

# **MAPA GEOLOGICO DEL PARAGUAY**

## **Proyecto PAR 86**

**Escala 1:1.000.000**

# **TEXTO EXPLICATIVO**

## Indice

- Introducción
- 1.1 Generalidades
- 1.2 Criterio de Compilación
- 1.3 Metodología
- 1.4 Estructura del Texto
  
- 2. Las Unidades Geológicas del Paraguay
  - Las Grandes Unidades Geológicas del Paraguay
  
- 3. El Basamento Precámbrico/Eopaleozoico
  - Estratigrafía
  - El Basamento Precámbrico/Eopaleozoico en el Alto Apa
  - Complejo Basal del Apa
  - Grupo San Luis
  - Grupo Itapucumí
  - Grupo San Ramón
  - El Basamento Precámbrico/Eopaleozoico en el Alto Caapucú
  - Complejo Río Tebicuary
  - Grupo Paso Pindó y Villa Florida
  - Grupo Caapucú
  - Aspectos Geocronológicos
  
- Eopaleozoico (Ordovícico-Silúrico-Devónico)
  - Consideraciones Iniciales
  - Estratigrafía
  - Grupo Caacupé
    - Formación Paraguari
    - Formación Cerro Jhu
    - Formación Tobatí
    - Consideraciones sobre el Grupo Caacupé
  - Grupo Itacurubí
    - Formación Eusebio Ayala
    - Formación Vargas Peña
    - Formación Cariy
  - Formación Cerro León
  - Formación San Alfredo
  - Consideraciones sobre el Silúrico/Devónico del Paraguay Occidental
  - El Devónico en el Paraguay Oriental
  
- Neopaleozoico (Carbonífero-Pérmico)
  - Consideraciones Iniciales
  - Estratigrafía
  - Formación Coronel Oviedo
  - Formación Aquidabán
  - Grupo Palmar de Las Islas
    - Formación San José

Formación Cabrera  
Grupo Independencia  
Formación San Miguel  
Formación Tacuary

Mesozoico

Consideraciones Generales

Estratigrafía

- 6.2.1 Formación Misiones
- 6.2.2 Complejo Alcalino Sapucái
- 6.2.3 Formación Alto Paraná
- 6.2.4 Formación Acaray
- 6.2.5 Formación Adrián Jara

Cenozoico

Cosideraciones Iniciales

Estratigrafía

Grupo Patiño

Formación Ñemby

Formación Chaco

Unidad Terciaria/Cuaternaria Indiferenciada

Formación San Antonio

Unidad Cuaternaria Indiferenciada

Geología Estructural

Historia Geológica

10. Bibliografía

## Tablas, Cuadros y Figuras

Tabla I La columna litoestratigráfica del Precámbrico/Eopaleozoico

Tabla II La columna estratigráfica Basamento en el Alto de Caapucú

Tabla III La columna estratigráfica del Eopaleozoica

Tabla VI La columna estratigráfica del Neopaleozoica

Cuadro 1 La columna estratigráfica con los datos de datación

Cuadro 2 La columna estratigráfica correlacionada en todo el área

Fig. 1 Principales Elementos Geotectónicos del Paraguay

Fig. 2 Bosquejo Estructural del Paraguay

Fig. 3 Sección Geológica en Alto del Apa

Fig. 4 Sección Geológica SW-NE en el Paraguay Oriental

Fig. 5 Sección Geológica entre Asunción y Ciudad del Este

Fig. 6 Alineamiento en la América del Sur y sus relaciones con el Escudo del Guaporé

Fig. 7 Evolución Tectosedimentaria del Paraguay en el Fanerozoico

Fig. 8 Mapa Geológico General del Paraguay

Fig. 9

Fig. 10 Probable Distribución de la Cuenca Sedimentaria Silúrica en el Paraguay Oriental

# **1. Introducción**

## **1.1 Generalidades**

El mapa geológico del Paraguay realizado sobre un formato digital georreferenciado que cubre una extensión aproximada de 406.800 km<sup>2</sup> a escala 1:1.000.000 está acompañado del Texto Explicativo que resume informaciones sobre la geología del Paraguay y trata de integrarlo a un cuadro evolutivo regional.

Durante los últimos años diversos proyectos de investigaciones que incluyen algunos mapeamientos, permitieron el conocimiento geológico, especialmente de la región oriental. Los estudios regionales se componen de un conocimiento avanzado, aunque por partes obtenidos a través de proyectos tales como el Proyecto Aquidabán, The Anschutz Co., Proyecto de Mapeamiento en las áreas de las presas de Yasyretá, Itaipú y Corpus, en las que fueron utilizadas metodologías y criterios diversos. La integración de estos mapas permite alcanzar un doble objetivo:

- 1° Normalizar documentos cartográficos diferentes en cuanto a escala, grado de exactitud y naturaleza de las informaciones registradas.
- 2° Destacar las primeras caracterizaciones de las unidades geológicas de la región.

Las escala elegida se considera la más adecuada por el momento, considerando la complejidad observada en esta parte de la región, durante el desarrollo del trabajo. El formato en edición de dos hojas del Paraguay, la adopción de una leyenda sencilla y los procedimientos de impresión digital, han permitido que los mapas sean bien ilustrativos.

## **1.2 Criterio de Compilación**

En principio se efectuó una recopilación de la máxima cantidad de informaciones relacionadas con los aspectos geológicos de interés para su cuidadoso procesamiento. Una vez ordenada y seleccionada esta información, se procedió a su verificación. La mayoría de las veces, esta información utilizada estuvo basada en trabajos de campo.

Se ha respetado la bibliografía de los autores con sus interpretaciones, las que se encuentran expresadas en los mapas y textos. En algunos casos, se efectuaron breves comentarios en relación a estos.

La Texto Explicativo, que aquí se presenta, trata de esclarecer y homogeneizar las informaciones sobre litologías, estructuras, magmatismo y metamorfismo utilizadas en los mapas regionales y de América del Sur. Se tuvieron como objetivos lograr que los mapas sean explicativos a través de sus leyendas ordenadas según la escala del tiempo y que reflejen los datos más exactos posibles.

## **1.3 Metodología**

La elaboración del mapa geológico y su texto explicativo se inició con una recopilación de la máxima cantidad de documentación geológica disponible. De entre éstas, los datos obtenidos de los trabajos realizados por la compañía The Anschutz Co. (1976-1983), especialmente su mapa geológico a escala 1:500.000 de la región oriental, fueron de extraordinaria importancia ya que permitieron identificar áreas en las que se hacían necesarios trabajos de campo a nivel de reconocimiento.

Posteriormente, se efectuaron análisis de las leyendas de los mapas disponibles, con el fin de definir criterios de agrupamiento de las unidades geológicas, basados en los trabajos de: Harrington (1950), Eckel (1959), Putzer (1962), Cuadrículas 40 y 41 (1966), Proyecto Aquidabán (1974), Palmieri – Velázquez (1982) y The Anschutz Co. (TAC-1982). Estos análisis permitieron establecer una primera columna geológica, que fue modificada a medida que avanzaban los conocimientos.

Las discrepancias entre los diferentes mapas, fueron superadas en base a los datos de las bibliografías utilizadas y a veces arbitrada con la experiencia de los autores del presente trabajo y con charlas auspiciadas por la Asociación de Geólogos del Paraguay.

El área correspondiente a las rocas Paleozóicas fue objeto de una extensiva revisión en la distribución de sus unidades litológicas y estructurales.

A través de reconocimientos de campo se pudieron definir unidades que afectaron a los periodos Silúricos, Carbonífero y Pérmico del Paleozoico y, a las formaciones del Cenozoico.

Se suprimieron detalles de representación menores considerados de poca trascendencia, no obstante, se hicieron figurar aquellos considerados significativos desde el punto de vista geológico. Por ejemplo, lo relacionado con la estructura tectónica, las fracturas, que se hacen notar de acuerdo a la escala del mapa.

La síntesis cartográfica permitió también establecer una “legenda” que compone un cuadro general simplificado de la geología del Paraguay. Fueron indicadas las relaciones de contacto entre litologías de diferentes unidades y las relaciones entre éstas, a través de un conjunto de símbolos agrupados o delimitado por las indicaciones de las grandes etapas de evolución tectónica. Descripciones relativamente detalladas al lado del cuadro principal de las convenciones, registran la composición litológica de la unidad.

El Texto Explicativo pretende alcanzar un nivel interpretativo de modo a unificar los datos existentes y los nuevos procesos geológicos que se han deducido, evitando así avanzar en nuevas formulaciones.

Para la geología del Chaco Paraguayo, en principio, se utilizaron imágenes satelitarias LANDSAT (TM y MSS), incluyendo esta tarea el análisis de red de drenaje, topomorfología, geología; mosaicos fotoaéreos de escala 1:240.000 y fotografías aéreas de escala 1:60.000. En el Cenozoico se establecieron nuevas unidades que aún deben ser estudiadas con mayores detalles.

### **Estructura del Texto**

En base al volumen de la información disponible sobre la geología del Paraguay, la organización del texto sigue un lineamiento general clásico partiendo de las unidades más antiguas hacia las más jóvenes y acompañando el sentido evolutivo de éstas.

Inicialmente se hizo un breve estudio de las unidades más significativas que componen el país y una evolución de los mapas geológicos paraguayos desde el primero de Harrington (1950), E.B.Eckel (1959), Putzer (1962), Palmieri – Velázquez (1982). Tales estudios sirven de introducción para el texto siguiente y para la descripción de la leyenda, sus partes y finalidades.

A continuación se inicia con la descripción de la plataforma sudamericana (Almeida et. al.,1976), la que presenta las más marcadas variaciones litológicas, estructurales y geocronológicas del país. La descripción de las unidades estratigráficas procura sintetizar las informaciones disponibles remitiendo al lector,

siempre que sea necesario, a las fuentes originales, de tal forma a enriquecer el tema sin pérdida de su secuencia.

El capítulo siguiente trata sobre las formaciones de la Cuenca del Paraná, originada durante épocas de estabilidad de la plataforma (Almeida, 1969).

Esta cobertura se distribuye en gran parte del territorio paraguayo.

A este respecto, señalaremos en el texto particularidades en la geología del Paraguay, tales como la Cuenca del Paraná está sobrepuesta a la Cuenca del Chaco a partir del Devónico, en la parte oriental lo cual se debe al levantamiento del Arco de Asunción en esta época. Otra particularidad es el gran afloramiento del Silúrico (la Serranía de Altos), en la zona del graben de Asunción, el horst del Chaco (Cerro León) y la preservación de rocas de este período, en profundidad en la zona de Lima, a 200 km al Noreste de Asunción, debido a grandes tectonismos durante el Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico respectivamente.

## 2 Las Unidades Geológicas del Paraguay

### 2.1 Las Grandes Unidades Geológicas del Paraguay

Los principales elementos geotectónicos del Paraguay están constituidos por cuencas sedimentarias del Fanerozoico y altos regionales que los separan. La estructura tectónica actual del Paraguay es de edad Cretácico-Terciario, periodo de intensa reactivación estructural seguido por manifestaciones ígneas de carácter volcánico, estando los más jóvenes representados por las basanitas olivínicas (lherzolites) de la Formación Ñemby con 46 m.a. (Oligoceno).

Las principales cuencas sedimentarias del Paraguay son: las de Curupayty, Carandayty, Purity, Pilar y del Chaco en la región occidental, y la cuenca del Paraná en la región oriental (Fig. 1). Estas cuencas poseen historias diferenciadas a través del Fanerozoico, lo que permite describirlas como elementos geológicos de comportamiento tectónico individualizados.

Las cuencas sedimentarias de la región occidental tienen casi todas sus columnas sedimentarias en sub-superficie, estando rellenas actualmente, por sedimentación Cretácico-Terciario de la Cuenca del Chaco, con excepciones de las cuencas norteñas de Curupayty y Carandayty que poseen afloramientos de algunas de sus unidades estratigráficas (Gómez Duarte, 1986), en la parte norte del Alto de Boquerón y a lo largo de los Altos del Chaco Central y Lagerenza. Geotectónicamente, todas cuencas sedimentarias de la región occidental, son del tipo pericratónicas, desarrollándose como exposiciones marginales de cuencas del tipo marginal o fajas móviles, hacia el interior cratónico.

Las cuencas de Curupayty y Carandayty tienen una columna sedimentaria que comienza en el Silúrico, teniendo como basamento la sedimentación Precámbrica - Cámbrica de las coberturas de plataforma de ciclo Brasiliano (750 a 450 m.a.). Constituyen un prolongamiento hacia el cratón de cuencas bien desarrolladas en Bolivia. Están hoy delimitadas por los Altos de Boquerón y de Lagerenza (Fig. 1). El Alto de Boquerón constituye la continuación hacia el noreste del Arco de Michicola de gran influencia en las cuencas salteñas en Argentina.

Las cuencas de Purity (o Pirizal) y Pilar separadas de las dos cuencas más septentrionales por los Altos del Chaco Central y de Boquerón, están separadas por el Alto de Hayes que presenta el prolongamiento hacia el noreste del arco de Quirquincho, borde septentrional del arco Pampeano, límite entre las cuencas de Lomas de Olmedo y Chaco Paranaense en la Argentina. Estas dos cuencas probablemente recibieron poca sedimentación en el Paleozoico Inferior, aún no conocido en su sustrato, pero en el Cretácico presentan una columna sedimentaria de más de 3.000 metros de espesor. Constituyen también expansiones marginales de cuencas pericratónicas cuyo centro deposicional se encontraba más al sur, en la Argentina.

Debido al intensivo relleno Terciario-Cuaternario, causado por el gran abanico sedimentario de la evolución del drenaje del río Pilcomayo, no hay afloramiento de las unidades litoestratigráficas de las Cuencas de Purity y Pilar y todo el conocimiento de sus límites y estratigrafía, se debe a trabajo de geofísica y perforaciones asociadas a la exploración petrolera.

La Cuenca del Chaco, anteriormente considerada como una cuenca sedimentaria con desarrollo desde el Paleozoico, es definida en este trabajo como un elemento



tectónico que empieza con el alzamiento de la cadena de la Cordillera Andina que corta la comunicación

Fig. 1 Principales Elementos Geotectónicos del Paraguay

pericratónica de las antiguas cuencas, comenzando una sedimentación dirigida de W hacia el E, rellenando toda el área de la región occidental, en el Cretácico-Terciario.

La Cuenca del Paraná es una cuenca sedimentaria intracratónica del tipo 2A complejo (Fúlfaro et. al., 1982), que empieza su sedimentación en el Carbonífero Superior (Stephaniano) y tiene como su límite occidental el Arco de Asunción (o Central Paraguayo), ubicado aproximadamente en el actual curso del río Paraguay (Fig. 1). Por su litoestratigrafía y contenido fosilífero es una cuenca Gondwánica. Está totalmente ubicada en la región oriental, donde sus unidades sedimentarias poseen una dirección Norte-Sur en marcada diferenciación con la dirección NW-SE de la antigua cuenca Silúrica (Ver Capítulo 8). Juntamente con la cuenca del Chaco, fueron considerados en todos los trabajos geológicos anteriores, como las dos únicas cuencas sedimentarias del Paraguay (Harrington, 1956; Eckel, 1959; y Putzer, 1962).

Los variados períodos de reactivación estructural en el Paraguay, marcadamente el que se indica en el Cretácico y sigue hasta el Terciario, determinan la presencia de altos y bajos tectónicos conocidos como Alto del Chaco Central y Lagerenza, en la región occidental (Gómez Duarte, 1986) y los Altos del Apa y Caapucú, en la región oriental, separados por el Bajo de San Pedro (Fig. 1, 4 y 5).

El Alto del Apa tiene como límite Sur el Bajo de San Pedro a través de las fallas Jejuí/ Aguaray-Guazú (Fig. 1 y 4).

Tiene continuación Norte hacia el Brasil y su historia geológica es bastante compleja (Ver Capítulo 9). Actualmente, en el área están expuestas rocas cristalinas de edades Precámbrico Inferior y Precámbrico Superior/ Eopaleozoico y su evolución geológica afectó la deposición de las unidades sedimentarias de la Cuenca del Paraná.

En consecuencia de estas renovadas manifestaciones tectónicas, el área presenta actualmente un relieve moderado (con puntos topográficos más altos, cerca de 200 metros), debido a la prolongada erosión. Topográficamente se destacan las riolitas y pórfidos del Grupo San Ramón (E-D) que alzaron los metasedimentos del Grupo San Luís (Precámbrico Superior), y “horst” de calizas del Grupo Itapucumí (PRE-E) como se demuestra en la Fig. 3.

