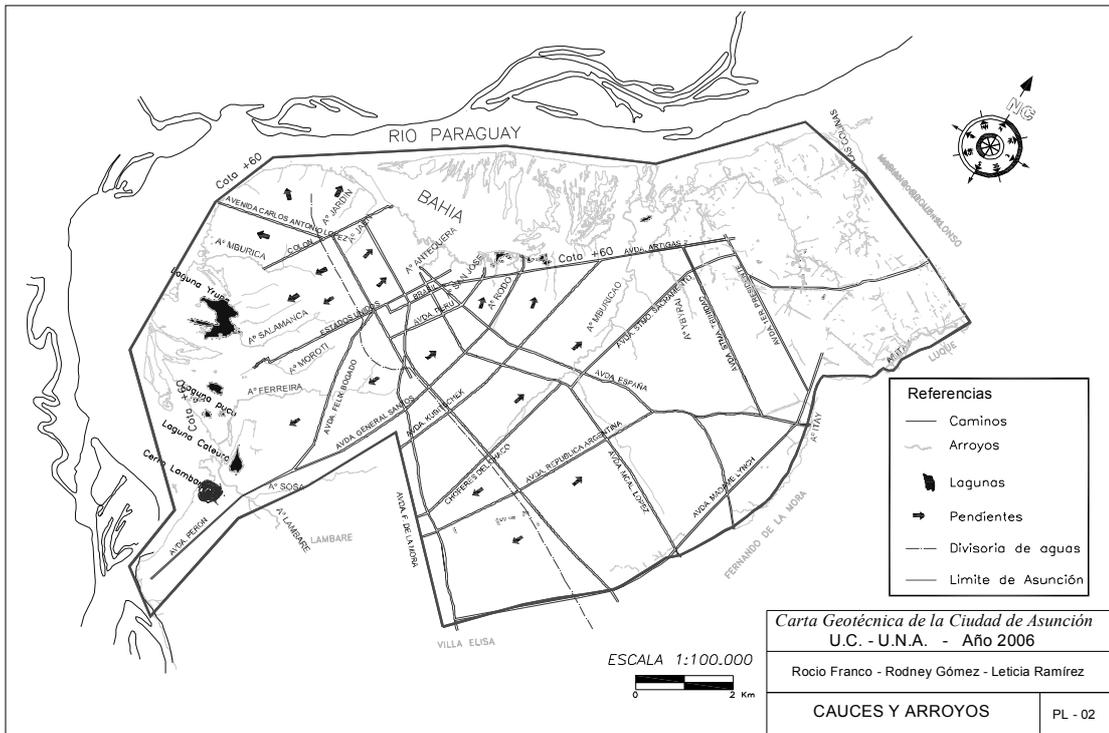


Figura 2. Cauces y Arroyos.

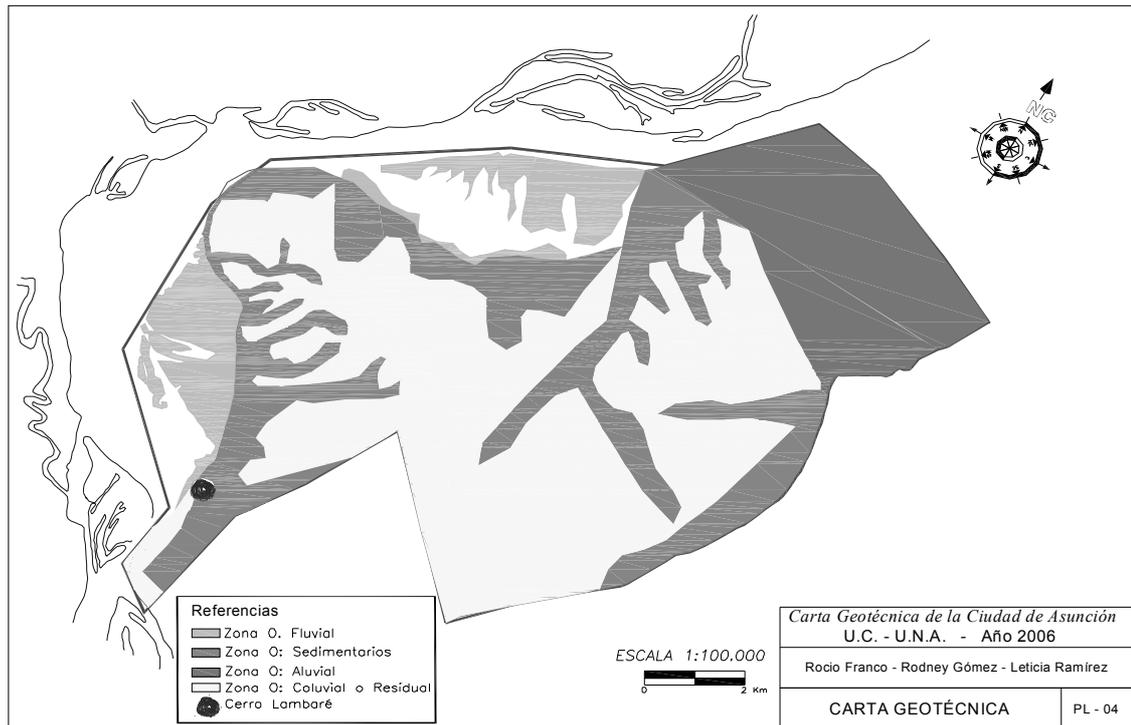


Figura 2. Zonificación propuesta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Bartel, W. "El Desarrollo del Semi-Graben de Asunción". Technische Universitat Clausthal, Clausthal - Zeerfeld. (1994).
- 2) Bosio, J.J. "Origen de las arenas cementadas muy densas y de las areniscas muy blandas de Asunción y alrededores". Sociedad Científica del Paraguay. Asunción. Paraguay. Abril 1997.
- 3) Bosio, J.J. "Licuefacción de Macizos de Arenas Cementadas muy Densas en Excavaciones por Debajo del Nivel Freático" I Congreso Paraguayo de Ingeniería Geotécnica. Asunción. Paraguay (1997).
- 4) Brizuela A., Insfran E., Paniagua D. "Estudio de las características geotécnicas de los suelos areno-arcillosos y arcillo-arenosos de la ciudad de Asuncion". Tesis de Grado. Facultad de Ciencias y Tecnología. Universidad Católica "Nuestra Señora de la Asunción" (1987).
- 5) Dirección General de Estadísticas y Censos (DGEEC). Censo 2002 de la Ciudad de Asunción. <http://www.dgeec.gov.py>.
- 6) United Status Deparment of Agricultura (USDA). "Keys To Soil Taxonomy". Soil conservation service. Sixth Edition. (1994).
- 7) Velásquez J.C., Pflugfelder P. "Vulnerabilidad Geoambiental del Gran Asunción". Tesis de Postgrado. Universidad Nacional de Asunción. (1997).