

## Memoria de la Carta Geológica del Área Metropolitana de Montevideo.

Dr. Jorge Montaña; Lic. Rosario Guérèquiz; Lic. Martín Apratto; Lic. Andrés Pérez; Prof. Héctor Morales; Lic. Paula Collazo & Lic. Silvana Martínez.

### Introducción:

El subsuelo de Montevideo y su cono suburbano está conformado por rocas ígneas y metamórficas de edad Arqueano - Proterozoicas que pertenecen al Cratón del Río de la Plata, definido por Almeida (1976 *in Bossi et al* 1998), esta denominación sustituyó al nombre original de "Escudo de la Cuenca del Río de la Plata", propuesto por Ferrando & Fernández (1971 *in Bossi et al* 1998). Bossi *et al* (1993) proponen cambiar el nombre o término Cratón, debido a sus implicancias geotectónicas por el nombre de "Terreno Piedra Alta", teniendo en cuenta la definición de terrenos tectonoestratigráficos (Mpodozis & Herve, 1991 *in Bossi et al* 1993) como entidades geológicas que presentan una asociación estratigráfica con historia geológica diferente de la de sus vecinos.

El Terreno Piedra Alta es un conjunto litoestructural que comprende tres cinturones metamórficos groseramente paralelos de rumbos E-W, separados por áreas granito - gnéicas. Cada uno de estos cinturones incluye una formación metamórfica de origen vulcano sedimentario y plutones geoméricamente asociados (Bossi *et al*, 1998). Estos tres Cinturones eran:

- Cinturón Arroyo Grande
- Cinturón San José
- Cinturón Montevideo.

siendo el Cinturón Montevideo el considerado para este trabajo. Bossi *et al* (1999), sugieren un nuevo cambio en la estructura del Terreno Piedra Alta y en consecuencia proponen sustituir el nombre de Cinturón Montevideo por el de Cinturón Pando, incluyendo dentro de este Cinturón a la Formación Montevideo y a un conjunto de intrusiones magmáticas: granitos de Soca; Sosa Días; Tío Diego, y los granitos descritos por Walther (1948 *in Bossi et al* 1998) dentro de lo que hoy es la Ciudad de Montevideo: Capurro, La Teja y Malvín. En el presente documento, se continúa con la denominación anterior, para evitar confusiones con nuevas denominaciones que no generan un aporte significativo a la Geología del Cinturón Montevideo. Por otra parte, en función de la escala de mapeo utilizada, no están representadas las unidades magmáticas anteriormente comentadas. De los granitos intrusivos en el Cinturón Montevideo, solo se relevó al Granito de la Paz por su representatividad en la escala de mapeo.

Durante el Mesozoico, hacia el Juro-eo-Cretácico, el Terreno Piedra Alta es afectado por la fracturación de Gondwana. A ésta etapa de fracturación se asocian la génesis y apertura de las fosas tectónicas del S y SE (Santa Lucía – Minas – Aiguá - Lascano - Velázquez y Laguna Merín); las cuales forman parte del Lineamiento SaLAM, definido por Rosello *et al* (1999); de las cuencas marginales de Salado – Punta del Este y del magmatismo básico, ácido y alcalino del sureste del país. En esta fase ocurre la FASE I o Extensional de SaLAM, de edad Juro–eo-K, que está representada por magmatismo de intraplaca y escasa sedimentación asociada. La FASE II de SaLAM o fase Transtensional Dextra ocurre hacia fines del cretácico inferior, en el aptiano - albiano. Esta es una fase pos rift en Gondwana y para las cuencas del SaLAM, excepto para la cuenca Santa Lucía (CSL) que aún se encuentra en la fase rift. La CSL, que tradicionalmente ha sido considerada como una cuenca extensional pura tipo rift abortado, ha cambiado, pues Veroslavsky (1999) relaciona la génesis con los fallamientos normales producidos por un campo de esfuerzos transtensional dextral, resultante del movimiento durante el Mz de zonas de cizalla transcurrente precámbricas, como consecuencia del inicio de la deriva de la placa sudamericana al W a partir del Aptiano. Del relleno sedimentario de la Cuenca Santa Lucía, que es la que se encuentra en la zona de mapeo, afloran sedimentos Cretácicos pertenecientes al Cretácico Superior Maastrichtiano y corresponden a la ex Formación Asencio, definida por Bossi (1966) cuyo nombre fue sustituido por el de Formación Mercedes – Asencio, definida por Goso Aguilar (1999), de acuerdo a las relaciones genéticas de las mismas.

Las litologías del Terreno Piedra Alta y parte de los sedimentos Cretácicos de la Cuenca Santa Lucía, se encuentran cubiertas en la mayor parte del área por sedimentos Cenozoicos Paleógenos y Neógenos, representados por las Formaciones Fray Bentos, Raigón y Chuy; sedimentos de edad Cuaternaria conformados por las Formaciones Libertad, Dolores y Villa Soriano; y sedimentos de Formaciones Actuales, representados por dunas fósiles, aluviones y bañados. Afloramientos de sedimentitas Cenozoicas se observan en la zona de Santiago Vázquez, Parque Lecoq, Melilla Paso de la Arena, alrededores de Bañados de Carrasco, en la desembocadura del Arroyo Miguelete, Sayago, Manga, etc.; constituyendo aproximadamente el 60% del área Metropolitana de Montevideo

La columna estratigráfica planteada en el presente trabajo es la siguiente:

<b>Actual:</b>	
	Bañados
	Aluviones
	Dunas
<b>Cenozoico:</b>	
	Fm. Villa Soriano
	Fm. Dolores
	Fm. Libertad
	Fm. Chuy
	Fm. Raigón
	Fm. Fray Bentos
<b>Mesozoico:</b>	
	Fm. Mercedes-Asencio
<b>Precámbrico- Cámbrico:</b>	
	Granito de La Paz
<b>Proterozoico Inferior :</b>	
Cinturón Montevideo	
	Fm. Mosquitos
	Fm. Montevideo

## Descripción de las Unidades

### 1. Proterozoico Inferior:

#### 1.1. Cinturón Montevideo

El Cinturón Montevideo Incluye una Formación compuesta por litologías vulcano – sedimentaria con el mismo nombre, metamorfozada en grado medio y una serie de plutones con relaciones geométricas y temporales respecto de los metamorfitos (Bossi *et al* 1998). Se trata de una faja de aproximadamente 30 kms de ancho que con un rumbo general E-NE va desde Punta Espinillo en el occidente del departamento de Montevideo hasta la localidad de Solís de Mataojo en el departamento de Lavalleja. Se hallan intruídas en el centro - oeste de esta área por rocas ígneas ácidas más modernas. El límite norte de éste Cinturón de desarrollo regional ENE está determinado por una asociación de milonitas, granitos y pegmetitas con llamativa abundancia de muscovita y granate, definida como Formación Mosquitos (Campal *et al* 1988 *in* Bossi *et al* 1998).