Al Sur del Paraguay Oriental está localizado el Alto de Caapucú, que constituye también un área de afloramientos de rocas cristalinas y metasedimentos de edades Precámbrico Inferior a Precámbrico Superior/Eopaleozoica. Al igual que el área del norte, tiene un relieve moderado destacándose lomas y cerros constituidos por pórfidos y granitos del Grupo Caapucú de esta edad. Su límite norte marcado por un gran alineamiento de dirección NW-SE donde está ubicado un alto estructural de rocas del Silúrico, lo que constituye la razón de los afloramientos de rocas con esta edad en el Paraguay Oriental. Este alto estructural se denomina en este trabajo, Alto de Asunción (Fig. 4 y 5) y aproximadamente en su parte central, se localiza la depresión del Lago Ypacaraí, con dirección N 30°W, provocado por hundimientos de bloques escalonados y por muchos años considerado como la principal estructura tectónica del Paraguay (Harrington, 1950 y 1956; Eckel, 1959; y Putzer, 1962). El Bajo de San Pedro es una gran depresión tectónica en el Centro del Paraguay Oriental cuyo límite

norte es el alineamiento NE-SW de la falla de Jejui/Aguaray Guazú, y al Sur, por el alineamiento NW-SE que constituye el borde septentrional del Alto de Caapucú/Alto de Asunción. El Bajo de San Pedro verificado en varios levantamientos geofísicos de compañías petroleras y de minería (los mapas examinados, sin embargo, estaban constituidos por copias sin texto explicativo y debido a ello no fueron mencionados en este trabajo), presenta el mayor espesor de la columna sedimentaria de la Cuenca del Paraná en el Paraguay Oriental. Para un mejor conocimiento de esta área estructural, bastante contribuyó el examen de los registros de las perforaciones Asunción No. 1 y No. 2 (PECTEN-Occidental Trend) ubicado en el límite norte del Bajo de San Pedro (Falla Jejuí/Aguaray Guazú) y cerca de los afloramientos de sedimentos, Cuenca del Paraná, en el Alto del Apa.

En resumen, las grandes unidades geológicas del Paraguay, tuvieron su evolución a través del tiempo geológico por variadas reactivaciones de líneas estructurales de diferentes edades (Cap. 8). La última reactivación de edad Juro-Cretácico-Terciaria, asociada a la gran ruptura continental, creó fuertes movimientos de carácter vertical positivo en un proceso “rift” (Fúlfaro et. al., 1982 y 1986), cuyo actual cuadro controla geológicamente el Paraguay.

### **3. El Basamento Precámbrico/Eopaleozoico**

Las rocas Precámbricas/Eopaleozoicas del Paraguay están expuestas en la región oriental en dos altos estructurales, uno al Norte denominado Alto del Apa y otro al Sur, denominado Alto de Caapucú. Afloran también en el valle de Ypacaraí y Valle de Acahay así como aisladamente a lo largo del río Paraguay, entre Asunción y Concepción, atestiguando la continuidad en profundidad. Abarca un área total de 6.760 Km<sup>2</sup> con 4.620 Km<sup>2</sup> en el Alto del Apa.

#### **3.1 Estratigrafía**

La estratigrafía del Precámbrico se presenta separadamente para la región norte y sur.

Tabla I .Columna litoestratigráfica modificada de Meinhold,está constituida como sigue:

ERA	PERIODO	CICLO TERMO- TECTONICO	UNIDAD LITOESTRA- TIGRAFICA	FORMACION, TIPO DE ROCA	LITOLOGÍA
PALEO- ZOICA	ORDOVICICO		Grupo Caacupé	Fm.Cerro Jhú y Tobatí Fm.Paraguari	Arenisca y arcosa Conglomerado y arenisca
					Lava tobácea, ignimbrita, Riolita, riolacita.
P R O T E R O Z O I C A	CAMBRICO A PROTERO- ZOICO SUPERIOR		Grupo San Ramón (532+6 ma)		Porfido de granito/riolita, Granito aplítico,microgranito. Porfido de granito/riolita. Granito grueso.
		BRASILIANO (700 -450 ma)	Grupo Itapucumi		Arcosa, arenisca, lutita y caliza
			Grupo San Luis (> 500 ma)		Meta-lutita c/metatufi- ta, corneana y meta-arenisca subordinada Meta-arenisca meta- grauwaca y arcosa meta-conglomerado, meta-arenisca y meta- arcosa con meta lutita.
	PROTERO- ZOICO SUPERIOR				
			Suite Metamórfic a Paso Bravo (Complejo Río Apa) (2000+200 ma)	Rocas Metamórficas de Paso Bravo (facies de anfíbolita)	Orto-y para-gneis interc.por esquisto de mica,mármol,calcosilicada, cuarcita, anfíbolita, esquisto de talco y serpentinita, diques de cuarzo, pegmatitas y granito aplítico
	MESO- PROTERO- ZOICO	TRANS- AMAZONICO  (2000+200 ma)			

### **3.1.1 El Basamento Precámbrico/Eopaleozoico en el Alto Apa**

Se presenta en el denominado Alto del Apa entre las longitudes 56°50' W y 57°40'

W. Desde el río Apa se extiende hacia el sur hasta el paralelo 22°50' S, en forma de un triángulo (Hutchinson, 1979). Está constituido por una serie de rocas cristalinas más antiguas sobrepuestas por unidades calcáreas del Eocámbrico, debidamente metamorfizadas y con una arcosa basal de poco espesor que bordea el núcleo cristalino a lo largo de sus flancos W y S (Blair, 1982).

Las rocas metasedimentarias y metavolcánicas del NW más resistentes, forman una serie de colinas bajas más acentuadas (el relieve medio varía entre 150 y 200 metros) con crestas alargadas y arqueadas. Estas colinas y crestas están distribuidas en un padrón, grosso modo semi-circular, abierto hacia el W, centrado en la estructura denominada Centurión.

Al SW la topografía consiste en un "plateau" calcáreo, bajo, buzando suavemente hacia el WSW del basamento cristalino.

En la margen E de esta provincia se caracteriza por un declive acentuado de 50 a 100 metros de largo en el borde del "plateau" calcáreo.

Las rocas cristalinas en la parte E del Alto, forman un área de topografía monótona con colinas bajas ovaladas o en crestas. Con excepción del área de cerros que existe al NW del Alto de Apa, está caracterizado por topografía muy plana.

### **3.1.2 Complejo Basal del Apa**

Esta unidad litoestratigráfica está constituida por un complejo gnéisico/máfico, un complejo granitoide/metasedimentario y una unidad pegmatítica-granitoidea intrusiva (Wiens, 1986). La primera está constituida por biotita-hornblenda, gneises y migmatitas, asociadas con cuarcitas, anfibolitas y diabasas. Las litologías más antiguas están caracterizadas por fases múltiples de deformación, metamorfismo y actividades magmáticas; afloran predominantemente en la parte oriental del área. Se atribuye a esta unidad una edad Uruacuano y más antigua.

### **3.1.3 Grupo San Luís**

El Grupo San Luís, presenta una secuencia sedimentaria, en discordancia sobre el Complejo Basal, se inicia con un conglomerado basal. Esta denominación engloba las unidades antiguas conocidas por Grupo Estrella y Grupo Centurión (OEA 1975). Esta secuencia vulcano-sedimentaria presenta bajo metamorfismo y no se observan grandes deformaciones. Constituye el "Gruppe San Luis" de la serie San Luís de Wiens (1986), y los metasedimentos por meta-areniscas arcósicas, meta-areniscas, meta-conglomerados, esquistos cuarzo-sericíticos, filitas, esquistosfilíticos, areniscas cuarcíferas y cuarcitas muscovíticas. Los movimientos tectónicos e intrusiones del Cretácico, es lo que más lo afectó, causando una inclinación general hacia el NE, E y SE (Wiens, 1984). La litología caracterizada por intrusiones de granitos afaníticos, localmente pórfidos, era denominado Grupo Centurión, y las efusivas piroclásticas y porfiríticas, co-magmáticas, del Grupo Estrella. Constituyen la "suite" Centurión de la serie San Luís, de Wiens (1986). Está compuesto por granitos biotíticos-muscovíticos riolitas, pórfidos cuarzo/ feldespático, riolitas, metavolcánicas y rocas piroclásticas. Su edad podría ser del Proterozoico Superior (Ciclo Brasileño).

### **3.1.4 Grupo Itapucumí**

El grupo reposa sobre las unidades anteriores en fuerte discordancia angular. En Cerro Paiva próximo a la estancia San Luís se encuentra directamente sobre el Complejo Basal y posee continuidad hacia el E bajo la cobertura sedimentaria más joven, de edad Permo-Carbonífera (Formación Aquidabán), como se puede observar al W de la Estancia Santa Luisa en la Ruta Bella Vista - San Carlos. Ocupa un área de 2.075 Km<sup>2</sup> en la región oriental del país y 45 Km<sup>2</sup> en la parte occidental, en afloramientos aislados cerca del río Paraguay.

El grupo se inicia con un conglomerado basal de poco espesor pasando a una secuencia arcósica y arenosa. No obstante, está constituido predominantemente por calcáreos con capas oolíticas, capas finamente laminadas, bancos arcillosos y probables niveles estromatolíticos y mármol (Wiens, 1982). Localmente se encuentran capas brechadas cuyos fragmentos están constituidos por el propio calcáreo. A esta secuencia Wiens (1986) denomina "Gruppe Itapucumí" de la serie Itapucumí.

La edad del Grupo Itapucumí es del Proterozoico Superior (Vendian) al Cámbrico Inferior (Zaine y Firchild, 1985) según determinaciones hechas sobre el contenido fosilífero en la parte norte del Brasil (Grupo Corumbá).

### **3.1.5 Grupo San Ramón**

Está constituido por intrusivas graníticas, dioritas, leuco-granito, monzonitas, metamorfitas de contacto como hornfels y extrusivas compuestas por riolitas, riodacitas y dacitas. Se encuentran en la parte media del límite occidental del Alto del Apa. La edad atribuida es del Proterozoico superior, según Wiens (1986), que denomina a este grupo como "Suite San Ramon" de la serie Itapucumí. Las intrusivas del grupo están bien expuestas en la intrusión de Centurión, donde desarrollan una amplia aureola de metamorfismo de contacto.

## **3.2 El Basamento Precámbrico/Eopaleozoico en el Alto Caapucú**

Está expuesto en el Alto de Caapucú, anteriormente denominado Saliente de Pilar por The Anschutz Co. La topografía del área es bastante plana con la presencia de numerosos esteros. Los puntos más altos de la región están representados por crestas alargadas de rocas porfiríticas. El área de afloramiento está ligeramente arqueada en una faja NW-SE. Los afloramientos se inician en el área de Carapeguá-Quiindy, al norte, dirigiéndose hacia el SE. La columna estratigráfica del área es de 2.070 km<sup>2</sup>.

Unidades estratigráficas del Complejo Precámbrico Sur según Meinhold (2000)

ERA	PERIODO	CICLO TERMO-TECTONICO	UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA	FORMACION , TIPO DE ROCA	LITOLOGÍA
PALEOZOICA	ORDOVICICO		Grupo Caacupé	Fm.Cerro Jhú y Tobatí Fm.Paraguari	Arenisca y arcosa Conglomerado y arenisca
	CAMBRICO			Tipo Charará	Lava tobácea, ignimbrita, Riolita, riodacita.
PROTEROZOICO SUPERIOR	PROTEROZOICO SUPERIOR	BRASILIANO (700 -450 ma)	Suite Magmática Caapucú (532+6 ma)	Tipo Casualidad	Porfido de granito/riolita, Granitoaplítico, microgranito
			Suite Magmática Centu-cué (622+15 ma)	Tipo Fanego	Porfido de granito/riolita.
PROTEROZOICO SUPERIOR	PROTEROZOICO SUPERIOR		Grupo Paso Pindó (> 600 ma)	Tipo Barrerito	Granito grueso.
				Granodiorita de Centu-cué	Granodiorita migmatita de biotita y hornblenda c/grandes orfido-blastos de feldespatos.
MESO-PROTEROZOICO	MESO-PROTEROZOICO	TRANS-AMAZONICO (2000+200 ma)	Grupo Paso Pindó (> 600 ma)	Fm.Cristo Redentor	Meta-lutita c/metatufita, corneana y metaarenisca subordinada
			Suite Metamórfica Villa Florida (Complejo Tebicuary) (2028+15 ma)	Fm.Paso Lima	Meta-arenisca meta-grauwaca y arcosa meta-conglomerado, meta-arenisca y meta-arcosa con meta lutita.
				Fm.Las Mercedes	Orto-y para-gneis interc.por esquisto de mica,mármol,calcosilicada, cuarcita, anfibolita, esquisto de talco y serpentinita, diques de cuarzo, pegmatitas y granito aplítico

### **3.2.1 Complejo Río Tebicuary**

Expuesto desde el Río Tebicuary hasta San Juan Bautista, se trata de una secuencia metamórfica muy afectada por varias fases de deformación. Está representado por ultrabásica serpentizada y cuarcita, como en San Miguel de las Misiones. Su edad es el Proterozoico Superior y más antiguo (Ciclo Transamazónico).

### **3.2.2 Grupos Paso Pindó y Villa Florida**

Por sobre el complejo del río Tebicuary, en discordancia angular e iniciándose con un conglomerado basal, se encuentra el Grupo Paso Pindó. Este grupo está representado por una secuencia de sedimentos heterogéneos, presentando poco espesor y deformaciones. Sincrónicamente se presentan las efusivas de Villa Florida, una secuencia originalmente básica metamorfizada en anfibolita en el Ciclo Brasileño, lo que hace difícil la interpretación de su origen y posición estratigráfica.

Los Grupos Paso Pindó y Villa Florida son atribuidos, por Meinhold (2000), al Proterozoico superior (Ciclo Brasileño) correlacionándose con el Grupo San Luis, en el norte.

El Grupo Paso Pindó está constituido por meta-conglomerado, meta-areniscas y meta-lutitas. Es probable que el afloramiento de meta-lutitas denominados Serie Escobar, por Karpoff (1965), en Paraguarí, sean pertenecientes al Grupo Paso Pindó. Al igual, el denominado Grupo San Ramón, que está representado por calcáreos y sedimentos calcáreos arenosos acumulados en forma local, puede ser un pasaje lateral del Grupo Paso Pindó, no sosteniéndose como una unidad estratigráfica autónoma.

### **3.2.3 Grupo Caapucú**

El Proterozoico Superior/Eopaleozoico culmina con una extensa actividad magmática representada por intrusivas y efusivas de la Suite Mágmatita Caapucú, formados por pórfidos- cuarcíferos y granitos de varios tipos. Afectaron las unidades más antiguas bajo la forma de recristalización, metamorfismo y reactivación de direcciones estructurales E-W. Su edad está entre el Proterozoico Superior y el Cámbrico Inferior, o sea la misma edad del Grupo Itapucumí en el norte.

## **3.3 Aspectos Geocronológicos**

Las edades determinadas radiométricamente en el Basamento Precámbrico/Eopaleozoico, están presentes en la Tabla II, modificada de Wiens (1986).

Bitschene y Lippolt (1985) presentan un estudio sobre magmatitas ácidas de las localidades del Basamento Cristalino del Paraguay Oriental: San Bernardino e Ypacaraí en la zona Central y Caapucú, al sur. Según estos autores, los granitos de San Bernardino pueden ser divididos en un tipo de granito biotítico de color gris con baja deformación y otro, con muscovita de color rojo aún menos deformado. Los componentes mineralógicos son los siguientes: biotita, feldespato alcalino peritítico, plagioclasa zonada (algunas veces sericitizadas y carbonatizadas en partes más internas), cuarzo (algunas veces con intercrecimiento granofiro y mimequítico), epidota, clorita, hematita, leucóxeno, muscovita, zircón y apatito. Las facies rojas presentan feldespatos peritíticos alcalinos, que es el origen del desarrollo de



muscovita. Las edades determinadas por estos autores para los granitos de San Bernardino, están en  $576 \pm 15$  m.a. para los granitos de color gris (biotita) y,  $573 \pm 14$  m.a. para los de color rojo (muscovita). Interpretaron estos resultados como edades de enfriamiento de los minerales después de la intrusión de sus magmas. No obstante, advierten que el granito gris de San Bernardino, muestra deformación y minerales de formación secundaria tales como epidota y clorita. No se puede excluir que la roca sea más antigua que la edad determinada.

Aproximadamente a 4 Km. de la ciudad de Ypacaraí, afloran cinco lomas de rocas porfíricas sub-efusivas de color gris oscuro, con una altura de 30 metros sobre el nivel del Valle Ypacaraí. Su carácter porfírico es evidente por los fenocristales de cuarzo y feldespatos rojos o blancos con una densa matriz.

Presentan xenolitos de metasedimentos probablemente pertenecientes a la "Serie Escobar". Microscópicamente las riolitas porfíricas contienen cuarzo y plagioclasas sericitizadas, algunas veces rojo por inclusión de hematitas. Existen también pequeñas cantidades de fenocristales feldespático-alcálico y xenocristales de anfíboles pleocroicos azul verdosos. Las variedades ricas en plagioclasas y anfíboles pueden ser consideradas como variedades riódacíticas.

La matriz de estas rocas contiene cuarzo, calcedonia, opacos, algunos minerales micáceos verdosos y más raramente rutilo, zircón, apatito, fluorita, carbonato y epidota. Pseudomorfos de minerales primarios consisten en: clorita, cuarzo, mica, carbonato y epidota. Una impresión secundaria es evidente por relleno de cuarzo, carbonato, clorita y epidota en vetas y por alteración de los fenocristales de plagioclasa y anfíboles. La edad determinada por Bitschene y Lippolt (1985), para estas riolitas fue de  $553 \pm 20$  m.a. que representa el límite superior para esta intrusión.