Los afloramientos son abundantes a lo largo de la costa del Río de la Plata y en los lechos de cañadas y arroyos. Donde es posible observar algunas de sus litologías más típicas como ser: gneisses, anfibolitas, micaesquistos y cuarcitas. Su presencia disminuye hacia el continente, donde presentan cobertura vegetal o mantos de alteración con espesores variables (con un máximo de 2 mts) asociados a zonas bajas y/o de actividad tectónica de intensidad diversa. En general son rocas de alta resistencia a la erosión, dando paisajes con relieve positivo y ondulado

##### 1.1.1. Formación Montevideo:

Esta unidad fue definida originalmente por Bossi (1965) y su acepción actual se debe a Bossi *et al.* (1993) quién caracteriza una secuencia sedimentaria y otra de origen volcánico (Bossi *et al* 1998).

### Secuencia Sedimentaria:

Esta secuencia en la Formación Montevideo incluye para-anfibolitas, micaesquistos y para-gneisses a veces grafíticos. También asociada a esta secuencia se encuentran cuarcitas a biotita o muscovita en zonas restringidas

Los **gneisses** constituyen en la zona de estudio la litología más abundante y extendida de las pertenecientes a la Fm. Montevideo.

Los **para-gneisses** grafíticos poseen texturas granolepidoblásticas y están constituidos por oligoclasa + cuarzo + biotita + epidoto ± feldespato alcalino + hornblenda ± granate ± grafito. Son de grano fino y se alternan bandas claras y oscuras, llegando excepcionalmente a micaesquistos biotíticos. La esquistosidad está bien desarrollada y se asocian a pequeños bancos de anfibolitas. Como resultado del crecimiento tardío de feldespato potásico sobre oligoclasa estos gneisses se transforman en cuerpos granitoides en Playa Malvín; La Teja; Playa La Colorada.

Los gneisses afloran en la costa del Río de la Plata, Playa Carrasco, Punta Gorda, Club del Golf, Canteras del Parque Rodó, Punta Yeguas, Pajas Blancas, Puntas de Sayago, etc.. Hacia el continente sus principales afloramientos son en los alrededores de Plaza Independencia (Edificio de Radison – Victoria, Edificio del Sodre, Palacio de Justicia, etc) y en la cuenca de la cañada de las Canteras, donde se ubica CANTERAS MONTEVIDEO, empresa que suministra el mayor volumen de piedra partida utilizada por la Industria de la Construcción en el área metropolitana de Montevideo.

Las **anfibolitas** son las rocas que en frecuencia de afloramientos y extensión superficial, siguen en importancia a los gneisses anteriormente descriptos. se reconocen solamente en el departamento de Montevideo, en buena parte gracias a los estudios de Walther (1948 *in* Bossi *et al* 1998), quien diferencia entre para y orto anfibolitas en base a criterios texturales, mineralógicos y en función de la naturaleza del protolito.

Las **para anfibolitas** resultantes del metamorfismo de rocas sedimentarias de grano fino (pelitas), son rocas esquistosas, de grano medio a grueso textura nematoblástica, compuestas por hornblenda y andesina, con abundante esfeno como accesorio (Bossi *et al* 1998). Tienen menor resistencia a la meteorización y sus mejores afloramientos se dan en la costa del Río de la Plata (Playa del Cerro).

Los **micaesquistos** afloran principalmente en la costa S.W del departamento de Montevideo (Playa del Cerro; Frigorífico Nacional; dique de la Armada) y en el oeste del Departamento de Canelones (Colonia Nicolich) . Los mismos están compuestos por muscovita, biotita, cuarzo y granate. De acuerdo con el mineral dominante se clasifican en micaesquistos a dos micas (biotita y muscovita) o a muscovita; con granate como accesorio principal. Un relevamiento detallado realizado por Schipilov y Gaucher (1992 *in* Bossi 1998) permitió definir características litológicas y estructurales:

- La paragénesis consiste en muscovita, biotita, granate almandino, estauroлита, andalucita, plagioclasa y cuarzo en ese orden de abundancia y con cristales centimétricos de estauroлита y andalucita.
- Es reconocible la superficie So de sedimentación original, a la cual responde el bandeo composicional actual

Una datación realizada por Cingolani *et al* (1997) sobre estas litologías aflorantes en el Parque Rodó (Montevideo) dio una edad Rb/Sr de  $1990 \pm 32$  con  $R_0 = 0.7008$ .

Son rocas muy poco resistentes a la meteorización, ello limita sus posibilidades de afloramiento. Esto permite suponer que su extensión superficial dentro de la zona estudiada pueda ser más importante que el área en que actualmente se conoce su existencia. A su vez durante los procesos meteóricos, el manto de alteración que se genera contiene una alta proporción de arcillas expansivas (esmectitas); minerales muy problemáticos para las posibilidades de circulación del agua subterránea y/o obras de infraestructura.

Las **cuarcitas**, Se desarrollan fundamentalmente en el N.E del Área Metropolitana, Joaquín Suarez, Pando. Se trata de rocas de grano fino, con cuarzo como mineral esencial y biotita o muscovita, o ambas micas como mineral accesorio más importante. Son muy resistentes a la meteorización y determinan en aquellas áreas en que predominan una topografía elevada.

## **Secuencia Volcánica**

Las litologías asignadas a esta secuencia incluyen orto-gneisses graníticos y orto-anfibolitas (Bossi *et al.* 1998).

Los **orto-gneisses graníticos**, según describen Cardellino y Ferrando (1969 *in* Bossi *et al.* 1998) presentan un tamaño de grano medio a grueso, biotíticos y homogéneos, con esquistosidad muy mal definida, compuestos por cuarzo, oligoclasa a andesina (hasta An<sub>35</sub>) y biotita como minerales esenciales, acompañados de muscovita y zoisita. La presencia de microclina es excepcional y de cristalización tardía, aunque Walther (1948 *in* Bossi *et al.* 1998) en las canteras de Euskal Erria, describe fenómenos de granitización.