En una cantera abandonada, cerca de Caapucú, afloran rocas graníticas que varían del tipo de granitos rojos a aplíticos a granitoides de granos finos, ricos en cuarzo. Existen pequeñas vetas de granito porfídico. Los componentes mineralógicos consisten en biotita, clorita, plagioclasa parcialmente sericitizada, feldespato alcálico perítico, cuarzo (algunas veces con crecimiento granófiro), hematita, zircón y opacos. Una característica común es el contenido de allanita y fluorita. La edad calculada para estas rocas, por estos autores, fue de  $544 \pm 11$  m.a.

Bitschene y Lippolt (1985), muestran que la actividad magmática ácida en el Paraguay Oriental ocurrió en un intervalo de tiempo comprendido entre  $573 \pm 14$  m.a.

(granito San Bernardino) a  $536 \pm 11$  m.a. (granito Caapucú), y pertenecen al ciclo orogénico Brasileño. Se sugiere una tendencia hacia el sur para la actividad magmática. El denominado "Precámbrico del Sur" en el Paraguay Oriental, según estos autores, pertenece al límite de la transición entre el Proterozoico y Fanerozoico.

El tiempo de la intrusión de las magmatitas ácidas, en el centro y sur del Paraguay Oriental, es coincidente con el tiempo del magmatismo ácido e intermedio del "Evento Termo-Tectónico del Brasileño" Almeida y Hasui (1984). Según Bitschene y Lippolt (1985) estos eventos son de la misma edad que los eventos metamórficos y magmáticos del E de Bolivia, NW de Argentina y en el Uruguay.

## 4. Eopaleozoico (Ordovícico-Silúrico-Devónico)

### 4.1 Consideraciones Iniciales

El Eopaleozoico en el Paraguay está representado por unidades del Ordovícico Superior y Silúrico Inferior (Llandoveryano), que afloran en faja NW-SE en el centro oeste del Paraguay Oriental y norte de la Región Occidental. Su continuidad en su sub-superficie en ambas regiones se comprueba por perforaciones. La unidad de edad Devónica aflora en el norte de la Región Occidental en un bloque de dirección NE-SW delimitado por fallas y fracturas según Gómez Duarte (1986). En el Paraguay Oriental, el Devónico está identificado en sub-superficie en los pozos Asunción N°1 y N°2 (Pecten- Occidental-Trend), en el Pozo RD-76 (T.A.A.). El área que abarca el Ordovícico-Silúrico en el Paraguay Oriental es de 4.522 km<sup>2</sup> y en la Región Occidental (Cerro León) de 2.000 km<sup>2</sup>. El Devónico aflorante en el área Occidental ocupa 1.930 km<sup>2</sup>.

Harrington (1950) fue el primero en estudiar detalladamente la geología del Paraguay Oriental y atribuyó parte de las unidades del techo del Silúrico al Devónico, esto fue seguido por Eckel (1959), Wolfart (1961) y Putzer (1962), redefinieron estas unidades como del Silúrico Inferior (Llandoveryano). Harrington (1972), volvió al tema considerando a todas estas unidades como del Silúrico.

El Silúrico del Paraguay Oriental fue dividido por Harrington (1909), en las Series de Caacupé (Conglomerado de Paraguari y arenisca de Piribebuy) e Itacurubí. Eckel (1959) dividió la Serie Caacupé en el Conglomerado Basal de Paraguari, una arenisca arcósica, una unidad de areniscas sacaroidales blancas y una unidad superior de areniscas y pizarras. Al igual que Harrington (1950), atribuyó la Serie Itacurubí al Devónico. Putzer(1962), atribuye al conglomerado basal y las areniscas de Caacupé al Ordovícico- Silúrico y las areniscas de Eusebio Ayala, arcillas de Vargas Peña y areniscas de Cerro Perro al Silúrico Inferior (Llandoveryano). En el informe sobre la geología de la Cuadrícula 40 (1966), el Silúrico está englobado en la Serie Cordillera con las Formaciones Caacupé, Eusebio Ayala, Ypacaraí e Itacurubí. En la descripción de la geología de la Cuadrícula 41 (1966), la Formación Itacurubí es reemplazada por la Formación Acosta Nú.

### 4.2 Estratigrafía

La clasificación estratigráfica utilizada en este Texto Explicativo, para el Silúrico del Paraguay Oriental, está basada en Harrington (1972); y para la Región Occidental se utiliza la denominación presentada por Gómez Duarte (1986).

Tabla III

Paraguay Oriental	Paraguay Occidental
Harrington (1972)	Gómez Duarte (1986)

	Gurupo Itacurubí	Formación Cariy	Formación  Cerro León
		Formación Vargas Peña	
		Formación Eusebio Ayala	
	Grupo Caacupé	Formación Tobatí	
		Formación Cerro Jhu	
		Formación Paraguarí	

#### 4.2.1 Grupo Caacupé

Aflora al NE de Asunción, en la Cordillera de los Altos, desde el valle de Ypacaraí hasta la ciudad homónima. Al sur de Asunción existe una extensa faja de afloramiento, desde Roque González de Santa Cruz hasta Quiindy, Quyquyhó y Mbuyapey. El grupo está dividido en tres formaciones: Fm.Paraguarí, Fm.Cerro Jhú y Fm.Tobatí y su deposición empieza probablemente en el Ordovícico Superior.

##### 4.2.1.1 Formación Paraguarí

Constituye la secuencia basal del Grupo Caacupé y está distribuido por todo el borde de la cuenca Silúrica. Aflora en la base de la Cordillera de los Altos, en las proximidades de la ciudad de Paraguarí, y en la región adyacente al valle de Ypacaraí. Más al sur, hay una extensa faja de afloramiento entre Quiindy y Quyquyhó. Está constituido por sedimentos de grano grueso y capas conglomeráticas que pasan gradualmente a areniscas arcósicas. La unidad no supera los 20 metros de espesor. El contacto inferior, con rocas del basamento Precámbrico-Eopaleozoico, está en discordancia angular y la secuencia sedimentaria se inicia con areniscas arcósicas de grano grueso y niveles de arenisca conglomeráticas con estratificación cruzada, como se puede observar en el Km 116 de la Ruta 1 (Asunción- Encarnación), en relictos sobre el basamento cristalino.

Este nivel basal, de arenas de grano grueso, tiene un contacto gradado con conglomerados portando cantos de 3 cm y areniscas de grano grueso (1.000 a 1.410  $\mu$ ), en capas de espesor variado, como afloran en el Km 102, de la Ruta 1.

En el Km 104 de la Ruta 1, en el arroyo Zanja Itá, afloran unas secuencias de conglomerados soportadas por una matriz de areniscas arcósicas de grano muy grueso (1.000-1.410 y 1.410-2.000  $\mu$ ). Los cantos poseen dimensiones entre 2 y 7 cms y están constituidos por cuarzo y cuarcitas. Estos cantos pueden presentar tamaños hasta de 15 cms. y exhibir una litología más variada como cuarzo de vetas, cuarcitas, esquistos, chert. Capas conglomeráticas, pueden reposar directamente sobre el basamento, sin la presencia de las capas iniciales más arenosas, como se puede observar en las proximidades de Paraguarí en la Ruta Piribebuy. El ambiente deposicional de estos sedimentos, se le atribuye un régimen fluvial del tipo entrelazado (“braided rivers”) en sitio deposicional con fuerte control tectónico.

#### **4.2.1.2 Formación Cerro Jhu**

Estos sedimentos poseen una faja de afloramiento paralelo a los conglomerados de la Formación Paraguarí, con la cual tienen un contacto concordante y gradado. El mayor espesor conocido de esta formación queda en la localidad del Cerro Jhú con 450 mts. de altura. Según Alvarenga (1985), su contacto superior con la Formación Tobatí es también gradado con intercalaciones de lutitas y nódulos de arcilla.

Las areniscas de esta formación presentan estratificaciones cruzadas a subparalela muy característica, y con gran variedad de colores (amarillo claro a marrón rojizo), se lo encuentra frecuentemente en proceso de lateritización. Cuando no están lateritizados son friables y de aspecto sacaroidal, debido a su composición cuarzosa y ausencia de matriz. Es de granulometría bastante variada con valores entre 125-177 $\mu$  (areniscas finas) hasta 250-350  $\mu$  (arenisca media).

Cada una de las secuencias de estratos cruzados muestran en su inicio una granulometría más gruesa (250-350 $\mu$ ) con una disminución hasta 125-177 $\mu$  en dirección al techo y al contacto con otras secuencias que empiezan nuevamente con 250-350  $\mu$ . Hay flujos fluviales con decrecimiento de energía, que producen en cada capa una disminución de granulometría hacia la parte superior.

En los afloramientos del arroyo Abay, 2 km al sur de Ypané, en una cantera sobre la Ruta Guyratí y a 1 Km antes de Villeta. En el tramo de la Ruta 2, en la Cordillera de los Altos, las areniscas presentan nódulos de arcillas “shale clasts”, producto de la erosión de las lutitas asociadas a este ambiente deposicional. Comte (1986) atribuyó esta situación a oscilaciones del mar Silúrico.

En su contacto basal la formación muestra areniscas de grano grueso (350-500 $\mu$ ), como en el Km 85 de la Ruta 1. Sobre la misma ruta, en la ciudad de Roque González, las areniscas presentan variación granulométrica que oscilan entre 350-500 $\mu$  hasta 177-250 $\mu$ , en las co-secuencias de estratos cruzados con 4 metros de ancho y 1 a 1,5 metros de espesor.

La parte basal, en contacto transicional con los conglomerados de la Formación Paraguarí, indican aún una fuerte influencia fluvial que va cambiando a un ambiente marino litoral, que se demuestra por la fábrica grano/grano (“winnowing”) que

confiere a estas areniscas su aspecto “sacaroides”.

#### **4.2.1.3 Formación Tobatí**

Está constituida por areniscas friables y también “sacaroides”, a veces un poco carbonáticas, en forma de capas aparentemente macizas. En detalle presenta estratificación en láminas, frecuentemente parte de estratificaciones cruzadas de gran tamaño y ángulo bajo como puede observarse en las proximidades de la ciudad de Tobatí. Las areniscas presentan granulación entre 350-500 $\mu$ , bien seleccionadas pero poco redondeadas. Según Degraff (1982), la formación posee un espesor de 200-250 m al E del Valle de Ypacaraí y un mínimo de 80 m al W de la misma depresión. Alvarenga (1985) atribuye un espesor de 150 m para esta formación.

En los afloramientos estas areniscas presentan fuerte silicificación, lo que causa resistencia a la erosión. La infiltración del agua superficial pasa por la fractura permitiendo la separación de bloques y la formación de escarpas. Otro aspecto muy característico de la alteración de estas areniscas es la presencia de placas en forma de escamas, lo que confiere un aspecto rugoso a los afloramientos.

El contacto basal es concordante y transicional con la Formación Cerro Jhú y lo mismo pasa en su contacto superior con la Formación Eusebio Ayala, del Grupo Itacurubí.

El ambiente deposicional atribuido a esta formación es marino somero.

El contacto transicional con la Formación Eusebio Ayala, con amplio contenido fosilífero marino, constituye una prueba de su ambiente deposicional y también de su edad (Llandoveryano).

#### **4.2.1.4 Consideraciones sobre el Grupo Caacupé**

Las tres formaciones del Grupo Caacupé constituyen la secuencia clástica más gruesa del evento marino transgresivo del Ordovícico/Silúrico. La rápida submersión de la secuencia fluvial inicial, representada por la Formación Paraguari, con aproximadamente 15 m de espesor, es una indicación de que el mar invadió y cubrió el sistema fluvial con gran velocidad. El contacto superior del grupo, transicional con el Grupo Itacurubí, que posee fósiles de ambiente deposicional marino asociado a sus características litológicas, confiere al Grupo Caacupé el carácter de una secuencia basal de la transgresión marina de edad Ordovícica/Silúrica.

#### **4.2.2 Grupo Itacurubí**

Recibe su denominación de la ciudad de Itacurubí de la Cordillera, distante 86 Km al ESE de Asunción, por la Ruta 2. En esta región aflora en una faja de dirección NW-SE paralela a la orientación de los afloramientos del Grupo Caacupé. Al W de la depresión de Ypacaraí aflora en bloques controlados por fallas pertenecientes al borde occidental del valle. El grupo está dividido en tres formaciones: Fm. Eusebio Ayala, Fm. Vargas Peña y Fm. Cariy.

##### **4.2.2.1 Formación Eusebio Ayala**

Está constituida por areniscas en capas de 10 a 15 cms de espesor y lutitas en alternancia rítmica. Las areniscas presentan granulación fina y son frecuentemente micáceas. Las capas de lutitas están constituidas por una mezcla entre limo y arcilla en proporción variada. Las capas de areniscas, próximo al contacto basal con la

Formación Tobatí, debido al carácter transicional del contacto, presentan aspectos “sacaroides”. El contacto superior con la Formación Vargas Peña es igualmente transicional. Esta unidad posee 200 m de espesor.

En una cantera localizada en la Ruta 2, a 6 km de Eusebio Ayala, en dirección a Itacurubí de la Cordillera, aflora una secuencia de areniscas y areniscas conglomeráticas con sedimentación gradual (“graded bedding”). En cada capa de deposición se inicia con un conglomerado de cantos de hasta 4 cms, terminando con areniscas de grano medio a fino. Existe una intercalación de lutitas caolínicas entre las areniscas finas.

El promedio de espesor en cada capa es de 15 cms. En la base estas capas presentan estructuras de excavación y están rellenas, las areniscas del techo de estas secuencias, presentan ondulitas. La sedimentación es de carácter fluvial y se encuentra interdigitada con lutitas de la Formación Eusebio Ayala indicando su origen continental.

Según Degraff (1982), la asociación fosilífera de esta formación es la siguiente:

Eocoelia paraguayensis (Harrington) AMOS y BOUCET

Australostrophia sp. indet.

Orthoceratidas

Trimerus sp.

Dalmantes sp. indet.

La abundancia de micas en las areniscas de grano fino, la alternancia rítmica con las capas de lutitas, los fósiles marinos y la presencia de facies fluviales intercaladas, atribuyen a esta unidad un ambiente deposicional marino cerca de la línea de la costa, en bahías o golfos.

#### **4.2.2.2 Formación Vargas Peña**

Presenta pobres y escasos afloramientos. En su localidad tipo, cantera de Vargas Peña, cerca de la ciudad de Itaiguá, al W del Valle de Ypacaraí, existen lutitas micáceas blancas a veces teñidas de amarillo, pardo y rojo. El máximo espesor de esta formación es de 80 m al W del Valle de Ypacaraí, donde la secuencia se encuentra fallada con buzamientos entre 25 y 40° hacia el SW. Al E del mismo valle no sobrepasa los 20 m.

El contacto inferior es transicional con la Formación Eusebio Ayala y el superior al igual con la Formación Cariy. Esta formación posee una gran cantidad de fósiles marinos. Según Degraff (1982), la existencia fosilífera de edad del Silúrico Inferior (Llandoveryano) es la siguiente:

Lingula sp., indet.

Lingula sp., Lingula lamella CLARKE

Anabaia paraia CLARKE

Euocoelia paraguayensis (Harrington) AMOS Y BOUCET

Praectenodonte sp. indet.

Ctenodonta sp. indet.

Anodontopsis? sp. austrina CLARKE

Nuculites opistowystomus HARRINGTON

Nuculites sp. et. N. brasilianus CLARKE

Nucula? sp. indet.

Palaeoneilo? sp. indet.

Ulrichospira? sp. indet.  
Eotomaria sp. indet.  
 Orthoceratido indet.  
Hyolithes sphenomorphus HARRINGTON  
Hyolithe guaraniensis WOLFART  
Tentaculites sp. indet.  
Tentaculites sp. et. T. trombetensis CLARKE  
Dalmanites sp. indet.  
Calymene boettneri HARRINGTON  
Flexicalymene (Flexicalymene)  
Climacograptus innotatus brasiliensis RUED  
Diplograptus modestus lab. subsp.  
Monograptus sp.  
Calloconullaria sp.  
Artrophycus sp.  
 Crinoideas indet.

La asociación de graptolites y trilobites atribuye a esta formación un origen en ambiente marino somero, próximo a la orilla del mar, con lagunas, barras de arena y sedimentación costera (Alvarenga, 1985).

#### 4.2.2.3 Formación Cariy

Está constituida por areniscas cuarzosas y feldespáticas de grano fino a medio, en capas macizas con estratificación cruzada e intercalaciones de lutitas y areniscas micáceas de grano fino. Su contacto inferior es transicional con la Formación Vargas Peña y el superior está presumiblemente en discordancia erosional con las capas sedimentarias de edad Carbonífera. En superficie el contacto de la secuencia sedimentaria del Ordovícico/Silúrico con las unidades del Permo-Carbonífero, es por falla. El espesor máximo de esta unidad es de 100 m. al E de la depresión de Ypacaraí y 180 m al W. Posee abundantes fósiles marinos del Silúrico inferior.

Los fósiles presentes en esta formación según Degraff (1982) son:

Pavosites sp. indet.  
Lingula sp. att. L. oliverai M. ALZOLA  
Eocoelia paraguayensis (HARRINGTON) AMOS Y BOUCET  
Australostrophia conradii HARRINGTON  
Australostrophia sp. nov. (A. conradii WOLFART non HARRINGTON)  
Strophomenido indet. (Schellwienella inca HARRINGTON, non D'ORB.)  
Camamotoechia? sp. indet.  
Ctenodonta? sp. indet.  
Nuculites opistowystomus HARRINGTON  
Nuculana? sp. indet.  
Eotomaria sp. indet.  
Murchisonia (hormotoma) sp. indet.  
Calymene Boettneri HARRINGTON  
Calymene sp. indet.  
Diacalymene sp. att. D. crassa SHIRLEY  
Phacopina (Scothiella) pennoana WOLFART  
Phacopina (Scothiella) itacubensis HARRINGTON  
"Proetus" sp. indet.

Trimerus sp. indet.

Trimerus (Trimerus) sp. nov.

Climacograptus innotatus brasiliensis RUEDERMAN

Diplográtido indt. (Diplograptus? Sp. WOLFART)

Tentaculites sp. indet.

Skolithos

La asociación fosilífera, presente en esta secuencia, sugiere un ambiente marino somero, nerítico proximal a la orilla del mar, en ensenadas y golfos, con fuerte influencia continental.

En el Cerro Loma Cariy, cerca de Itacurubí de la Cordillera, la formación aflora demostrando un pasaje lateral con la Formación Eusebio Ayala. Hay un aumento de espesor en las capas de areniscas y disminución en las capas de lutitas sin modificación en la litología. Las capas de areniscas son fosilíferas.

En el trayecto Asunción, Limpio, Emboscada y Arroyos y Esteros, es posible observar el pasaje lateral de las lutitas de la Formación Vargas Peña hacia areniscas de la Formación Cariy, a 8 km del Río Piribebuy, en la localidad denominada Compañía Acevedo (Ruta Emboscada hacia Arroyos y Esteros). Los niveles de lutitas de la Formación Vargas Peña, fuertemente micáceas, se intercalan en capas de areniscas con granulometría entre 62 y 125  $\mu$ , también fuertemente micáceas. Hacia el techo están substituidas por capas de areniscas más gruesas (177 a 250 $\mu$ ), con estratificación cruzada.

La faciología de las areniscas de la Formación Cariy indica un ambiente deposicional semejante a las areniscas de la Formación Cerro Jhú. La gran diferencia entre estas dos areniscas está en su posición en relación al ciclo transgresivo marino. Las areniscas de la Formación Cerro Jhú, pertenecen al ciclo transgresivo y están situadas por sobre el conglomerado de la Formación Paraguari, los cuales suceden transicionalmente. Existe en esta unidad una fuerte influencia fluvial. Estas areniscas presentan frecuentes intercalaciones de lutitas, en forma de una arcilla caolínica de color claro (explotado localmente para cerámica, como en el caso del pueblo de Nueva Italia), probablemente, en una oscilación de este ambiente litoral de playa, con lagunas e influencia litoral de drenaje cercano.

Las areniscas de la Formación Cariy están en un mismo tipo de ambiente. Representan una regresión de episodio marino. De esta manera, se sobrepone al ambiente de lutitas de la Formación Vargas Peña, adquiriendo, en su base, los niveles micáceos descritos más arriba. Del ambiente anterior adquieren también una fauna que está representada por su asociación fosilífera. Representan, no obstante, el mismo ambiente litoral de la Formación Cerro Jhú, en un episodio regresivo.

La falta de exposiciones más detalladas e informaciones de profundidad no permite definir, por el momento, si los sedimentos de la Formación Cariy representan el episodio regresivo final del mar Silúrico o, una gran oscilación del proceso transgresivo. No obstante representa, indudablemente, un evento regresivo.

#### **4.2.3 Formación Cerro León**

Aflora en el Paraguay Occidental, en la región de Cerro León, al borde occidental del lago Palmar de las Islas, ocupando un área de 2.000 km<sup>2</sup>. Está constituido por areniscas blancas, blancas amarillentas, crema en la mayoría de los casos, en la



parte basal algo arcósica. Los estratos basales son de grano grueso a medio y algo arcósicos, llegando a areniscas muy puras y bien seleccionadas en la parte superior. En áreas más tectonizadas las areniscas pasan a cuarcitas con desarrollo de cristales de cuarzo faneríticos, indicando la acción hidrotermal (Gómez Duarte, 1986).

Presentan estratificación cruzada en gran escala y en base de la parte aflorante, una secuencia granulométrica decreciente de abajo hacia arriba. Las areniscas puras y bien seleccionadas presentan estratificación gruesas a masivas.

Según el mismo autor, en Cerro León, esta formación se encuentra muy tectonizada. Las fracturas son principalmente de direcciones norte-sur, existiendo otras de NW-SE y NE-SW. La presencia de brechas o fallas entre los planos de estratificación indican que hubo desplazamiento horizontal, además de las fallas normales de gran porte.

Gómez Duarte (1986) describe que actualmente el afloramiento de la Formación Cerro León es parte del alto estructural del Alto Central (Fig.1), de configuración Cretácica, actuando como elemento positivo desde el inicio del Devónico, siempre como límite de las cuencas del norte del Chaco.

En Bolivia, la base de las capas Silúricas reposan sobre el Ordovícico y constituyen diamictitas con intercalaciones de lutitas y areniscas cuarcíticas (Suarez Riglos, 1975). Pucci (1985) correlaciona las areniscas y cuarcitas de Cerro León con la Formación Kirusillas del lado boliviano, pero la descripción presentada por los autores bolivianos no corresponde a rocas similares a las de Cerro León. Por el carácter de las rocas y sus fósiles serían más bien correlacionadas con el Grupo Itacurubí (Gómez Duarte, 1986). Es interesante señalar que, Bigarella & Comte (1959), determinaron que el transporte de las areniscas se realizó por corrientes fluyendo hacia el WNW, esto es, fuera de la Cuenca del Paraná y en dirección a los geosinclinales pre-Andinos.

A finales del Silúrico e inicio del Devónico, el mar se retiró en dirección a los geosinclinales pre-Andinos, por el alzamiento del Anticlinal Central Paraguayo. Al referirnos a este evento, debemos tener en cuenta que ninguno de los autores consultados identifican a rocas del Devónico en el pozo de exploración petrolífera de Orihuela, que se encuentra entre Cerro León y las regiones del Silúrico, aflorante en el Paraguay Oriental, lo que indicaría, que a finales del Silúrico e inicio del Devónico, esta zona se encontraba emergida (Gómez Duarte, 1986). El mismo autor cree que el alzamiento del Alto Estructural del Chaco Central, (Banks et. al., 1975), se habría iniciado en esta época separando así las cuencas de Curupayty y Carandayty de la Cuenca de Paraná.

#### **4.2.4 Formación San Alfredo**

Está constituida por areniscas micáceas finas, grises a verdosas, laminares con ondulitas en la localidad tipo en la Cordillera de San Alfredo en el norte chaqueño. Esta formación pertenece al Devónico Medio a Superior y está correlacionada con las formaciones de la misma edad del lado boliviano (Gómez Duarte, 1986). Aflora en el Paraguay Occidental con un área aproximada a los 1.930 Km<sup>2</sup>.

Las areniscas micáceas de la Cordillera de San Alfredo, de unos 2.000 m de espesor, registrado en el pozo Cerro León No. 1, representa el Devónico y puede ser observado en numerosos afloramientos en la localidad citada. Según el mismo autor (Gómez Duarte, 1986), las areniscas micáceas que se encuentran en la cima de Cerro León, inmediatamente sobre las areniscas y cuarcitas Silúricas, pueden tener la

misma edad, o sea Devónico.

El mismo autor describe que generalmente las rocas de esta formación se encuentran muy fracturadas con direcciones NW/SE, NE/SW y N/S. Estas fracturas, en numerosos casos, están rellenas con ocre rojos. La morfología nos hace pensar en escarpas de fallas de avanzada erosión, con correderas de agua que se acomodan a las fracturas.

Se encuentra como parte del Alto Estructural del Chaco Central, separado de Cerro León, por fallas normales de gran rechazo y considerado un alto estructural independiente. Teniendo en cuenta este enunciado, Gomez Duarte (1986), propone denominar la zona de afloramientos rocosos de esta formación, como Alto estructural Lagerenza (Fig. 2).

#### **4.2.5 Consideraciones sobre el Silúrico/Devónico del Paraguay Occidental**

En Cerro León y Cerro Cristian se encuentra aflorando una cuarcita rojiza, masiva y dura y una arenisca micácea blanca, grisácea, de grano fino, que ha proporcionado algunos braquiópodos, gasterópodos y artrophyucus (Degraff, 1982). Estos estratos han sido datados como Silúricos y son seguidos hacia la parte superior por estratos del Devónico inferior, que en su parte inferior presenta una arenisca micácea amarilla grisácea a marrón rojiza, de grano medio a fino y han proporcionado los siguientes fósiles:

Favosites sp.

Chonetes falklandicus (MORRIS Y SHARPE)

Leptocoelia flabelites (CONRADI)

Tentaculites stubeli (CLARKE)

Lamellibranchiata indet.

En su parte superior está constituida por lutitas arcillosas, verde oliva a grisáceas y finas capas de areniscas de grano fino, que han proporcionado Tentaculites sp. y Briozoa indeterminados. En el subsuelo se ha encontrado la misma cuarcita de edad Silúrica en distintas localidades, abarcando prácticamente toda la región chaqueña. Estas rocas Silúricas son seguidas, hacia la parte superior, por la secuencia del Devónico Inferior ya mencionado, aunque las mismas sólo se han encontrado en las perforaciones al noroeste del Chaco. Harrington (in Degraff, 1982) ha identificado los siguientes fósiles en la secuencia del Devónico en el perfil del pozo Santa Rosa:

Chenocrinus? sp.

Australospirifer ef. A. antarticus MORRIS y SHARPE

Aerospirifer? sp.

Australostrophia arcei ULRICH

Australostrophia mesembria CLARKE

Chonetes falklandicus MORRIS y SHARPE

Chonetes skottabergi CLARKE

Derbyina whitionum CLARKE

Leptaena sp.

Leptocoelia flabellites CONRAD

Lingula lepta CLARKE

Schellwienella aganzi HARTT

Spirifer sp.

Tentaculites crotalinus SALTER

Tentaculites jaculus CLARKE

Trilobites?

No se ha determinado aún si estas secuencias son correlacionables o no a la secuencia del Silúrico-Devónico (?), según Degraff (1982), aflorante en la Región Oriental del Paraguay y tampoco se sabe el espesor de estos estratos.

#### **4.2.6 EL Devónico en el Paraguay Oriental**

En Paraguay Oriental, Harrington (1950), atribuyó el actual Grupo Itacurubí de edad Silúrica (Llandoveryano) al Devónico, correlacionándolo a las secuencias Devónicas aflorantes en el borde este de la Cuenca del Paraná. Esta equivocación fue corregida en el trabajo de Wolfart (1961), que identificó los fósiles presentes en el Grupo Itacurubí, como de edad Llandoveryana (Silúrico Inferior). A partir de este trabajo, se acepta la existencia de sedimentos de edad Devónica en la Cuenca del Paraná en el Paraguay Oriental, y por extensión, a casi toda el área de esta parte de la cuenca.

La exploración petrolífera llevada a cabo en el Paraguay Oriental, en los últimos años, hizo que se descubrieran en profundidad sedimentos de edad Devónica en el área norte de la Región Oriental, entre los ríos Ypané y Jejuí Guazú. Los pozos Asunción No. 1 y 2 (PECTEN-OCCIDENTAL-TREND), acusaron respectivamente 370 y 265 m de espesor para los sedimentos de esta edad. La caracterización litológica de este intervalo en una base más arenosa y parte superior más arcillosa, correspondientes a las formaciones Furnas y Ponta Grossa del Grupo Paraná, en la Cuenca del Paraná, atribuye gran importancia a esta información, principalmente desde el punto de vista de la evolución tectónica sedimentaria de la cuenca, en el Paraguay Oriental.

En la perforación Asunción No. 1 (24°04' 12.55" S y 56°27' 12.42" W), la columna sedimentaria atribuida a la Formación Furnas está comprendida entre 2.050 y 2.240 m de profundidad y está constituida por areniscas conglomeráticas, areniscas intercaladas con capas de pizarras y areniscas arcóscicas cortadas por varios niveles de intrusivas. El intervalo atribuido a la Formación Ponta Grossa, está comprendido entre 1.870 y 2.050m de profundidad y está constituida por pizarras con varias intercalaciones de niveles de areniscas alrededor de 5 m de espesor.

En la perforación Asunción No. 2 (23°41' 47.96" S y 56°35' 02.38" W), la columna correlacionable a la Formación Furnas está comprendida entre 2.077,5 m a 2.275 m. de profundidad. La distribución litológica es un poco diferente de la existente en el pozo anterior. Está constituida por areniscas, pizarras micáceas con intercalaciones de limolitas, limolitas con intercalación de delgadas capas de areniscas con presencia de piritita y areniscas con intercalación de niveles de limolitas. El intervalo atribuido a la Formación Ponta Grossa, se encuentra entre 2.000 y 2.077,5 m de profundidad y está constituida totalmente por pizarras limolíticas micáceas. El contenido paleontológico, presente en ambos pozos, define una edad Devónica. Las asociaciones faunísticas Devónicas en la Argentina, Uruguay, Brasil (Cuenca del Paraná), Paraguay, Bolivia, Perú, Islas Malvinas y Africa del Sur son similares entre sí, diferenciándose nítidamente de otras regiones. Esta unidad Faunística fue llamada Malvinocófrica por Richter & Ritchter (1942). La fauna Malvinocófrica exhibe un elevado grado de endemismo, de modo que en su desarrollo típico no se encuentra

ninguna especie de marcofósil común a otras faunas.

Es en el Eodevónico en que la fauna malvinocófrica se desarrolla por excelencia, debido a que en el mesodevoniano ya aparecen formas endémicas. Las faunas contemporáneas de la Cuenca Paranaíba y Amazonas, localizadas más al norte del Cratón Sudamericano, son mal conocidas, aunque lo poco que se conoce parece ser suficiente para excluirla de la provincia malvinocófrica. De acuerdo con Clarke (1913), las diferentes faunas Eodevónicas del globo derivarían de un “stock” común Silúrico.

Al norte de la falla Jejuí/Aguaray Guazú (Fig. 10), en el Alto del Apa, los sedimentos de edad Devónica están ausentes tanto en el Paraguay como en la región vecina del Estado de Matto Grosso del Sur, Brasil, donde los sedimentos de edad Permo-Carbonífera de la Formación Aquidauna se asientan en discordancia, directamente sobre rocas del basamento de edad Pre-Cámbrica/Eo-Paleozoica. En el Paraguay, en continuidad, sedimentos correlacionables al Aquidauna (Formación Aquidabán), reposan directamente sobre rocas de los Grupos Itapucumí y San Luís también de edad comprendida entre el Pre-Cámbrico y el Eo-Paleozoico.

Las columnas de sedimentos de edad Devónica, observados en los pozos mencionados, están en contacto con sedimentos atribuidos al Silúrico, también ausentes más al norte. Existe, por tanto, una sección central en el Paraguay Oriental, que constituye un bloque tectónicamente rebajado, donde la columna Silúrico-Devónica está preservada (Fig. 1 y 4).

El límite sur de la ocurrencia de los depósitos Devónicos es más difícil de precisar, por falta de datos en profundidad, aunque comprobadamente no existen depósitos de edad en la faja de afloramientos dominada por la presencia de los Grupo Caacupé e Itacurubí, en el área de Asunción/Paraguari, y hacia el sur, hasta Quiindy. Como el contacto de las rocas Silúricas con los sedimentos de la Formación Coronel Oviedo (Permo-Carbonífera) es por falla (Falla de San José, Fig. 5) y la sección gondwánica está rebajada, es posible la presencia de sedimentos Devónicos debajo del Permo-Carbonífero, como esquemáticamente se presenta en la Fig. 4, como ejemplo de lo que ocurre más al norte.

La sedimentación de edad Devónica, caracterizada principalmente por depósitos marinos transgresivos, está presente en todo el interior continental de las placas del antiguo sub-continente de Gondwana. Este también es el caso de la Plataforma Sudamericana, donde el ciclo depositacional del Devónico existe en el interior de sus cuencas intracratónicas.

## **5. Neopaleozoico (Carbonífero-Pérmico)**

### **Consideraciones Iniciales**

En la Cuenca del Paraná son conocidos sedimentos de edad del Carbonífero inferior. En el Paraguay Occidental, la columna estratigráfica de las cuencas sedimentarias presentes no establecen distinción entre el Carbonífero inferior y superior. En la región Oriental del País, sedimentos del Carbonífero superior yacen en discordancia erosiva, tanto sobre sedimentos del Devónico como de rocas del Basamento Cristalino de edad Precámbrica, Fúlfaro (1982) describe un intenso período de erosión que sigue al fallamiento, con fuerte movimentación vertical después de la sedimentación del Grupo Devónico. En el Paraguay Occidental, este

período de movimentación vertical, causó, antes de la deposición del Carbonífero superior, la mención de toda la columna Devónica sobre el Alto del Apa.