Las **orto-anfibolitas** derivadas del metamorfismo de rocas efusivas básicas, son de textura masiva y de grano fino, con restos de augita de los basaltos originales. Domina la textura nefrítica con fibras entrecruzadas de esmaragdita y hornblenda, entre las que se desarrollan cristales de andesina (Bossi *et al.* 1998). Consecuentemente con ello tienen una gran resistencia a la meteorización; tal como lo demuestran las dos elevaciones más importantes del área como son el Cerro de Montevideo y el Cerrito de la Victoria, conformados por este tipo de roca.

Las rocas de las secuencias sedimentaria y volcánica forman pliegues con ejes predominantemente horizontales. En el caso más típico, las diferentes litologías son concordantes desde el punto de vista estructural, aunque pueden aparecer discordancias entre gneisses y anfibolitas como resultado del metamorfismo de filones doleríticos recortando la primitiva pila sedimentaria (Bossi *et al.* 1998). Existe una **Actividad Filoniana Asociada** que es una particularidad casi constante en toda el área donde se desarrolla la Fm. Montevideo, es el intenso recorte de las litologías descritas como pegmatitas con aplitas asociadas. Se trata de cuerpos filonianos de potencia variable entre los 0.10m. y más de 15m., compuestos principalmente por feldespatos potásicos, cuarzo y biotita, siendo muscovita, y turmalina minerales accesorios.

Afloran en Punta Carretas, Playa La Colorada, Punta Espinillo, Playa del Cerro (SE), Dique Nacional de la Armada, Parque Rodó, Pajas Blancas y Punta del Descanso (Malvín) Estructuralmente su rumbo varía entre N30E a N45E con buzamientos de bajo ángulo.

La existencia de esta intensa actividad filoniana, merece señalarse en virtud de su particular textura y peculiar composición mineralógica, parámetros que asociados a la tectónica sufrida por estas litologías las convierten en zonas altamente factibles para la circulación y acumulación preferencial del agua subterránea en el dominio de la Formación Montevideo.

### **1.2. Formación Mosquitos**

Esta unidad litoestratigráfica fue definida por Campal *et al.* (1988) y agrupa diversas rocas peraluminosas con abundante muscovita y deformación de grado variable pero siempre importante, asociándose localmente a foliación molonítica. Determina una faja con rumbo dominante N40E - N60E, y puede ser observada en las márgenes del Arroyo Pando, alrededor del barrio Aeroparque, margen oriental del Arroyo Toledo al norte de la ruta nacional N<sup>o</sup>8 y en el cauce medio margen oriental del Ayo. Miguelete. Se extiende hasta los cerros Mosquitos. lugar donde adquiere u máxima expresión geomorfológica y de donde fue tomado su nombre.

Estratigráficamente esta unidad es posterior a la Fm. Montevideo y genéticamente se vincula a la generación de una gran zona de cizalla, durante la fase rúptil de la tectónica rígida que sufrió el zócalo durante el Proterozoico.

Las rocas más abundantes son los gneisses muscovíticos que, localmente poseen un seguro origen milonítico, pues la foliación envuelve megacristales de cuarzo rotados y aparece flujo del cuarzo alrededor de granos de feldespato. Los granitos a muscovita, presentan tamaño de grano entre fino y medio, compuestos por microclina, cuarzo, muscovita y oligoclasa en ese orden de abundancia. Localmente contienen además granate, reafirmando el carácter peraluminoso.

Esta formación aparece como netamente discordante respecto a las unidades vecinas tanto al S (Formación Montevideo) como al (migmatitas y granitos de anatexis). La discordancia al respecto de los metamorfitos de grado medio es estructural, pues desarrolla foliación dominante N60E/ 80N y una segunda foliación horizontal, mientras que los metamorfitos del Sur tienen un rumbo principal EW ( Bossi *et al.* 1999).

Lo hipótesis actual ( Bossi *et al* 1999) es que ésta asociación litológica se genere por fusión de meta sedimentos en un proceso de cabalgadura vinculado a una etapa de recalentamiento sub cortical seguido de esfuerzos de compresión que vieron facilitado el desplazamiento por la fusión de materiales que actuaron como lubricantes.

En esencia, Bossi *et al* (1999) suponen que el conjunto de litogías de alto aluminio, con muscovita y granate en rocas cuarzo - feldespáticas se debe asociar a los granitos tipo S formados por fusión de la Corteza Continental (Bossi *et al* 1999).

## 2. Precámbrico – Cámbrico

### 2.1. Intrusiones Asociadas al Cinturón Montevideo: Granito de la Paz

Se trata de un granito leucócrata, con facies hasta muy gruesas (casi pegmatoides) que son dominantes en el cuerpo y facies equigranulares desarrolladas hacia el sur (Oyhantçabal *et al.* 1990), las primeras facies presentan 25% de cuarzo en cristales xenomorfos y subhédricos, 59% de feldespatos potásicos (microclina y algo de ortosa) 2% de plagioclasa de composición albitica y 4% de ferromagnesianos (biotita y anfibol). Los equigranulares muestran 24% de cuarzo, 53% de feldespatos alcalinos (microclina y ortosa). 1 8% de albita y 5% de ferromagnesiaxos (biotita y anfibol) con epidoto, calcita, circón, epidoto y fluorita.

Por su parte Cardelino y Ferrando (1969 *in* Bossi *et al* 1998) describieron litogías a biotita y otras a hornblenda. Para estos últimos autores las características petrográficas son 70% de microclina peritítica, albita ( $An_5$ ) en venas o en pequeños cristales independientes, 29% de cuarzo, con biotita como accesorio principal (Bossi *et al* 1965). En las facies con hornblenda como accesorio, la plagioclasa tiene composición  $An_{30}$  y la roca presenta muy poco cuarzo. Presenta enclaves negros, de grano fino y borde neto con oligoclasa ( $An_{25-30}$ ) asociada a biotita y hornblenda, con fluorita, cuarzo, apatito y epidoto como accesorios (Cardellino y Ferrando, 1969).

En las canteras existentes en los alrededores de las ciudades de La Paz y Las Piedras, es posible observar como la roca ha sido intensamente afectada por la tectónica Cretácica (transtensiva - tranpresiva) asociada al Lineamiento SaLAM, en esta zona representado por la cuenca *Pull Apart* de Santa Lucía (Veroslavsky, 1999), cuya dirección regional de rumbo N60-70°E y fracturas N60E a N70E- y N30W a N45W han generado una intensa fracturación de la roca, llevandola a tamaños arena y permitido la meteorización de los minerales más inestables (hornblenda, biotita).

Este proceso transformó el granito en un material de tipo *balasto*, que es explotado activamente para la producción del pedregullo que consume la ciudad de Montevideo. A su vez la existencia en esta área de este tipo de material, permite la acumulación y circulación del agua subterránea.

Este granito fue datado por Umpierre y Halpern (1971 *in* Bossi *et al* 1998) obteniendo una edad Rb/Sr de  $566 \pm 15$  MA (con la constante corregida a valores aceptados actualmente).

## 3. Mesozoico:

Las litologías mapeadas en la zona de trabajo que se corresponden con este período temporal se encuentran asociadas desde el punto de vista genético estratigráfico a la segunda etapa de sedimentación continental de la Cuenca del Litoral, definida por Goso Aguilar (1999), en particular a la **Formación Mercedes - Asencio**.

La enorme cuña basáltica, representada por la Formación Arapey, a partir del Cretácico superior, genera una reactivación tectónica en el NW, permitiendo una renovación de la subsidencia de la cuenca Norte en el litoral W del País, con la consecuente instalación de una nueva área de sedimentación continental bajo condiciones climáticas áridas que es la Cuenca del Litoral, definida por Goso Aguilar (1999). La misma está limitada por el Lineamiento Daymán – Bonete y al sur por el Lineamiento Martín García. Esta Cuenca es el resultado de una depresión desarrollada por subsidencia termo–mecánica en la porción septentrional de la Plataforma Sudamericana, ocasionada por la acomodación litostática producto de la acumulación de casi 1000 m de basaltos de la Fm Arapey. La configuración de la cuenca resultó de la actividad tectónica durante Pz y Mz que compartimentaron e influenciaron el desarrollo de los eventos depositacionales, los cuales ocurrieron en 2 etapas. La Etapa 2 en la evolución de la cuenca del Litoral comienza a fines del coniaciano hasta

el maastrichtiano, en este período se depositan las areniscas y conglomerados de la Ex Formación Asencio, definida por Bossi (1966) hoy **Fm. Mercedes - Asencio** redefinida por Goso Aguilar (1999), a causa de representar el mismo evento depositacional con algunas intermitencias depositacionales que forman paleosuelos que representan pequeñas discontinuidades.

Las litologías que la componen están representadas en un 50% por **areniscas** con varias granulometrías, desde grano fino (mayoritario) pasando por medio hasta grueso (subordinadas). Las **areniscas finas** exhiben buena selección. En general no presentan matriz pero cuando la poseen es muy escasa y está compuesta por minerales arcillosos. Estas se presentan en estratos decimétricos. El 85 a 90% de los clastos son de cuarzo redondeados, hay pocos feldespatos pero alcanzan para definir la roca como un Wacke Feldespático. La sedimentita es clasto soportada y en su mayoría se encuentra cementada por óxi-hidróxidos de hierro y carbonatos. El color predominante es rojizo debido a los óxidos de Hierro. Algunos estratos son masivos mientras que otros presentan laminación paralela, cruzada planar y gradación normal. Las **areniscas medias y gruesas** presentan matriz de arena fina, selección moderada y contenido variable de cemento, por lo cual el grado de consolidación no es homogéneo. Los contactos de las areniscas son poco erosivos. El 30% son **conglomerados**, con clastos de 8 a 10 cm, polimícticos (esquisto, granito gneis y cuarcita) y se encuentran en la base del estrato conglomerádico mostrando gradación normal. En la base la matriz es arenosa fina a media. Morfológicamente predominan los clastos angulosos de baja selección. Presentan estructuras como estratificación cruzada en artesa, estratos masivos o con gradación normal. Sus contactos en la base son erosivos. El 20% restante se compone por **pelitas**, algunas arenosas, con geometría lenticular, desde masivas a laminadas (plano paralela), asociadas con láminas de carbonatos en planos de depositación

La asociación de facies identifica un trato de sistemas fluvio aluvial con escurrimiento al SW (Goso Aguilar, 1999). En esta unidad se exponen evidencias de transformaciones epigenéticas como calcetización, silicificación y ferruginización. Por otro lado la formación de paleosuelos, en particular del *Geosuelo Palacio* definido por Goso Aguilar & Guérèquiz (2001) marca períodos no depositacionales. En este momento se amplió el escenario sedimentario al S, pasando el Río Negro hasta el Linamiento Río San Juan y para el E hasta la Falla Sarandí del Yí – Arroyo Solils Grande. La región del Lineamiento Río Negro comenzó a funcionar como depocentro y se llamó depocentro MERCEDES y al sur, contra el Linamiento Río San Juan se genera una subcuenca con el depocentro NUEVA PALMIRA. El Depocentro Young sigue funcionando. Ahora cambia el eje depositacional de EW a NS, depositando junto al borde tectónico de la cuenca. La existencia de conglomerados inmaduros asociados a barras fluviales le permiten a Goso Aguilar (1999) afirmar que el paleoclima era más húmedo que en el K inferior.

En la zona de estudio se encuentran principalmente litologías arenosas. Las mismas afloran en el Departamento de Canelones, en los poblados de San Francisco Grande, El Dorado y Vista linda y en las márgenes del arroyo San Isidro, asociadas lateralmente en forma discordante con el Granito de la Paz.

#### 4. Cenozoico:

La estratigrafía de los depósitos sedimentarios Cenozoicos, a pesar de ser una de las primeras en haberse comenzado a estudiar, sigue planteando, dudas básicamente por la calidad y extensión tanto de los fenómenos involucrados como la de los afloramientos de las distintas unidades. Esto se ve agravado y reflejado por la complejidad en la nomenclatura utilizada para varias de las unidades, muchas veces locales; así como por la mezcla de criterios lito, bio, cronoestratigráficos y geomorfológicos (Bossi *et al* 1998). En la zona de trabajo se encuentran representadas seis unidades las cuales se describen a continuación.

##### 4.1. Formación Fray Bentos (Oligoceno)

Definida por Bossi (1966) la Formación Fray Bentos se corresponde con el Piso Palmirensis, limo rojizo Terciario o limo loessoide Palmirensis y Piso Santa Lucense de Kraglievich (1932 *in* Bossi *et al* 1998), Capas de Fray Bentos de Lambert (1939 *in* Bossi *et al* 1998), Estratos de Fray Bentos de Jones (1956), Limos de Fray Bentos (Caorsi y Goñi 1958). Anteriormente formó parte de las unidades denominadas: limos rojizos parecidos al Pampeño descritos por Darwin (1839 *in* Bossi *et al* 1998), loess infra pampeano cretácico de Roth (1921 *in* Bossi *et al* 1998), Formación Araucana loessoide o Terreno Loessoide Araucano de Kraglievich (1928 *in* Bossi *et al* 1998), Tosca del Mioceno Superior o Tosca parda de Frenguelli (1930), Estratos de Punta Gorda de Walther (1931 *in* Bossi *et al* 1998).