Los movimientos que existen entre las placas continentales en este intervalo de tiempo geológico (existencia del supercontinente de Pangea), específicamente en el Continente de Gondwana, alcanzan las Cuencas del Paraná y todas las Cuencas intracratónicas del antiguo continente. El inicio de la sedimentación está fuertemente influenciada por una glaciación continental de latitud, a partir de un centro de irradiación glacial en el extremo meridional de Africa. Se cree que el inicio de la sedimentación glacial, en el Stephaniano (Carbonífero superior), ha alcanzado casi todo el área de la cuenca hasta su borde W en el Paraguay Oriental. El inicio de la deposición de las primeras unidades llamadas Gondwánicas en la Cuenca del Paraná, muestra un comportamiento tectónico más calmo.

La dirección N-S de estas unidades estratigráficas, la inclinación de estas unidades hacia el E y su identidad con capas sedimentarias de la misma edad con el resto de la Cuenca del Paraná, indican el área del actual Arco de Asunción, como una barrera efectiva en esta época, separando esta cuenca del área chaqueña.

### Estratigrafía

La columna estratigráfica del Neo-Paleozóico del Paraguay es la siguiente:

Tabla VI

	Paraguay Oriental		Paraguay Occidental	
Pérmico	Grupo Independencia	Formación Tacuary		
		Formación San Miguel		
Carbonífero Superior	Formación Coronel Oviedo	Formación Aquidabán	Grupo Palmar de Islas	Formación San José
Carbonífero Medio e Inferior				

EDAD	PERIODO	GRUPOS	FORMACION	LITOLOGÍA
	Pérmico	Grupo Independencia	Fm. Tacuary Fm. Mallorquín	Lutitas Lutitas bituminosas

			<b>Fm. San Miguel</b>	<b>Areniscas</b>
	<b>Carbonífero Superior</b>		<b>Fm. Cnel. Oviedo</b>	<b>Diamictitas glacial</b>
			<b>Fm. Aquidabán</b>	<b>Diamictitas fluvial</b>
	<b>Carbonífero Medio e Inferior</b>			

### 5.2.1 Formación Coronel Oviedo

Esta denominación de Formación Coronel Oviedo, le corresponde a la Anschutz Co. Anteriormente Harrington (1950); Eckel, E (1959), llamaron a esta unidad Serie de Tubarao, luego Formación Tubarao (1956). También Putzer, H (1962) la denominó así. En la Cuadrícula 40 y Cuadrícula 41 (Anónimo, 1966), se llamó serie Cerro Corá.

La unidad aflora en la ciudad que lleva su nombre, tiene una continuidad de norte a sur y pasa horizontalmente a la Formación Aquidabán (río aquidabán). El límite entre las dos formaciones parece ser por interdigitación.

Se presenta en el Paraguay Oriental con una dirección NNW-SSE, al sur de la Falla del Jejuí/Aguary Guazú (Figura 1) hasta el área meridional del Alto de Caapucú, al SE de la ciudad de San Juan Bautista. Posee una faja de afloramientos entre 5 y 35 km de ancho, frecuentemente cortadas por sedimentación de edad Cuaternaria. Abarca un área de 3.177 km<sup>2</sup>. Al norte de la falla citada, se encuentra en relación de interdigitamiento bien marcada con la Formación Aquidabán. La Formación Coronel Oviedo está constituida por diamictitas, lutitas, areniscas y ritmitas del tipo Varvitas (“varved clay deposits”). Algunos niveles de diamictitas, como en el afloramiento distante a 12 km de Cnel. Oviedo, en dirección a Carayaó, indican sedimentación de origen en “tills” supra-glaciales presentando una matriz de granulación fina, cantos distribuidos de manera aleatoria y lentes de areniscas convulsionadas. Estos afloramientos parecen representar un período de sedimentación en ambiente glacial.

La estratigrafía de la Formación Coronel Oviedo se complica debido a una intensa movimentación estructural en que casi todos sus contactos, como las unidades del Silúrico ocurren por fallamientos, como puede observarse en la ciudad de San José, en la Ruta 2 (Figura 5). El bloque bajo es siempre la formación Permo-Carbonífera, lo que hace en los afloramientos de esta unidad se presenten solamente el techo de la formación.

Al Sur de Cnel. Oviedo, en dirección a Villarrica, Caazapá, Yegros y Yuty, la formación está bastante fallada (Figura 1-A), como indica Hutchinson (1979).

Sus exposiciones en superficie son frecuentemente limitadas por fallamientos y hacia el W, en dirección al valle del Río Tebicuary, está totalmente cubierta por sedimentación Cuaternaria asociada a una gran planicie aluvial de este río y sus afluentes, donde su mapeamiento es bastante difícil.

De esta manera, se cree que en gran parte del área de afloramientos de la Formación Cnel. Oviedo, solamente existe el techo de esta formación, luego sobrepuesta por sedimentos de la Formación San Miguel. Bloques fallados, con alzamientos de niveles más profundos de esta unidad, son responsables por exposiciones de tillitas, como a 12 km al N de Cnel. Oviedo. La mayor parte de esta unidad litoestratigráfica se encuentra en sub-superficie. Sin embargo, su espesor en el Paraguay Oriental, no es pequeña como puede deducirse de la perforación

Asunción No. 1 (Figura 4).

Al igual que las unidades homólogas de la Cuenca del Paraná, en Brasil, Uruguay y Argentina, la Formación Cnel. Oviedo tuvo sedimentación con inicio en el Stephaniano (Carbonífero Superior) y sigue durante el Pérmico. No está restringida al Carbonífero. Hasta el momento no hay estudios palinológicos para probar esta información.

Harrington (1962) llamó a esta unidad, Serie de Tubarão y después (idem, 1956), Formación Tubarão. Serie Tubarão es también la denominación utilizada por Eckel (1959) y Putzer (1962). En la descripción de las cuadrículas 40 y 41 (Anónimo 1966), la unidad es denominada Cerro Corá.

La denominación Formación Coronel Oviedo, aceptada en este trabajo por su uso corriente, fue utilizada por Wiens (1982).

### **5.2.2 Formación Aquidabán**

La Formación Aquidabán está expuesta en el área, al N de la Falla del Jejuí/Aguaray Guazú (Figura 1), y sigue aflorando en el Estado de Matto Grosso del Sur, en el Brasil.

Abarca un área de 12.097 km<sup>2</sup>, en el Paraguay Oriental, en la Región del Alto del Apa. El contacto basal está en discordancia erosiva con las rocas del Grupo Itapucumí (Cámbrico-Pre-Cámbrico) y del Basamento Cristalino (Pre-Cámbrico). El techo está en discordancia erosiva con los sedimentos de la Formación Misiones, de edad Triásico/ Jurásico. Su espesor se estima en aproximadamente 1.000 metros, por cálculos de superficie, debido a la ausencia de informaciones de sondeos. La denominación Formación Aquidabán fue formalmente propuesta en el trabajo de OEA (1975), cuando por primera vez fue reconocida.

En los caminos que se dirigen de Bella Vista, hacia el W y WSW, hasta la localidad de San Carlos, estas areniscas de coloración roja están comunmente cubiertas en superficie por un nivel constituido por pisolitas (Itá Canga) en forma de ripios, en la que se encuentran areniscas de la formación en bloques rodados. Esta situación está presente en Bella Vista, hasta el arroyo Apa-mí, a más o menos 5 km de la ciudad. Es importante resaltar que de Bella Vista hacia el N, en dirección al Estado de Matto Grosso del Sur, Brasil, la faja de afloramientos de esta formación (Formación Aquidauana) es continua y está bien descrita en varios trabajos.

En el arroyo Primero, 18 km WSW de Bella Vista, aflora una arenisca roja con granulación entre 62 y 88 $\mu$ , junto a una enorme cantidad de cantos rodados de cuarcita, granitos y calcedonia. El afloramiento se extiende por más de 1 km, donde pueden ser observados pequeños cantos de esta matriz arenosa. Más adelante, entre 3 y 7 km del arroyo, la formación exhibe lentes de areniscas de granulación variable (88 - 125 $\mu$  a 252 - 350 $\mu$ ) hasta conglomerados.

Estos lentes poseen 30 a 50 cm de espesor y 1,5 a 2,0 metros de largo.

Algunos cantos rodados sobre la superficie del terreno, posiblemente derivados de esta formación, presentan nítidas estrías indicativas de transporte glacial. Cantos estriados también están presentes en la Formación Aquidabán, en Matto Grosso del Sur, y varios autores sugieren un origen glacial para estos sedimentos de coloración roja primaria. Gran parte de los depósitos de esta formación indican, como un todo, una deposición sobre control fluvial/deltaico, a partir de un área fuente, situada más al N. Para aclarar este problema, es necesario la determinación de la posición

estratigráfica de estos cantos estriados en el interior de la formación. Es posible que se originen por una interdigitación con la Formación Cnel. Oviedo.

Esta secuencia, que fué denominada Serie Tubarão por Harrington (1950), Eckel (1959) y Putzer (1962), posee sin duda, cantos estriados y facetados ya reconocidos por Boettner (1947), pero por otro lado son evidentes las indicaciones de sedimentación de origen fluvial, lo que puede evidenciar un retrabajamiento de antiguos depósitos glaciales o detritos liberados por hielos flotantes (OEA, 1975). Herbst (1979, además de observaciones sobre la edad de esta secuencia, menciona que los sedimentos de granulación gruesa encontradas en la Ruta 5 (hacia Bella Vista), pertenecen a corridas de lodo (“mud flows”) no necesariamente asociadas a condiciones glaciales de deposición.

En una sección geológica entre las ciudades de Concepción y Pedro Juan Caballero (Figura 1-B), la Formación Aquidabán muestra 4 secuencias de sedimentos que fueron denominados unidades A, B, C y D respectivamente. La unidad A está constituida por areniscas de granulación variada (177 - 250 $\mu$ , 250 - 350 $\mu$  y 500 - 710

$\mu$ ), con matriz fina e intercalaciones de niveles conglomeráticos con cantos de tamaño de hasta 15 cm. Las estructuras sedimentarias presentes están constituidas por estratificación cruzada y capas con espesores entre 1,5 a 2,0 m, con secuencia granulométrica decreciente de abajo hacia arriba.

El color general es rojo con variaciones hacia el rosa blanquesino y amarillo. La unidad B presenta areniscas muy finas (62 - 88 / 88 - 125 $\mu$ ) con cantos esparcidos en niveles estratificados y capas de diamictitas con gran presencia de cantos y lentes de areniscas de grano grueso (500 - 710 $\mu$ ), ambas de color rojo a lilas. Las diamictitas muestran un pasaje lateral hacia capas de areniscas con granulación entre 250 hasta 710 $\mu$ , con cantos de hasta 10 cm en tamaño de distribución dispersa. Las estructuras sedimentarias están constituidas por estratificación plano-paralela, estratificación cruzada en las areniscas de grano grueso y deformación en lentes de areniscas de tamaño pequeño. La constitución de la matriz de las capas de diamictitas, con granos de cuarzo dispersos, nos hace pensar en un origen por corrientes de lodo, como fué mencionado por Herbst (1979) para esta región. La unidad C está constituida por areniscas de grano muy fino a fino (88 - 125 $\mu$  hasta 125 - 177 $\mu$ ) de color rojo a rosa blaquesino, con estratificación horizontal predominante. Hay una alternancia con capas de areniscas arcillosas hasta lutitas. Las capas de areniscas de mayor espesor son de 0,5 m frecuentemente silicificadas. En estas capas están presentes estratificaciones cruzadas causadas por migración de ondulitas. Algunos niveles presentan secuencia granulométrica decreciente de abajo hacia arriba. Frecuentes niveles de areniscas de grano fino, con ondulitas simétricas (7 cm de ancho), atribuyen una deposición original a un ambiente de aguas calmas, tal vez una planicie de creciente. La unidad D es conglomerática con las capas de conglomerados presentando desde gravillas hasta cantos con 15 cm. Las capas conglomeráticas están asociadas con areniscas de grano grueso (500 - 710 $\mu$ ) ambas de coloración



crema a rosa. Las estructuras sedimentarias, constituidas por estratificación cruzada en secuencias granulométricas decrecientes de abajo hacia arriba (“finning up – word”), indican deposición en canal fluvial

Las Formaciones Coronel Oviedo y Aquidabán, correlacionables con las Formaciones Itararé y Aquidauana, en la estratigrafía de la Cuenca del Paraná, en Brasil; al igual que en la margen E de la cuenca, deben poseer relaciones de interdigitamiento. Esta interdigitación entre las dos unidades se deriva del aporte de detritos a partir de áreas fuentes en situaciones geográficas distintas, en la antigua cuenca deposicional, con un área de más de 1.000.000 km<sup>2</sup>. La fuente de aporte de detritos de la Formación Aquidabán se encontraba situada en el centro de la Placa Sudamericana, en el antiguo trópico, lo que explica sus sedimentos rojos que como discuten Petri & Fulfaro (1976), es un color primario. La otra fuente de la Formación Cnel. Oviedo, situada al E, junto al antiguo Arco Afrobrasiliano, con fuerte influencia glacial, dieron origen a la acumulación de sedimentos con faciologías enteramente diversas que se interdigitan próximo a las áreas marginales de la antigua cuenca.

La Fm. Aquidabán fué depositada en un gran complejo fluvial deltaico, que tenía como nivel de base las áreas marinas asociadas al ambiente deposicional de la Formación Cnel. Oviedo, hacia el centro de la antigua cuenca. La edad de esta formación se cree es del Carbonífero superior (Stephaniano) al Pérmico, lo que comprueba en parte la afirmación de Herbst (1979), de que no hay evidencias de una edad Carbonífera para esta unidad.

### **5.2.3 Grupo Palmar de Las Islas**

Esta denominación fue propuesta, por Gómez Duarte (1986) para las unidades de edad Carbonífera del Paraguay Occidental. Abarca un área de afloramiento de aproximadamente 9.960 km<sup>2</sup>, dividido en las Formaciones San José y Cabrera, separadas por el Alto del Chaco Central y el Alto de Lagerenza (fig. 1).

En el Chaco Paraguayo, las manifestaciones del Carbonífero fueron identificadas en casi todos los pozos de explotación petrolera (Mendoza No. 1 y 2, Gato No. 1, Toro No. 1 y otras). El Grupo Palmar de las Islas está correlacionado con los grupos Machareti y Mandyyuty, en Bolivia. El primero reposa directamente sobre rocas del Devónico, rellenando la topografía irregular del sustrato. Este grupo está constituido por limolitas, arcillitas, diamictitas y areniscas, alternando conglomerados con rodados de granitos rojos, cuarcitas claras, rocas remosionables del Devónico, granitos grises y pórfidos. El grupo Mandyyuty está constituido por la Formación Taiguaiti, con elementos pelíticos más abundantes y por la Fm. Escarpment, más arenosa, en la parte superior (Gómez Duarte, 1986).

#### **5.2.3.1 Formación San José**

Aflora en el borde Oriental del lago Palmar de las Islas, Estancia San José, en un área de 8.200 km<sup>2</sup>. Está constituida por conglomerados polimíticos con cantos gruesos a medios de granito rosado, cuarzo blanco, lutitas negras, rocas porfídicas y cuarcitas, al parecer, en la base de una secuencia constituida por diamictitas. Comparando las rocas de las formaciones del Carbonífero boliviano, Gómez Duarte (1986) cree que ésta unidad pertenece a la parte basal del Carbonífero y es correlacionada con el Grupo Machareti.

En la localidad tipo, las rocas se presentan muy tectonizadas con numerosas fracturas de dirección N-S. Además se observan evidencias de fallas, ya que los

estratos están tumbados y no es posible reconocer la posición original de los mismos.

#### **5.2.3.2 Formación Cabrera**

Aflora en el Cerro Cabrera en un área de 1.760 km<sup>2</sup>. Está constituida por areniscas, areniscas finas micáceas, laminares de colores crema, verde grisáceas y amarillentas, diamictitas grises con abundante matriz y clastos de tamaño medio a fino, considerados de la misma edad que la formación anterior.

Sobre esta unidad reposan, en forma discordante, unas areniscas masivas de grano medio a grueso y de regular selección que podría pertenecer al Mesozoico. Las fracturas observadas en el Cerro son semejantes, en características, a las reportadas en toda la región y al parecer está separada del Cerro del Caimán, en Bolivia, por una falla (Gómez Duarte, 1986).

#### **5.2.4 Grupo Independencia**

El grupo está constituido por las Formaciones San Miguel y Tacuary, de edad Pérmica, que aflora en el Paraguay Oriental en un área de 7.996 km<sup>2</sup>. La denominación Serie Independencia fue utilizada por Harrington (1980), para designar las capas sedimentarias del Pérmico superior. En 1956, el mismo autor designa la misma unidad de Formación Independencia, (Eckel, 1959) volvió a utilizar la denominación Serie Independencia en un sistema del Gondwana o de Santa Catarina. Putzer (1962) denominó las capas de edad Pérmica como la Serie Passa Dois.