Se desarrolla en prácticamente todo el litoral uruguayo desde Bella Unión en el N, hasta el NE del Departamento de Treinta y Tres. Su espesor máximo se registra en la Cuenca de Santa Lucía y Laguna Merín, con 90m en Rincón de la Bolsa y 91m en el sondeo de Puerto Gómez (Bossi *et al* 1998).

Fray Bentos se apoya discordantemente sobre rocas de varias unidades: sustrato granítico metamórfico del Terreno Piedra Alta, basaltos de las Formaciones Mariscal y Arapey, así como todas las litologías cretácicas. Es cubierta también discordantemente por las Formaciones suprayacentes: Camacho, Raigón, Salto y Libertad.

Las litologías pertenecientes a esta formación son predominantemente limosas, con variaciones a veces significativas en el contenido de arcilla, arena fina y carbonato de calcio. Localmente estas aleurolitas engloban clastos angulosos de grava, dando lugar a brechas matriz soportadas. Esta litología siempre se desarrolla en la base de la Fm. Fray Bentos, cuando la misma se apoya sobre regolitos de litologías anteriores (Basamento cristalino)

En el área metropolitana de Montevideo, las rocas pertenecientes a esta unidad pueden clasificarse como brechas, psamitas y algunas pelitas.

Las **brechas** son matriz soportada con clastos de pegmatitas, anfibolitas de la Fm. Montevideo, de hasta 20 cm medidos en el eje mayor, distribuidos en forma caótica en una matriz limo arcillosa de color castaño anaranjado. La génesis de estos sedimentos se debe al arrastre del material erosionado del Basamento Cristalino por flujos de alta densidad (flujos de barro) que se generaron durante, o, posteriormente a lluvias torrenciales estacionales. Afloramientos de esta litología fue posible observar en las inmediaciones de Santiago Vázquez, en las calles Camino de la Paloma, Chile y al suroeste del estadio Luis Tricoli, en una zanja para saneamiento de un complejo habitacional.

Las **psamitas** (areniscas) de grano fino a muy fino, de regular a buena selección, con matriz arcillosa abundante y carbonato de calcio distribuido en la masa, macizas, medianamente tenaces, de color anaranjado a blancuzco. Afloramientos de éstas características fueron encontrados en las cercanías de la ciudad de La Paz y en los alrededores de Santiago Vázquez. También podemos encontrar en algunas zonas (alrededores de La Paz, Melilla, etc.) una roca limosa bien seleccionada (loess) masiva moderadamente tenaz de color anaranjado a blancuzco, dependiendo la tonalidad del contenido de carbonato de calcio en la masa.

A su vez en las costas de los Bañados de Carrasco encontramos **pelitas**, donde la Formación Fray Bentos alcanza uno de los espesores máximos conocidos para el área metropolitana. Supera los 30 m, siendo por ahora en la zona de Melilla, en la cual se registra la mayor potencia conocida, superior a los 60m, donde se halla cubierta discordantemente por la Formación Libertad.

Para el **laboreo**, los distintos tipos litológicos descritos (areniscas, loess, lutitas y brechas) son en general de mediana a muy leve tenacidad, no presentando dificultades. Desde el punto de vista **hidrogeológico** son rocas de buen comportamiento respecto a las posibilidades de circulación del agua subterránea, esto se relaciona con propiedades como baja porosidad del orden del 10% debido a la presencia de granulometrías finas (arcillas, limos) en gran proporción (más del 50%). En relación a la **infiltración**, los valores para las distintas litologías como brechas, lutitas y loess, son inferiores a 6mm/h; las areniscas varían entre 6mm/h y 10mm/h.

En lo referente a la **edad**, a pesar de algunas discusiones al respecto, desde los datos iniciales de Kraglievich (1928, 1932) a los más actuales de Mones y Ubilla (1978) y Herbst (1980) entre otros, confirman que la depositación de Fray Bentos se produjo en el Oligoceno.

#### 4.2. Formación Raigón (Pleistoceno).

Esta unidad litoestratigráfica fue definida por Goso (1965) en el departamento de San José en la localidad que lleva su nombre y publicada por Goso y Bossi (1966) Es en ese departamento donde presenta sus mayores espesores y expresión superficial. En el área metropolitana de Montevideo su desarrollo está limitado al relleno de paleo - depresiones de origen tectónico o erosivo. Dicha depositación esta gobernada por las fluctuaciones del nivel del mar. Su desarrollo limitado y con espesores que no superan los 30 m.

Se dispone en discordancia sobre distintas litologías del Terreno Piedra Alta o sobre las formaciones Fray Bentos y Camacho. Es cubierta discordantemente por la formación Libertad. En el litoral W, según la definición original pasa lateralmente a la formación Salto, en tanto que hacia el E y SW, en la

interpretación actual, se considera como lo más razonable que evolucione a la formación Barra del Chuy.

Su perfil tipo original en los alrededores de la localidad homónima ha desaparecido, por lo que se considera necesario su redefinición en las barrancas del balneario Kiyú, donde además aflora piso y techo de la Formación, el que esquemáticamente muestra desde la base a la cima la siguiente sucesión:

Las litologías más características existentes en el área pueden ser definidas como **areniscas** medias a finas, con niveles lenticulares de **conglomerados** sub redondeados, en general cuarzosos, de matriz arcillosa, medianamente friables de colores ocres a pardo rojizos.

Hacia la base se encuentran **arcillas verdes**, originadas en un ambiente depositacional reductor.

Pérez (1990) señala que la Formación Raigón forma parte de un sistema fluvial entrelazado de alto régimen de flujo, en el que las pelitas representan la sedimentación de baja energía en canales abandonados.

Los afloramientos de esta formación se encuentran en Paso de la Arena, barrio Los Bulevares, Nuevo París, desembocadura del Arroyo Miguelete, Parque Lecoq, alrededores de Bañado de Carrasco, en la calle Camino Carrasco y en el Arroyo Pantanoso. Las áreas de afloramientos más continuas se dan en el oeste del área metropolitana, cuenca del arroyo Pantanoso, desembocadura del arroyo Miguelete y en la ex Playa Capurro. En la cuenca del Arroyo Carrasco se presenta en forma continua sobre Camino Carrasco en el área comprendida entre Avda. Bolivia y el Arroyo.