En la descripción de la geología de la cuadrícula 41, Coronel Oviedo (Anónimo, 1966), las capas de edad Pérmica inferior y medio son denominadas Serie Ybytyruzú, dividida en las Formaciones Pañetey e Independencia. Wiens (1982) propone para el Pérmico la división en las Formaciones San Miguel, Tacuary, Tapytá y Cabacua. En la adaptación preliminar de la columna estratigráfica del Paraguay, para el Proyecto PAR-83/005, estas formaciones fueron reunidas en el Grupo Independencia. En este texto explicativo el Grupo Independencia está dividido en las Formaciones San Miguel y Tacuary con la eliminación de las Formaciones Tapytá y Cabacua que, en realidad, pertenecen a la base de la unidad de edad Triásico/Jurásica.

El grupo aflora manteniendo la dirección de las denominadas capas gondwánicas, N-S/NNW-SSE, con buzamiento hacia el E, en áreas frecuentemente fallada. Al norte de la zona de la Falla Jejuí/Aguaray Guazú (Figura 1), en el Alto Apa, el Grupo está ausente por erosión en el Triásico inferior. Las formaciones del grupo se correlacionan con las unidades de los grupos Guatá y Passa Dois, de la Cuenca del Paraná, en el Brasil.

En el Mapa Geológico del Paraguay, escala 1:000.000, las dos formaciones del Grupo Independencia están individualizadas solamente al sur de la Ciudad de Cnel. Oviedo. Al norte de esta ciudad se presenta como indivisa.

#### **5.2.4.1 Formación San Miguel**

Aflora en faja, con disposición N-S, desde las proximidades de Carayaó, al Norte, hasta la región de Yuty, al Sur. En profundidad fue registrada en las perforaciones Asunción No. 1 y 2. No está presente al Norte de la zona de falla del Jejuí/Aguaray Guazú, donde los sedimentos de la Fm. Misiones de Triásico/Jurásico, reposan

directamente sobre la Fm. Aquidabán más antigua.

Está constituida por areniscas, lutitas y diamictitas depositadas en concordancia con los sedimentos de la Formación Coronel Oviedo, más antigua. El contacto entre las dos formaciones es difícil de ser mapeado, en parte por causa de los afloramientos pobres y también, debido al contacto transicional entre las dos unidades.

Hutchinson et. al.,(1979), dan detallada información sobre la estratigrafía de esta unidad y la faciología sedimentaria presente en el área con inicio al Norte, en la región de Coronel Oviedo, y se extiende hasta el Sur, cerca de la ciudad de Yuty. Esta unidad estratigráfica se encuentra en conformidad sobre la unidad más vieja y está representada en profundidad por una secuencia basal de areniscas conglomeráticas, sobre siltita y lutitas, de origen glacial de la Formación Cnel. Oviedo, seguida por una secuencia constituida predominantemente por areniscas alternadas por pizarras de origen fluvial, lacustrina, deltaica y marina rasa.

Una de las perforaciones indicadas en la Figura 1-A, ejemplifica la distribución litológica, en la Formación San Miguel, que posee entre 20 a 100 metros de espesor.

- 60-100 m areniscas arcósicas, generalmente macizas, ocasionalmente con estratificación pobre, friable. Interpretada como resultante de una facies deposicional de playa.
- 0 - 15 m presenta un cambio regresivo deposicional de marino raso a ambiente de playa.
- 0 - 20 m arenisca fina a muy fina intercalada con siltita y pizarras. Es fractura "flaser", causando aspecto ondulado, estructuras lenticulares y bioturbación indican ambiente marino raso.

En el área entre Mbocayaty y la Colonia Independencia, en la subida de la escarpa, está expuesta la Formación San Miguel en gran parte de una sección arenosa, donde la base de la escarpa del arroyo Itá hasta su contacto, por falla, con las areniscas de la Formación Misiones (R-J) , 3 km. más adelante (Figura 1-c).

Las areniscas presentan granulación media (250-350 $\mu$ ) con granos más gruesos dispersos en la matriz de grano medio. Presentan estratificación cruzada con ángulos más elevados en capas de areniscas de grano más grueso (350 – 500 $\mu$  ), alternando con niveles donde están presentes ondulitas. En este tramo, junto al arroyo Guazú, los sedimentos de esta formación presentan fósiles vegetales, troncos silicificados, que son muy característicos de esta unidad en el resto de la cuenca.

En el camino hacia la Estancia Isla Negra, a partir de la Ruta 2, se observan, en una cantera, areniscas de granos finos rojos (gris en mayor profundidad) con cantos de hasta 4 cms. En observación detallada, los cantos, aparentemente dispersos, muestran que están estratificados en determinadas capas, no representando una granulometría decreciente de abajo hacia arriba, pero si flujos de corriente fluvial en ambiente sub-acuático. Esta secuencia se sucede con capas más arcillosas con estratificación horizontal.

Anteriormente incluido en la Fm. Cnel. Oviedo, este afloramiento debe ser considerado como perteneciente a la Fm. San Miguel.

Al Norte de Cnel. Oviedo, en dirección a Carayaó, en una cantera localizada a 3 Km. de la ruta (entrada en el Km.155), están expuestas aproximadamente 25 metros de areniscas con estratificación plano-paralela, en capas alternadas, con 2 mm. de

espesor entre granulometrías de 350-500 $\mu$  y 125-177 $\mu$ . En los 25 m. expuestos se observan dos intercalaciones de capas más arcillosas. Este tipo de sucesión litológica recomienda su inclusión en la Formación San Miguel.

El ambiente de sedimentación de los depósitos de esta unidad es fluvio/deltaico. El avance del complejo deltaico sobre la sedimentación marina arcillosa del mar transgresivo, que ocupa la cuenca después de la retirada glacial, provoca una intensa ocurrencia de fenómenos denominados de lutocinesis (diapirismo de lodo). En la Plaza de la ciudad de Cnel. Oviedo, existe una exposición de este fenómeno en areniscas de frente deltaico pertenecientes a esta formación.

Las lutitas intrusivas poseen cantos dispersos y las capas de areniscas cortadas por el diapiro, presentan muchas deformaciones en forma de un complicado sistema de plegamiento. Fenómenos de lutocinesis constituyen un buen diagnóstico para la interpretación de sedimentación sub-acuosa en frentes deltaicos.

Las evidencias de lutocinesis no están restringidas a la localidad de Cnel. Oviedo. En la ruta entre esta ciudad y Villarrica, en el Km.151, es posible observar la misma deformación en areniscas de granulación, entre 250-350 $\mu$ , asociadas a lutitas diamictíticas. En la ruta 2, entre San José y Cnel. Oviedo, es frecuente la exposición de capas arenosas deformadas u onduladas en contacto con lutitas diamictíticas. Este nivel fue elegido en este trabajo como el contacto entre las Formaciones Cnel. Oviedo y San Miguel, debido a que, hacia arriba, la exposición de areniscas es constante.

La edad de la Formación San Miguel es del Pérmico. Herbst (1979), estudió vegetales fósiles del área del arroyo Guazú entre Mbocayaty y la Colonia Independencia, constituidos por troncos silicificados, atribuyendo a estas capas sedimentarias una edad del Pérmico superior.

El contacto superior de la Fm. San Miguel con la Formación Tacuary, es de difícil observación en afloramientos. Los contactos entre las dos unidades es frecuentemente por fallas (Figura 1-C). La sucesión estratigráfica, no obstante, indica un contacto constante y transicional. En la posición estratigráfica de la base de la Formación Tacuary, techo de la Formación San Miguel, en la Ruta 2, en el arroyo Morotí, dos lentes de areniscas de grano fino, bien seleccionados, se intercalan con capas de lutitas.

La estratificación en los lentes arenosos, además de su forma tridimensional, indican deposición en barras arenosas costeras.

Esta exposición podría representar el máximo avance del mar de los sedimentos de la Formación Palermo, que representa una ingresión marina generalizada en la cuenca del Paraná, después del evento fluvio/deltaico, ausente en la columna estratigráfica del Paraguay. En el borde E de la cuenca, la Formación Palermo se encuentra debajo de unidades estratigráficas correlacionables a la Formación Tacuary.

#### **5.2.4.2 Formación Tacuary**

Esta denominación se atribuye a la Anschutz Co., para describir a lutitas calcáreas, siltitas y arcillitas.

Se las puede observar en divisorias de aguas; aflora continuamente desde San

Estanislao, al Norte, hasta el Sur de Yuty, en el Paraguay oriental, con una dirección de N-S e inclinación hacia el E. Está constituida por una sucesión rítmica de siltitas, lutitas, arenisca de grano fino y calcáreos, generalmente oolíticas; comprenden rocas depositadas en un ambiente marino costero de aguas poco profundas. Se las distingue por presentar una gran variedad de colores, desde rosados (predominantes), rojizos, amarillentos, lilas y grises.

En la entrada de la ciudad de San Estanislao aflora una secuencia de capas de areniscas rosadas de granulometría entre 88-125 $\mu$  intercaladas con lutitas. Dos lentes de areniscas con idéntica granulometría y espesor de 2,5 metros, indican deposición en ambiente costero con barras arenosas y lagunas. Estos afloramientos, cerca de San Estanislao, están en el techo de la Formación Tacuary, estratigráficamente abajo del contacto con la Formación Misiones (R - J). Los mismos tipos de afloramientos se encuentran hacia el Sur, hasta Mbutuy y para el ENE, hasta la ciudad de Curuguaty, en un bloque de falla.

En la Ruta 2, esta formación aflora desde el Arroyo Morotí hasta el Km. 165, en la entrada para la "Calera Cachimbo". En las proximidades del arroyo Morotí es posible observar el contacto basal, transicional con la Formación San Miguel, como fue descrita en el ítem 5.2.4.1. El contacto superior con la Formación Misiones es por discordancia erosiva.

La posición estratigráfica de los niveles oolíticos dentro de la formación es variable, a veces se sitúa junto a su base, a veces en su techo. A 3 km, al Sur de Yuty, afloran sedimentos de la base de esta unidad constituidas por areniscas en capas de 10 cm de espesor y granulación entre 177-250 $\mu$  intercalados con lutitas. En el techo del afloramiento aparecen las capas de oolitas silicificadas, con espesores entre 1,0 y 2,0 cm, ligeramente onduladas. En las capas de areniscas pueden ser observadas ondulitas. En el Km 165 de la Ruta 2, en la Calera Cachimbo, afloran sedimentos del techo de esta formación. Una capa de calcáreo oolítico, con cerca de 2,0 metros de espesor, presenta estratificación cruzada, ondulitas y gran número de concreciones de sílice. Algunas estratificaciones cruzadas de tamaño pequeño fueron causadas por la migración de ondulitas ("ripple drift cross lamination" ). Fósiles de lamellibranchiata, existen en gran cantidad en por lo menos un nivel en el techo de la capa calcárea. El tipo oolítico del calcáreo, el modelo de estratificaciones cruzadas, las ondulitas, el tamaño de granos, la forma, la clasificación y dirección, indican un ambiente de playas en un paleorelieve suave.

La formación aflora también en la Colonia Independencia; próxima al Hotel Tilinski, donde es fácilmente reconocida por la presencia de sus sedimentos de colores variados (rojo, lilas, verdosos, etc.). En la propiedad del Señor Ernesto Kornmeyer, en la misma área, existen capas calcáreas y areniscas finas con fósiles lamellibranchiata. Herbst & Leguizamón (1982-1984) describen algunos perfiles de la Formación Independencia (parcialmente correlacionable a la Formación Tacuary), enfocando su contenido fosilífero, incluyendo el área del Departamento del Guairá.

Los mismos autores (ídem, ídem) mencionan que el contenido paleontológico de la fauna de esta unidad consiste en un conjunto de invertebrados, entre los que figuran pelecípodos, ostrácodos y restos de crustáceos. Desde el punto de vista de las afinidades con otras faunas sudamericanas, sería una fauna endémica del mar Pérmico de la Cuenca del Parque. Los invertebrados de esta formación son los

siguientes:

- *Piramus anceps*
- *Pinzonella Neotrópica*
- *Terraia aff altísima*
- *Jacquesia sp. indt.* (af. *J. Elongata*)
- *Piramus nov. esp.*

Según Herbst & Leguizamón (1982-84) este conjunto de formas, indudablemente, representa la fauna de la Formación Estrada Nova (Pérmico), de la Cuenca del Paraná, en Brasil. La forma descrita por Harrington (1950) y la localidad encontrada por los autores supracitados, representan la asociación de *Pinzonella Neotrópica* Sensu Kunnegar & Newel (1971).

Los mismos autores (Herbst & Leguizamón, 1982-84) encontraron Ostrácodos en la localidad del Arroyo Vino, en la Colonia Independencia. Se trata de una fáunula de 4 o 5 distintas formas en que se presentan únicamente como impresiones y a veces como moldes internos, cuya preservación es muy pobre y que no ha permitido ningún tipo de clasificación.

La flora en general, aporta menos datos. Los autores (*idem, idem*) mencionan la presencia de *Guairea Comieri*, que originalmente fue descrita por Schuster, y a la que Herbst (1974) le asimila una especie publicada por Andrews (1948), como *Osmundites brasiliensis*. Esta planta, en Brasil, también procede de la Fm. Estrada Nova. El conjunto de la información paleontológica y litológica permite correlacionar la "Formación Independencia", denominado Tacuary en este trabajo, con la Formación Estrada Nova y dentro de ella con la Fm. Terezinha (Formación o Miembro Terezinha según Schneider et. al., 1971). Las características generales indican para esta formación un ambiente sedimentario cerca de la orilla del mar, en una paleolínea de costa de tierra emergida, poco elevada y estable. Las margas y calcilutitas de Syraty, próximo a San Estanislao, indican un ambiente marino de aguas someras, probablemente lagunas, en contraposición a los ambientes de playa de los calcáreos oolíticos como los de las áreas de Cachimbo en el Km. 165, de la Ruta 2.

## **6. Mesozoico**

### **6.1 Consideraciones Generales**

Las sucesivas movimentaciones tectónicas, asociadas a la ruptura del supercontinente de Pangea, poseen un reflejo, en el interior continental, caracterizado por levantamientos acentuados de los bordes de las cuencas intracratónicas.

En el Triásico inferior toda esta área del Alto Apa (Figura 1), en la Cuenca del Paraná está levantada con la remoción, por erosión de las secuencias estratigráficas del Pérmico. Asociado a este alzamiento, el hundimiento del Bajo de San Pedro preserva casi la totalidad de la misma columna estratigráfica de la Cuenca del Paraná, en el Paraguay Oriental. En esta Cuenca, las condiciones endorreicas causadas por el levantamiento de los arcos marginales, resultan en la deposición de areniscas en condiciones semi-áridas.

La ruptura entre las placas Sudamericana y Africana y la presencia de un domo térmico asociado al sustrato de la Cuenca del Paraná, resultan en un intenso

volcanismo, iniciándose en el Jurásico superior por intrusión de complejos alcalinos en los límites del Bajo de San Pedro. Estas intrusiones siguen hasta el Cretácico, con el recubrimiento de aproximadamente 800.000 km<sup>2</sup> de la cuenca, por coladas de lavas basálticas, en el Cretácico inferior.

Estas manifestaciones volcánicas están asociadas a fenómenos de carácter "riff" de gran intensidad en el Paraguay Oriental.

En el Cretácico superior un nuevo período de deposición, con sedimentos de ambiente fluvial, vuelve a presentarse con recubrimiento de la superficie basáltica en la Cuenca del Paraná, pero con escasa representación en el Paraguay Oriental.

En el mismo período y probablemente siguiendo por el Terciario, existe una deposición de sedimentos conglomeráticos en los "grabens" asociados al Alto de Asunción, generado por las manifestaciones "rift" asociados al volcanismo anterior.

En el Cretácico, el levantamiento del Arco de Asunción y los movimientos asociados a la evolución de la franja móvil andina provoca un período de gran sedimentación en las cuencas del Paraguay Occidental, especialmente en el área meridional limítrofe con la región Salteña, en Argentina. En este período se inicia la Cuenca del Chaco como una unidad geotectónica autónoma .

## **6.2 Estratigrafía**

La estratigrafía del Mesozoico en el Paraguay, es la siguiente:

### **6.2.1 Formación Misiones**

Los sedimentos de la Fm. Misiones afloran en el Paraguay Oriental según la misma dirección estructural de las unidades gondwánicas anteriores. Abarca un área aproximada de 35.000 Km<sup>2</sup>. El contacto basal es por discordancia erosiva con las unidades Carboníferas y del Pérmico.

La Fm. Misiones representa los diversos subambientes de un gran desierto climático de aridez creciente, cuya existencia se prolongó hasta el vulcanismo basáltico del Trapp del Paraná.

Los vientos que movían a las dunas del desierto, provenían del norte al noreste de la fuente.

La Fm. Misiones está caracterizada por areniscas rojas de edad Mesozoica, en la que unidades antiguas se sobreponen con una disconformidad erosiva muy disfrazada, no reconocible a nivel de afloramiento.

Al Norte de la falla del Jejuí/Aguaray Guazú, el contacto inferior está sobre sedimentos de la Fm. Aquidabán (Permo-Carbonífero) y al Sur de este elemento estructural, con la Fm. Tacuary del Pérmico. El techo de la formación, en todo el país, está recubierto en discordancia erosiva por los basaltos de la Formación Alto Paraná (Jurásico-Cretácico).

En el mapa Geológico esta formación está representada por una faja discontinua de afloramientos donde el Norte (Pedro Juan Caballero), hasta el Sur, en la región de San Juan Bautista. Aflora también, en el interior del "plateau" basáltico, como en el área adyacente al río Paraná, entre Encarnación y Trinidad (Ruta 6). La formación presenta dos facies sedimentarias, una de origen fluvial y la otra, predominante, de origen eólico. La facies sedimentada en ambiente fluvial ocupa, preferencialmente, una parte basal de la formación, mas puede recorrer entre los sedimentos arenosos de origen eólico. Esta facies basal está constituida por areniscas esencialmente

maciza, localmente con estratificación cruzada, granulación fina a media y láminas arcillosas intercaladas. Existen también niveles conglomeráticos o brechas con clastos de arcilla, siltita y pizarras, con pequeña continuidad lateral de los cuerpos arenosos.

La parte basal representa así, una facies de planicies aluviales asociadas a un ambiente fluvial. Esta sección de la formación fue dividida por Wiens (1982), en dos formaciones, denominadas Tapyta y Cabacué, con cerca de 325 metros de espesor y su definición fue hecha en base a descripciones en profundidad. En la cuenca del Paraná se conoce hace mucho tiempo, una fase deposicional fluvial asociada a la base de la Formación Misiones. A veces esta fase fluvial basal llega a separarse en una formación específica, como en el Brasil, la Formación Pirambóia. A nivel regional esta separación en mapeamiento se hace difícil demostrar. Teniendo en cuenta un buen acuífero y los mapas distinguiendo las dos formaciones, se concluye a interpretaciones erróneas. Estudios más detallados, especialmente en la prospección de aguas subterráneas, demuestran que las dos unidades, fluvial y eólica, se presentan interdigitadas.

La parte eólica se caracteriza por presentar una marcada bimodalidad en la distinción granulométrica en láminas de pocos milímetros. Presentan estratificaciones cruzadas de mayor tamaño con los "sets" cruzados comenzando con granos de 500-700  $\mu$  terminan con 177-250  $\mu$ . En la región de la Colonia Independencia, en la localidad denominada Salto Boni, puede observarse areniscas con granulación bimodal (350-500 $\mu$  y 500-710 $\mu$ ) con amplios "sets" de estratificación cruzada, con más de 4 metros de largo por 1,5 metros de altura. La arenisca está fuertemente silicificada y posee un sill intrusivo en su parte inferior. La inclinación de los estratos está entre 10 y 20° y el frente del escarpe posee una exposición cerca de 25 metros de altura. Bajo el cuerpo intrusivo, las areniscas muestran "sets" de estratos cruzados de más de 12 metros de largo y hasta 3 metros de altura.

La Formación Misiones es transgresiva sobre todas las demás unidades sedimentarias de la cuenca, inclusive sobre el Basamento Cristalino. Esta transgresividad se debe a amplios movimientos tectónicos de naturaleza vertical, que asoló la cuenca al final del Pérmico o al inicio del Triásico, causada simultáneamente por la fragmentación de la Pangea y el levantamiento de los Andes Paleozoicos (Permo-Triásico). El ambiente sedimentario, predominante para esta formación (eólico), también es un factor importante en el carácter transgresivo, especialmente por causa del avance de las dunas arenosas sobre el paleorelieve.

Localmente, puede presentar capas conglomeráticas en su base, constituida por cantos de cuarzo y cuarcita, como en las cercanías de San Juan Bautista, nunca excediendo 2 metros (Gómez Duarte, información verbal).

Estas capas pueden también recorrer la columna junto a facies más fluviales. Los cantos comúnmente muestran trabajo eólico, presentándose todos bastante pulidos (ventifactos).

La edad Triásica, propuesta para el inicio de la sedimentación de esta unidad, está basada en el contacto de esta formación con la unidad inferior, Formación Tacuary, bien descrito en la literatura al respecto, en la Cuenca del Paraná. En la margen E de la Cuenca, la zona de contacto está caracterizada por un nivel de regolito fósil (suelo fósil) indicando, en su paraconformidad, un pasaje casi gradual hacia diferentes



condiciones de sedimentación. Hacia el interior de la cuenca el pasaje es transicional. En la margen W de la cuenca, en el Paraguay Oriental, el contacto entre las Formaciones Terciarias y Misiones puede ser observada en la ruta Mbocayaty y Colonia Independencia, a 17 km de la primera ciudad, en la ruta y en un camino lateral que se inicia en este lugar.

En este punto, la base de esta unidad (Formación Misiones), presenta areniscas arcillosas con estratificación cruzada y clastos de lutitas de la Formación Tacuary, en las "fore sets" de los estratos cruzados. La granulometría de las areniscas que portan los clastos de lutitas está entre 250-350 $\mu$  y entre 500-710 $\mu$  para las areniscas con estratificaciones cruzadas de tamaño mayor. No obstante, el área se encuentra muy fallada (Figura 1-C), estas areniscas con clastos de lutitas de la unidad más antigua constituye una brecha basal de la Formación Misiones, bien descrita en el nivel de regolito fósil de la cuenca. Como en el Paraguay Oriental, la Formación Misiones está atravesada por intrusiones alcalinas del Jurásico superior, se admite para esta formación, una edad Triásica - Jurásica. En el frente de las escarpas cubiertas por la Formación Alto Paraná (basaltos), como en la región Norte (área de Pedro Juan Caballero y Capitán Bado) y Central (área de la Cordillera e Ybytyruzú), la erosión que continúa en el frente de la escarpa provee una gran cantidad de granos de arena de esta formación, que va a depositarse en el área baja adyacente, haciendo que se forme una extensa cobertura arenosa frecuentemente confundida, en trabajos de mapeamiento, con la Formación Misiones.

### **6.2.2 Complejo Alcalino Sapucaí**

El Complejo Alcalino Sapucaí, poseen una edad predominante que va del Jurásico superior al Cretácico inferior. Se agrupa, frecuentemente, en áreas profundamente tectonizadas y pertenecientes a grandes alineamientos estructurales, como el borde meridional del Alto del Apa y la zona del Alto del Asunción (Figuras 1 y 4). Al Norte se encuentran las grandes intrusiones de Cerro Corá, Cerro Sarambí y Cerro Guazú.

La otra área de ocurrencia se sitúa en la zona central del Paraguay Oriental, donde están situadas las intrusiones de Acahay, Sapucaí, Ybytyruzú, Arruaí, Aguapety y Mbocayaty. Estas intrusiones abarcan áreas de 685 km<sup>2</sup> en el Paraguay Oriental y 7 km<sup>2</sup> en la región occidental.

En el área Norte, el Complejo Alcalino Sapucaí está constituido por rocas cristalinas de grano grueso, como sienitas, egrina-augita, sienitas-nefelinas, foyaítas, carbonatitas y fenitas metasomáticas. En la región meridional la unidad está constituida por essexitas, shonkinitas, nefelina-sienita con la adición de rocas cristalinas de grano fino, en parte extrusivas, conteniendo basaltos alcalinos, basaltos nefelínicos, tefritas, traquitas, fonolitas, tufas de brechas riolíticas y brechas intrusivas (Palmieri, J.H., 1983).

La región septentrional es menos básica que la meridional, con un mayor contenido de carbonatitas y cantidad significativa de fenitas. Según Sheldon (1986), el área meridional posee un menor contenido de fenitas y solamente algunas vetas carbonatíticas en Ybytyruzú. El apatito se presenta como mineral accesorio en ambas regiones. El complejo alcalino de Sapucaí fue descrito en detalle por Palmieri (1973). Los demás complejos alcalinos del Paraguay fueron estudiados a un nivel de reconocimiento, áreas como Cerro Corá, Sarambí, Itapopó, Sapucaí e Ybytyruzú.

Estos complejos alcalinos y "plugs" menores, como San Carlos, en el Norte, poseen

un origen basado en el amplio proceso de movimentación vertical causado por la aproximación de un domo térmico de la superficie de la corteza, en la Cuenca del Paraná, asociado a un extenso proceso "rift", en el Juro-Cretácico.

Sheldon (1986) presenta un modelo para la evaluación de estos complejos alcalinos. En el Triásico superior al Jurásico inferior, un movimiento de alzamiento inició la formación de áreas regionales con remoción, por erosión, de unidades sedimentarias de edad Gondwanica. Una evidencia para esta movimentación está en la intrusión denominada Pão de Açúcar, con continuación para el borde E del Chaco y de edad 210 m.a. Una evidencia adicional está en la renovación, por erosión, de las unidades sedimentarias del Pérmico en el Alto del Apa, antes de la deposición de la Formación Misiones, en el Triásico - Jurásico.

En el Jurásico superior/Cretácico inferior ocurre un rejuvenecimiento de estos arcos con intrusiones y extrusiones de rocas alcalinas, asociadas con manifestaciones de carácter "rift". Durante el Cretácico inferior, entre 128 a 140 m.a., ocurrieron las intrusiones de las rocas alcalinas del Norte y del Sur, en las regiones de los arcos, y al E de los arcos, en la margen W de la Cuenca del Paraná. Las últimas intrusiones alcalinas se presentan en el Cretácico superior (65 a 103 m.a.) en el área Norte y en el oriente de la Cuenca del Paraná, en el Brasil.

Según Palmieri J.H. (1973), estos episodios de intrusiones alcalinas fueron separados por períodos de derramamiento basáltico, basada en la edad de los derrames más antiguos en la Cuenca del Paraná y en el área de Sapucaí.

Las lavas de Sapucaí poseen una edad de 178 m.a., la que concuerda con la edad de los más antiguos basaltos de la cuenca, (Palmieri J.H., 1973). La edad principal de los basaltos de la Formación Alto Paraná, en el Paraguay, está situada entre 108 y 127 m.a. concordante con el intervalo mencionado en el párrafo anterior.

Hay una sugerencia de dos ciclos de flujo de calor con extrusión de coladas de basaltos alcalinos, en tiempos de máximo flujo de calor e intrusiones alcalinas en tiempo de aumento o disminución del flujo de calor.

El último ciclo fue seguido por la intrusión de los basaltos olivínicos no-alcalinos del área de Asunción (46 m.a.), según Sheldon (1986).

Bitchene y Lippolt (1985) describen la Cordillera del Ybytyruzú como un complejo alcalino incompleto y aislado, de edad Mesozoica. Posee un alineamiento bien pronunciado. Un alineamiento NE y una estructura circular al NW son bien visibles. Basaltos de la Formación Alto Paraná abundan en la Cordillera y en el área Sur, tienen espesores de aproximadamente 450 metros.

Filones de traquita perforan el basalto en el centro de la estructura circular, más al NW. Más en el centro, se encuentra una brecha intrusiva y essexitas de fábrica gruesa blanquecina y silicificadas en la zona de contacto. Varían de essexitas a sienitas. En el borde afloran brechas sub-intrusivas como vetillas y filones porfiríticas micáceas. Fenocristales de clinopiroxeno y biotita muestran el parentesco entre el pórfido y la monchiquita micácea.

Las edades obtenidas para las intrusiones alcalinas (K/Ar), van desde el Jurásico superior al Cretácico inferior.

En un "stock" de sienitas, próximo a Mbocayaty, en la pre-Cordillera de Ybytyruzú, la edad es de 128 m.a.. Otras edades obtenidas para las intrusivas alcalinas son las siguientes: Chiriguelo (Cerro Corá) 135 y 143 m.a. (Comte y Hasui, 1971); Pão de Açúcar 207 y 209 m.a. (Amaral et. all 1967 y Comte y Hasui, 1971) ; Cerro Charará con 129 y 149 m.a. (Comte y Hasui, 1971) y Sapucaí 100 y 197 m.a. (Palmieri, 1973),

con lavas basálticas asociadas con 178 m.a., según Comte y Hasui (1971).

### **6.2.3 Formación Alto Paraná**

Está constituida por una extensa área de derrame de basaltos, predominantemente toleíticos, que cubren en la cuenca un área de 800.000 Km<sup>2</sup>, con 24.867 Km<sup>2</sup> en el Paraguay Oriental. La edad del magmatismo está entre 127 y 108 m.a., según Comte y Hasui (1971). La manifestación volcánica está relacionada con la aproximación de un "hot spot" o domo térmico del manto, asociado a la fragmentación de la Pangea, en el proceso de separación de las placas Sudamericana y Africana.

El "plateau" basáltico del Paraguay Oriental no es bien conocido, pero es conveniente mencionar que mapeamientos más detallados llevados al efecto en el "plateau" basáltico en la Cuenca del Paraná, se han identificado extensas áreas de términos intermedios y más ácidos como traquitas, dacitas y traquiandesitas.

La Fm. Alto Paraná aflora con una dirección N-S, en una faja angosta, desde Pedro Juan Caballero, hasta el límite de la Falla del Jejuí/Aguaray Guazú. En dirección al Sur, aumenta su área de exposición en la zona del Bajo de San Pedro, volviendo a estrecharse más al Sur, próximo a Encarnación, donde está recubierta por sedimentos del Cuaternario.

Así, puede observarse el control del cuadro estructural del Paraguay (Figura 1) sobre la situación y cuadro actual de la geomorfología del país.

Su máximo espesor, en el Paraguay Oriental no es conocido, aunque está estimado en más de 700-800 metros en Itaípú, cerca del río Paraná. En la cuenca, el máximo espesor conocido es de 1.980 metros verificado en el pozo 1-CB-1-SO en el Estado Sao Paulo, Brasil, próximo al valle del río Paraná. En la Cuenca del Paraná, la Fm. Alto Paraná está correlacionada con la Fm. Serra Geral.

### **6.2.4 Formación Arenisca Acaray**

Está constituida por sedimentos en posición estratigráfica supra- basáltica, de edad Cretácica superior presumida. Los sedimentos de esta formación están mal definidos y su inclusión en el mapa Geológico y en la columna estratigráfica del Paraguay, está basada en la insistencia en identificarla, por casi todos los autores que trabajaron en Paraguay y en algunos pocos afloramientos de una arenisca de color rosa, de grano fino (62 a 88 $\mu$  y 88 a 125 $\mu$ ) y micáceas encima de los basaltos de la Formación Alto Paraná, entre Curuguaty y Salto del Guaira. El área de afloramiento de esta formación es de 997 km<sup>2</sup>.

La Fm. Acaray aflora en manchas aisladas al Norte y Sur de la ruta, entre Curuguaty y Salto del Guairá. Su posición estratigráfica indica que se correlaciona con la Formación Caiuá, base del Grupo Baurú, en la cuenca del Paraná, de edad Cretácica superior.

Afloramientos de la Fm. Caiuá están presentes en áreas de los Estados del Paraná, Sao Paulo y Matto Grosso del Sur, Brasil, geográficamente próximo a la región donde están marcados los afloramientos de la Fm. Acaray en el Paraguay Oriental. La Fm. Caiuá es de ambiente fluvial.

Gran parte de la cubierta arenosa superficial, de edad Terciaria/Cuaternaria, producto de la evolución del relieve es frecuentemente confundida con esta formación, cuando se encuentra encima de los basaltos.

### **6.2.5 Formación Adrián Jara**

Aflora en el NE de la Base Aérea No 5 "Adrián Jara", en la región de la Cuenca de Curupayty, en el Paraguay Occidental. Abarca un área de aproximadamente 3.360 km<sup>2</sup>.

Está constituida por areniscas rojas, masivas y mal seleccionadas, (Gómez Duarte, 1986) las considera del Cretácico o que se prolonga desde el SE boliviano. La unidad presenta características de un ambiente continental, principalmente fluvial. El mismo autor menciona unas areniscas masivas de grano medio a grueso y de regular selección que reposan en forma discordante sobre la formación Cabrera, en el Cerro Cabrera, como posiblemente perteneciente al Mesozoico.

En el Paraguay Occidental durante el Pérmico, Triásico y Jurásico, no existe sedimentación de gran porte, pero sí, amplia movimentación tectónica con intrusión de cuerpos alcalinos, en el Jurásico, como Cerro Confuso y Fuerte Olimpo (Gómez Duarte, 1986).

En el Cretácico se inicia un nuevo ciclo de sedimentación en las Cuencas del Paraguay Occidental. Sedimentos en esta edad están bien desarrollados en la Cuenca de Purity con la Fm. Berta (aproximadamente 3.000 metros de espesor), considerada una extensión de la Cuenca de Lomas de Olmedo, Argentina. Al parecer casi la totalidad de los sedimentos son continentales, salvo la Fm. Palo Santo que podría ser de un ambiente marino litoral.

Según Pucci (1985 in Gómez Duarte, 1986), la discordancia en la base del Cretácico en el Chaco Central y la distribución de los depósitos Carboníferos, sugieren que diferentes afloramientos ocurrieron desde el Devónico superior.