En relación al **laboreo** y a la realización de obras, todas las litologías descritas se comportan como friables y no presentan dificultades. En referencia a su comportamiento **hidrogeológico** es la unidad sedimentaria, que mejor respuesta tiene respecto a las posibilidades de circulación del agua subterránea, la limitante respecto a su capacidad de almacenamiento esta relacionada, con su poca extensión superficial.

Los valores relativos a la velocidad de **infiltración** de esta formación para la zona estudiada varían sustancialmente en función del tipo litológico considerado:

- |  |             |
|--|-------------|
| • arcillas verdosas de la base         | 0 a 2 mm./h |
| • areniscas arcillosas                 | 2 a 6 ,mm/h |
| • areniscas y conglomerados cementados | 20 a 30mm/h |

#### 4.3. Formación Chuy (Pleistoceno).

Bossi *et al* (1998) proponen designar con el nombre de **Formación Barra del Chuy**, a los sedimentos cartografiados como Formación Chuy por ELIZALDE (1976a) y que se corresponden por lo menos parcialmente con las denominaciones de Paso del Puerto (BOSSI *et al.*, 1975) y Chuy (GOSO y ANTON, 1974 *in* Bossi *et al* 1998). La mayor deferencia con estos últimos autores radica en que ellos se refieren a materiales de la Perforación realizada en esa localidad, y actualmente parece más lógico designar la unidad con el nombre de un punto de buena exposición, y en este caso además, muy cercano y casi homónimo como la Barra del Chuy. Esta Formación se correspondería con unidades de denominación similar de DELANEY (1963, 1965, 1966, 1967, 1967 *in* Bossi *et al* 1998). ECOCHARD (1970), LACOMBE (1970) y GOSO (1972). Este último autor identifica tres episodios designados, respectivamente, como Chuy I, Chuy II y Chuy III. Los autores prefieren utilizar la denominación anterior en función de la distancia física entre el área estudiada y el área en la que se plantea la nueva denominación.

Con esta denominación identificamos a los sedimentos predominantemente arenosos que conforman la terraza más antigua existente al Oeste del Río Santa Lucía y que se expone en Rincón de la Bolsa. No tienen por lo tanto desarrollo superficial importante dentro del área metropolitana del departamento de Montevideo, ya que sus afloramientos se restringen a una pequeña zona ubicada en el oeste. Las litologías más comunes son **areniscas** medias y gruesas con estratificación paralela, cuarzo feldespáticas y de granos redondeados, intercalada con areniscas finas friables de color blanco y en la base **pelitas** arenosas y areniscas arcillosas de colores verdes.

#### 4.4. Formación Libertad

Esta Formación fue definida por GOSO (1965) para denominar parte de los sedimentos anteriormente denominados Pampeanos por JÓNES (1956 *in* Bossi *et al* 1998) y CAORSI y GOÑI (1958 *in* Bossi *et al* 1998). Se desarrolla discordantemente en el S sobre distintas litologías del Terreno Piedra Alta y

de las formaciones Fray Bentos, Raigón y Chuy principalmente. Ocupa una extensión considerable en los departamentos del SW desapareciendo gradualmente hacia el N. Esta unidad ha presentado serias dificultades para su identificación debidas principalmente al tipo y tamaño de afloramientos existentes en su área de ocurrencia y su similitud litológica con productos actuales de alteración edáfica, desarrollados sobre basaltos, litologías graníticas, las facies superiores de Mercedes y de Raigón (Bossi *et al* 1998).

Hoy se acepta que en la formación Libertad deben incluirse solamente las lodolitas macizas pardas friables con arena gruesa dispersa y con constante presencia de carbonato de calcio en formas variadas: pulverulentas, concreciones huecas, ovoides o ramificadas. La presencia de minúsculos cristales de yeso es también un rasgo casi omnipresente.

Es la sedimentita de mayor desarrollo dentro del área metropolitana de Montevideo, ocupa entre el 60-70% de la superficie y se encuentra entre cotas 20 y 40 m. Son rocas sedimentarias pelíticas bien seleccionadas (loess) y mal seleccionadas (lodolitas). Las **lodolitas** son heterolíticas, disponiéndose los cantos dispersos en forma caótica en una matriz limo-arcillosa. Otro elemento composicional constante en esta unidad es el **carbonato de calcio**; el mismo se presenta bajo distintas formas:

- como concreciones de relativa dureza (muñecas, caliches de espesores centimétricos, etc)
- como un polvo blanco muy fino en formas nodulares en la masa.
- como relleno de fisuras planares, o, subhorizontales.

No presentan casi cohesión, por lo que se erosionan fácilmente dando cárcavas o desapareciendo totalmente en laderas bajas a cotas inferiores a 10 m. Morfológicamente esta formación determina un paisaje suavemente ondulado, con lomadas amplias y redondeadas con poca pendiente en sus laderas. En la mayoría del área urbana y suburbana cubre en discordancia al Basamento Cristalino, con espesores variables. Siendo el máximo conocido de 15 m. en la zona de Aparicio Saravia y Garzón. En el este del área suburbana, ruta interbalnearia a la altura del km.25. Afloramientos de esta unidad se exponen en los accesos a Montevideo, Ruta 8, Parque Lecoc, Buceo, Camino Tonkinson, Barrio Casabó, Melilla, Manga. En estos afloramientos se presenta como en **loess**, o como una lodolita de color pardo a pardo rojizo. En general estas lodolitas presentan bajo porcentaje de arena gruesa (1%), constituidos por granos subangulosos. En las cercanías de La Paz aumenta la proporción de arena gruesa, presumiblemente por el arrastre durante la deposición de este sedimento de materiales meteorizados del granito. En general cuando se apoya sobre el Basamento en el área urbana y suburbana, estos limos ganan material arenoso grueso o gravilloso al incorporar material de alteración del basamento, así encontramos en las faldas del Cerro de Montevideo, clastos de hasta 20 cm. Es común la presencia de carbonato de calcio en forma laminar horizontal, producto de una antigua napa freática desecada. Esta disposición es muy común en este sedimento, observándose muy claramente en el Barrio Casabó.

Un tema de destaque lo constituye la **formación de suelos** a partir de esta formación. Se trata de suelos bien desarrollados con un horizonte orgánico A de 0.60 a 1 m de espesor apoyado sobre un horizonte B textural, argilúvico, con arcillas expansivas, impermeable para condiciones de disponibilidad hídrica. La estructura de este suelo determina la dinámica de la infiltración profunda, anulándola en los períodos de lluvia y aumentando en la época de sequía por el resquebrajamiento del suelo.

El **laboreo** del conjunto de litologías descriptas no presentan dificultades, salvo las relacionadas con presencias de espesores considerables de carbonato de calcio (mayores a 50 cm). Desde la óptica **hidrogeológica** constituye un reservorio de agua muy pobre por su baja permeabilidad. Aunque existe una acumulación de agua freática, que dificulta las obras de implantación de tuberías o cementaciones. valores en relación a la velocidad de **infiltración** del agua en esta formación, indican que la misma es muy lenta siendo menor a 6 mm/h.

#### 4.5. Formación Dolores (Pleistoceno)

Esta unidad fue definida por ANTON y GOSO (1974 *in* Bossi *et al* 1998) en los alrededores de la ciudad homonima en el SW del Uruguay, donde según BOSSI y NAVARRO (1988) su potencia no supera los 10 m PRECIOZZI *et al.* (1985) cartografía el mayor desarrollo superficial de esta unidad en la cuenca de la Laguna Merin, situación confirmada por MONTAÑA y BOSSI (1995) durante relevamientos detallados. Consiste en **lodolitas masivas** de origen continental, friables de color pardo con locales tonos gris verdosos. La granulometría es variable pero siempre fina, con contenido en limo relativamente constante entre 35 y 47%. El rasgo dominante para su identificación es de corte

geomorfológico, porque determinan planicies con mínimas ondulaciones y pendientes inferiores al uno por mil,

En el área metropolitana de Montevideo se presentan rellenando planicies o terrazas Post – Libertad - Chuy y son entalladas por cursos de agua que depositan sobre ellas sedimentos más modernos. No tienen desarrollo superficial muy significativo, ya que su zona de afloramientos está limitada a la margen oeste del Río Santa Lucía en la zona de Rincón de la Bolsa.

#### 4.6. Formación Villa Soriano (Holoceno)

El nombre de Villa Soriano fue propuesto por ANTON y GOSO (1974) para sustituir el de Vizcaíno BOSSI, 1966), que se corresponde con las anteriores nominaciones de Transgresión Querandina de KRAGLIEVICH (1928) y arcillas grises de Vizcaíno de CAORSI y GOÑI (1958). Esta Formación se desarrolla íntimamente asociada a la costa actual del Río de la Plata.

Se trata de cuerpos sedimentarios **arenosos**, cuyo origen se vincula a una de las varias faces transgresivas del mar ocurridas durante el Cuaternario y que afectó a todo el Río de la Plata, incluso al litoral oceánico de nuestro país. En relación con el área metropolitana de Montevideo, sólo se conocen afloramientos de esta unidad en la desembocadura del Río Santa Lucía y en las inmediaciones del Parque Lecoq.

### 5. Actual:

#### 5.1. Dunas

Se desarrollan hacia el continente en la costa del Río de la Plata, están constituidas por **arenas finas** bien seleccionadas redondeadas cuarzosas, de estratificación cruzada de color blanco. Los depósitos más extensos tienen lugar al norte y al este de la desembocadura del Arroyo Carrasco (Parque Roosevelt y Parque Miramar) y al norte de los arcos costeros situados al oeste de Pajas Blancas. Son materiales de fácil desagregación por lo que no ofrecen dificultades para su laboreo. Tienen un alto coeficiente de **infiltración** superior a 50 mm/hora.

#### 5.2. Aluviones y arenas costeras

Los **aluviones** son sedimentos originados por el arrastre del escurrimiento superficial y volcados hacia los arroyos y cañadas que los depositan en sus orillas. En general están ubicados por debajo de cota 10 y en algunos lugares por debajo de cota 5. La textura dominante es **limo-arcillosa** con presencia de materia orgánica siendo productos de la erosión de suelos y otros materiales preexistentes principalmente la formación Libertad. Son sedimentos friables y generalmente se presentan saturados de agua. Los valores de infiltración son muy bajos se encuentran entre 0 y 6 mm/hora.

Las **arenas costeras** Están desarrollándose sobre la costa y playas del Río de la Plata. Están constituidas por **arenas medias a finas** redondeadas cuarzosas con estratificación cruzada de color blanco. Esporádicamente se observan pequeños estratos milimétricos de color oscuro debido a la concentración de minerales densos. Los depósitos más extensos se encuentran en la desembocadura del Arroyo Carrasco, el cinturón de playas de Montevideo y los arcos costeros situados al oeste de Palas Blancas. Son materiales fácilmente desagregables con un alto coeficiente de **infiltración** mayor a los 50 mm /hora.

### Análisis Tectónico Estructural

El método aplicado para el análisis tectónico estructural, consistió en la medición de direcciones de esquistosidades, diaclasas, fallas, filones, etc.; que sumado al análisis de fotolineaciones permitió reconocer el patrón tectónico estructural de la zona de estudio. El procesamiento de la información se realizó en base a dos criterios fundamentales: longitudes y frecuencias de las lineaciones.

El registro tectónico de la zona denuncia varias etapas de deformación. Dichos eventos han afectado preponderantemente a las rocas del basamento cristalino, y han controlado los procesos de depositación sedimentaria.

El evento orogénico Transamazónico, afecta a las litologías de la Formación Montevideo, generando deformaciones en régimen dúctil a dúctil-rúptil. Evidenciadas por las lineaciones de esquistosidades en los gneisses, anfíbolitas y micaesquistos y por los micropliegues que sufren las litologías,

especialmente observadas en las anfibolitas (por ej. Pajas Blancas) La dirección principal de este fenómeno es Ns – y EW con variaciones, alcanzando minoritariamente la dirección N60E y N80W, con buzamientos verticales a subverticales (80° al S y excepcionalmente 45° a 50°) siendo los ejes de micropliegues, en general, horizontales. No ha sido posible distinguir apropiadamente la deformación en régimen rúptil de este evento, puesto que actualmente se superponen otras posteriores; sin embargo Cardelino y Ferrando (1969), estiman que serían las de dirección N30/40W, por estar rellenas de filones pegmatíticos, observación que comparten los autores. Esto implica una fase distensiva hacia el final del orógeno, en régimen dúctil-rúptil, puesto que algunos de éstos filones generan pliegues y formas irregulares. . El estudio de las deformaciones en régimen rúptil se realizó mediante el análisis de fotoalineaciones y datos de campo.

La fracturación N70E constituye la principal dirección del linamiento SaLAM en la zona representado por la cuenca *pull apart* de Santa Lucía (Cretácica), que es el evento regional más importante, siendo las restantes lineaciones las conjugadas y subsidiarias de ella. Paralelamente a esta cuenca, se han formado fosas tectónicas de menor tamaño generadas por hundimientos o levantamientos de bloques, producidos por los fallamientos asociados a la apertura de la fosa principal y reactivados durante el terciario inferior. En el área relevada se reconoció la existencia de una de estas fosas al suroeste del Arroyo Pantanoso, con dirección N60E a N70E que contiene aproximadamente 36 m de relleno sedimentario.

#### **BIBLIOGRAFIA:**

ALMEIDA, F.F.M. de geochronological division of the precambrian of south america. Revista brasileira de Geociencias (2-3) : 27-36, san Pablo Brasil.

BOSSI, J & NAVARRO, R Geología del Uruguay. Ed. Universidad de la República – Uruguay. (1991)

BOSSI,J; FERRANDO, L; MONTAÑA, J; CAMPAL, N; MORALES, H; GANCIO, F; SCHIPILOV, A.; PIÑEYRO, D & SPRECHMANN, P (1998). Carta Geológica del Uruguay a escala 1:50.000. Ed. Facultad de Agronomía en CD-ROM.

BOSSI,J; PIÑEYRO, D; SCHIPILOV,A; CAMPAL, N; FERRANDO, L; CINGOLANI, C; LLAMBIAS, & VARELA, R. (1999) Segundo Taller Itinerante Terreno Piedra Alta. Ed. Facultad de Agronomía.

CARDELINO, F & FERRANDO, F. Carta Geológica del Departamento de Montevideo. A escala 1:100000. Universidad de La República - Uruguay. (1969)

CASANOVA, O.; PERDOMO, C.; & CIGANDA, V. (1997) Contaminación de aguas con nitrato de origen agrícola en Uruguay. En las actas del Congreso Internacional Sobre Aguas, Workshop sobre Química Ambiental y Salud. Buenos Aires; Argentina.

CORONEL, N & VEROVSLASKY, G & GOSO, C Carta Geológica del fotoplano La Barra – Los Cerrillos-, a escala 1:10000. . Ed.: DINAMIGE – Facultad de Agronomía – Facultad de Humanidades y Ciencias. (1989)

GOSO , C (1999) Análisis Estratigráfico del Grupo Paysandú Tesis de Doctorado UNESP. Río Claro SP.

GOSO, C & GUEREQUIZ, R (2001) hipótesis acerca del origen de las grutas del palacio, Fm. Mercedes – Asencio (Ks) Departamento de Flores, Uruguay. En Actas en CD-ROM del III Congreso Uruguayo y XI Latinoamericano de Geología.

GUSTAFSON, G & KRASNY, J (1994) Crystalline rock aquifers: their occurrence, use and importance. Applied Hydrogeology 2(2):64-75.

MONTAÑO J.& CHULEPIN H. Carta Geológica de Montevideo. C. S. I. SOGREA. (1992)

MONTAÑO, J. & GUÉRÉQUIZ, R. Impacto Del Riego En Sistemas Fisurados. Área De Punta Espinillo – Montevideo Uruguay. Trabajo enviado al XXXII IAH (International Association of Hydrogeologists) & IV ALHSUD CONGRESS 2002, “Aguas Subterráneas y Desarrollo Humano”, que se realizará en Mar del Plata, Argentina, en octubre de 2002.

MONTAÑO, J.; COLLAZO, P.; GUÉRÉQUIZ, R.; & MARTÍNEZ PAULO, S. Estudio Hidrogeológico en la zona de Punta Espinillo – Depto de Montevideo. Informe Interno PRENADER.(1998b).

MONTAÑO, J.; COLLAZO, P.; GUÉRÉQUIZ, R.; & MARTÍNEZ PAULO, S. Metodología para el estudio de los sistemas hidrogeológicos discontinuos – Punta espinillo (Uruguay). Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología. Tercera Epoca Nº 7 año 2000 (2000b).

MONTAÑO, J.; COLLAZO, P.; GUÉRÉQUIZ, R.; & MARTÍNEZ PAULO, S.. Banco de datos Hidrogeológico del Uruguay. En las actas del 4º Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Montevideo – Uruguay. Noviembre de 1998. (1998ª)

MONTAÑO, J.; COLLAZO, P.; MARTÍNEZ, S. & GUÉRÈQUIZ, R. Caracterización Hidrogeológica de sistemas Fisurados – Punta Espinillo (Uruguay). En las actas del 1º Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas; Fortaleza, Ceará - Brasil, julio - agosto de 2000. (2000a).

MONTAÑO, J.; DA ROSA, E; GUÉRÈQUIZ, R.; COLLAZO, P.; & MARTÍNEZ PAULO, S. Planificación para la recuperación en sistemas hidrogeológicos discontinuos – Punta Espinillo – Uruguay. En Prensa en la Revista de ALHSUD (Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo) (2001a).

MONTAÑO, J.; GUÉRÈQUIZ, R.; CAZAUX, S.; MONTAÑO, M; GAGLIARDI, S.; PEREIRA, A. & VIDAL, H. Determinación de la Capacidad de los Sistemas Fisurados de Punta Espinillo Informe Interno para PRENADER (2001b)

OYANTÇABAL, P; DERREGUIBUS, M. T , MUZZIO, R. (1990) Contribución al conocimiento petrográfico, geoquímico y estructural del granito de la paz. 1º Congreso Uruguayo de Geología, Resúmenes ampliados 1: 81-87 Montevideo.

PRECIOZZI , F et. al., Carta Geoestructural del Uruguay a escala 1:200000, (1979) Ed.: DINAMIGE.

PRECIOZZI, F; SPOTURNO, J; HEINSEN, W Y ROSSI, P. (1985) Carta Geológica del Uruguay a escala 1:50.000. Ed. DINAMIEGE.

ROSELLO, E; DE SANTA ANA, H & VEROSLAVSKY, G (1999) Lineamiento Santa Lucia - Aiguá - Merin (Uruguay): Un rifting Transtensivo Mesozoico Abortado Durante la Apertura Atlántica. Boletim do 5º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil e 1º Simposio sobre el Cretácico de América del Sur Serra Negra -SP Brasil 29 /08 al 02/09 de 1999.

VAZ CHAVEZ, N Análisis estructural del área de Punta Espinillo.(inédito) (1991).

VEROSLAVSKY, G. (1999). Geología da Bacia de Santa Lucia – Uruguai. Instituto de Geociências e Ciências Exactas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Tese de Doutorado, 152p.

WALTHER, K Estudio petrográfico de la Formación Montevideo. Instituto Geológico del Uruguay. (1947)