Los Andes modernos originan a partir de varias fases tecto-orogénicas, a partir del Jurásico superior hasta el Holoceno y tuvieron una influencia gravitante en la configuración final del Chaco (Gómez Duarte, 1986).

## **7. Cenozoico**

### **7.1 Consideraciones Iniciales**

El Cenozoico en el Paraguay está marcado por amplia movimentación vertical con sedimentación de fanglomerados y volcanismo en la región oriental y la conformación final de la Cuenca del Chaco, iniciado a fines del Cretácico, como una nueva unidad geotectónica en la región occidental. No obstante la reactivación Cenozoica de la separación continental con reflejos de carácter "rift" en las cuencas sedimentarias en el interior de la América del Sur. Creemos aquí que las fases tecto-orogénicas, asociadas a la configuración de los Andes, tuvieron una parte importante en el desarrollo de los eventos geológicos con éstas edades en el Paraguay.

Gómez Duarte (1986) menciona cuatro facies tecto-orogénicas como responsables de la formación de los Andes modernos:

- a) Orogenia Laramideana (80 - 105 m.a.)
- b) Oligoceno y Mioceno
- c) Orogenia Andina o Quichua: Plioceno
- d) Pleistoceno: con la configuración actual de la cordillera.

Teruggi (1970 in Gómez Duarte, 1986) manifiesta que al comenzar el ciclo tectónico andino (principios del Terciario), a lo largo de sus distintas fases, la región

paraguaya mesopotámica (Argentina) sufrió una serie de repercusiones que reactivaron los movimientos verticales y al hacer descender la Cuenca Chaqueña, provocaron finalmente, en el Mioceno Superior, la ingresión del llamado mar Entrerriano, que inundó el Norte de la Provincia de Buenos Aires, parte oriental de Entre Ríos, porción oriental de Corrientes y parte del Chaco.

Gómez Duarte (1986) menciona que los sedimentos depositados en esta cuenca deben ser considerados teniendo en cuenta un ambiente confinado, dando depósitos lacustres, deltaicos y palustres y que este mar habría sido de poca profundidad. Al contrario de esto, debe ser considerado que este mar, según la explicación del párrafo anterior, tenía una ligación Sur, al paso que los afloramientos de la unidad de edad Terciaria (Formación Chaco) están situadas en el Norte del Paraguay Occidental. No obstante, existe poca información de perforaciones en el centro y Sur del Paraguay Occidental y el relleno sedimentario, del Terciario Superior y Cuaternario, en esta área, puede ocasionar dificultad para observarse esta unión.

## **7.2 Estratigrafía**

La estratigrafía del Paraguay en el Cenozoico, presentada en este trabajo, es tentativa, especialmente para la región chaqueña. En relación a las edades y a la situación de las unidades en la columna estratigráfica, están relativamente bien definidas.

### **7.2.1 Formación Patiño**

Aunque el inicio de la sedimentación de esta unidad es del Cretácico superior, esta formación es descrita en el capítulo referente al Cenozoico, teniendo en cuenta que el final de la deposición se sitúa probablemente en el Cenozoico inferior. La formación está constituida por sedimentos conglomeráticos en la base y arenosos hacia el techo. Posee fuerte coloración roja y afloran desde Asunción, hacia el SE, hasta Ybytymi, Caballero, en la depresión de Ypacaraí, una estructura asociada al Alto de Asunción. Fanglomerados de esta formación poseen un fuerte control estructural en su origen, constituyendo una auténtica tecto-facies.

Se presenta también al W del río Paraguay, en Benjamín Aceval y Villa Hayes (Gómez Duarte, 1985). La denominación Patiño es debido a Spinzi (1983), que llamó Conglomerado Patino a sedimentos estudiados en el levantamiento geológico del Cerro Patiño (Franco et.allí, 1980), Areguá y alrededores. El espesor mínimo de la formación está estimado en 150 metros y la unidad abarca un área de 1.777 km<sup>2</sup>.

Sus afloramientos más arenosos están alrededor de Asunción y a lo largo de la depresión de Ypacaraí, fueron por mucho tiempo confundidas con las areniscas de la Formación Misiones y así presentadas en varios mapas geológicos del Paraguay (H. Harrington, 1950 y 1956; Putzer, 1962; y Wiens, 1982). En este trabajo se presenta la proposición formal, para estos sedimentos, de una nueva unidad litoestratigráfica con la denominación de Grupo Patiño.

Las capas conglomeráticas poseen una secuencia granulométrica decreciente, de abajo hacia arriba, muy bien expuesta en las localidades de San Antonio, Ypané, Arroyo Ytororó, Cerro Perú (Paraguari), Compañía Salado-í (al norte de Limpio) y Cerro Patiño, donde se encuentra la exposición más completa de la formación. Los cantos de los conglomerados, con tamaños de hasta 40 cm., muestran una "suite" completa de las rocas regionales, incluso cantos de areniscas silicificadas de la Formación Misiones, de las intrusivas, alcalinas y rocas del Silúrico. En dirección al

techo de la unidad hay una disminución de las capas conglomeráticas, con aumento de espesor de las capas arenosas.

En la margen W del río Paraguay, cerca de las localidades de Villa Hayes y Benjamín Aceval, afloran sedimentos correlacionables a esta formación asociados a las intrusivas básicas de la Formación Ñemby. La exposición de estos sedimentos de la Formación Patiño, en la margen occidental del río Paraguay, no muestran los potentes conglomerados con estratificación gradativa presente en el área de Limpio y más al ESE en Cerro Perú. La constitución granulométrica de las areniscas, no obstante, es la misma, con una matriz más fina y granos bien gruesos dispersos en esta matriz.

La disposición tridimensional de los cuerpos conglomeráticos, es una indicación de que se tratan de conglomerados que rellenaron el "graben" de Asunción o depresión de Ypacaraí. El área de mayor potencia deposicional es hacia el E.

La formación contiene en su fase conglomerática, cantos de las intrusivas alcalinas del Jurásico superior. Son, por tanto, más jóvenes que el Jurásico superior. Por otro lado son cortadas por las intrusivas basálticas de la Formación Ñemby, de edad Oligocénica/Miocénica (Terciario), su límite de edad superior.

### **7.2.2 Formación Ñemby**

El Terciario, en la Cuenca del Paraná, está caracterizado por fuertes movimientos verticales cerca de sus bordes y compartimentación en su interior. En el borde E, estos movimientos están asociados a la evolución de las cuencas costeras del tipo Atlántico, pero en el Paraguay Oriental, estos movimientos verticales están también asociados a las fases tecto-orogénicas descritas en el ítem 7.1. Los movimientos verticales asociados a la fase tecto-orogénica del Oligoceno - Mioceno, con la reactivación de las antiguas líneas de fallas, en el área de Asunción, inician un verdadero proceso "rift" con la intrusión de las volcánicas de la Formación Ñemby. (Palmieri J.H. - Velázquez, J.C., 1982).

El hundimiento del Arco Asunción, en la región del Bajo San Pedro, debe estar relacionado con este proceso. La Formación Ñemby está constituida por intrusivas básicas que contienen grandes cristales de olivino. Estos leucolitos (Storner et.al., 1975) poseen edad de 46 m.a. (Oligoceno-Mioceno) y están expuestos bajo la forma de diques "stocks" y cuerpos mayores (Ñemby-Lambaré y Tacumbú), en el área de Asunción, y también, en la margen occidental del río Paraguay (Villa Hayes y Benjamín Aceval) . Abarca un área de 5 km<sup>2</sup>, en afloramientos.

Una manifestación volcánica de esta importancia, con material ligado al producto proveniente del manto, sugiere una anomalía crustal de gran magnitud para el área de Asunción. Se trata, en realidad, de un "rift" incipiente asociado al abatimiento de una megaestructura (Arco de Asunción).

### **7.2.3 Formación Chaco**

Esta formación aflora en el norte del Paraguay Occidental, abarcando un área de 35.800 km<sup>2</sup>. La denominación "Sedimentos del Chaco" aparece con Eckel (1959), que atribuyó a esta unidad una edad Terciaria/Cuaternaria.

Los únicos accidentes geográficos que emergen de la gran planicie chaqueña son Cerro León, Serranía de San Alfredo y Cerro Cabrera, en el norte, y contados afloramientos junto al río Paraguay. El relieve, salvo suaves ondulaciones, está tipificado por la nivelación general (planicie), con pendiente regional muy suave hacia

el E. Fuera de los accidentes topográficos mencionados anteriormente, se resalta la región de médanos al Oeste con relieve suave ondulado. (Lemos, 1983).

Gómez Duarte (1986) menciona que los sedimentos depositados en la Cuenca del Chaco en esta época, deben ser considerados teniendo en cuenta un ambiente confinado dando depósitos lacustres, deltaicos y palustres y que el mar o la expansión norte del mar entrerriano (Mioceno superior), habría sido de poca profundidad de las aguas. El ambiente restringido y la evaporación atribuyeron, en gran manera, a la ocurrencia de evaporitas.

Según el mismo autor, en la parte basal de esta unidad, se presentan arcillas y limos grises con concreciones y lentes de yeso. Arenas finas, limos y arcillas pardo rojizas suprayacen a la anterior en forma concordante y constituyen lo que podría considerarse como Chaco inferior. Una secuencia más arcillosa que la anterior, se desarrolla cubriéndola y, al parecer es el techo de las unidades del Terciario.

La observación del espesor de la unidad considerada como la edad Terciaria, en la cuenca del Chaco, muestra un significativo aumento en dirección sur. En los pozos de Toro 1, Mendoza y Madrejón, el Terciario está descrito con un espesor de 105, 386 y 137 metros, respectivamente. En la parte central del área, las perforaciones Santa Rosa, La Paz y López, acusan 906, 610 y 1.512 metros para los sedimentos del Terciario. Más al sur, los pozos Pirizal y Berta describen 2.869 y 3.249 metros para esta unidad.

En la actualidad, la sedimentación y erosión de ambientes fluviales y eólicos, representan la tranquilidad de la Cuenca (Gómez Duarte, 1986). Según Lemos (1983) los dos aspectos geomorfológicos importantes del área son:

- a) la presencia simultánea de cauces estrechos y profundos (antiguos) que concentran agua en unos pocos meses del año;
- b) valles incipientes (modernos) que conservan algo de humedad superficial hacia el período seco.

En la región de médanos y mantos hay una predominancia de suelos de granulometría arenosa. Los procesos eólicos han predominado en la formación de la topografía local, que es suavemente ondulada a ondulada en el sector medanoso. Entre las líneas de médanos se localizan mantos arenosos de relieve plano a ligeramente ondulado (Lemos, 1983).

Según el mismo autor, la fotointerpretación esquemática del área indica un pequeño sector noroccidental, en que habría materiales calcáreos aflorantes y/o a escasa profundidad, formando una cresta que termina en Cerro León. Al Nordeste, el área se caracteriza por presentar un modelado fluvial que no está orientado en sentido E-W, como ocurre en todo el Chaco, sino SW-NE. Este hecho, fue verificado en el presente trabajo como un prolongamiento de la dirección estructural del Alto de Boquerón (Figura 1). Lemos (1983) menciona aún, que otra característica importante de esta parte Noreste de la región, al Noreste de la Formación Chaco, es la presencia de médanos con algunos afloramientos de calcáreo. Existe también presencia de dunas estabilizadas.

#### **7.2.4 Unidad Terciaria/Cuaternaria Indiferenciada**

Es una de las tres unidades estratigráficas del Cenozoico del Paraguay Occidental, abarcando un área de 93.250 km<sup>2</sup>. Existe escasa información geológica sobre el área, aunque sí, algunas observaciones sobre la geomorfología y suelos de la región, en el trabajo de Lemos (1983). Superficialmente se caracteriza por una red de drenaje

actualmente iniciada y colmatadas con materiales de granulometría más gruesa (arena).

La consecuencia morfológica de la alta densidad de paleocauces colmatados, es un modelado superficial compuesto por una asociación de unidades de paisaje, entre los que predominan los interfluvios relictuales de la planicie antigua y los paleocauces.

Los suelos de los interfluvios son de textura media con horizontes sub superficiales, que poseen a veces texturas finas. Las sales están frecuentemente presentes en estos suelos que sustentan una vegetación xenofítica. En los paleocauces colmatados, la granulometría más gruesa del suelo o cubierta superficial, favorece los procesos de drenaje profundo.

En la zona central del Chaco, donde predominan paleocauces colmatados, vuelven a aparecer suelos de textura arenosa (regosoles eútricos), que debido a la alta macroporosidad y permeabilidad han facilitado la lixiviación profunda de las sales solubles, determinando la ausencia de salinidad en los perfiles, lo que hacen que los suelos sean cultivados en la región.

En la región Centro Oeste existe predominancia de suelos bien desarrollados, con un horizonte de acumulación de arcilla. Las sales solubles suelen presentar concentraciones considerables en esos suelos, sobre todo en el área que presenta diseño fluvial vinculado a crecientes del río Pilcomayo.

### **7.2.5 Formación San Antonio**

Están aquí agrupados los sedimentos acumulados, próximo al área del río Paraguay y sus afluentes, que se encuentran en una cota más baja de 70 metros, en la región Oriental del país. Cubre un área de 60.782 km<sup>2</sup>. Está constituida por una arenisca clara crema, de granulación media a gruesa con gravillas dispersas, intercaladas con lutitas. Las areniscas, en contacto con estas lutitas, presentan clastos de arcilla. Existen también capas de areniscas arcillosas hasta de 1,5 metros de espesor. El ambiente de sedimentación es fluvial.

En el arroyo Candú, en la propiedad del Señor Virgilio Larrea, se encuentran fósiles de vertebrados que fueron descritos por Presser y Crosa (1984). Estos fósiles encontrados en el lugar descrito, en la localidad de Ytororó, están contenidos en una sucesión sedimentaria descrita por los autores citados como:

- Sedimentos verde azulados, con buena selección, predominancia de arenas de granulación media, aparentemente macizos, asociados a láminas de arcilla;
- sedimentos mal seleccionados con predominancia de arena media a gruesa y subordinadamente láminas de arcilla. Presentan niveles con fósiles en el contacto con la secuencia anterior y;
- sedimentos moteados, con buena selección, con arenas de granulación media y subordinadamente arenas finas y arcilla. Aparentemente macizas.

Según los mismos autores, los fósiles encontrados son típicos de una fauna Pleistocénica y presentan tres especies de Glyptodontes, dos de Lestodontes y uno de Megatherion asociados a otros vertebrados no sistematizados claramente.

El nombre de "Formación San Antonio" es aquí propuesto formalmente, para la designación litoestratigráfica de estos sedimentos, a partir de una proposición de Palmieri y Velazquez (1982).

En los valles de la red de drenaje actual del Paraguay Oriental, desde el río Apa, al norte, hasta el río Paraná, al sur y este, y el río Paraguay, al oeste, se presenta una



amplia deposición de sedimentos de edad Holocénica.

### **7.2.6 Unidad Cuaternaria Indiferenciada**

Existe en el Paraguay Occidental, asociado a la red de drenaje de los ríos Pilcomayo y Paraguay, abarcando un área de 100.547 km<sup>2</sup>. Está constituido por las planicies de inundación de los dos ríos.

La planicie de inundación del río Paraguay constituye una faja de orientación N-S, que está sometida a inundaciones de las crecientes estacionales del río Paraguay.

Desde el punto de vista geomórfico, es una planicie de inundación de áreas planas. La formación de su paisaje es originado por cambios morfológicos locales, debido que el curso del río es meandroso y con lagunas en meandros abandonados (Lemos, 1983).

Según el mismo Autor, la planicie de inundación del río Pilcomayo presenta una variabilidad edáfica fitofisiográfica relativamente grande. Ello se debe a la multiplicidad de hechos fluviomorfológicos vinculados al área de divagación del río Pilcomayo y a las acciones geomórficas sobre áreas afectadas por las crecientes. Las aguas de las crecientes del río Pilcomayo, los escurrimientos superficiales difusos y los cauces con concentración de crecientes, se combinan en acciones sucesivas de erosión y sedimentación. El río Pilcomayo trasporta considerable volumen de sedimentos provenientes de erosiones en territorio boliviano. Estos sedimentos son gradual y selectivamente depositados durante las crecientes. En crecientes posteriores estos sedimentos son parcialmente transportados, verificándose procesos locales de resedimentación. Vinculados a áreas relictuales no afectados por las crecientes, hay suelos calcáreos entre otros tipos. Con excepción de los regosoles, los suelos tienden a ser salinos.

## **8. Geología Estructural**

El Paraguay está dividido estructuralmente en áreas de comportamiento tectónico con características propias. Las principales direcciones estructurales del Paraguay N-S, NW-SE, NW-SW y NW-SE/WNW-ESE (Figura 1). Teniendo en cuenta que el actual cuadro estructural del Paraguay es de edad Cretácico/Terciario, y que hubo variadas épocas de reactivación tectónica, cada una de esas direcciones estructurales poseen una determinada génesis y su conocimiento es imprescindible para la interpretación de la evolución estructural.

Las direcciones N-S se produjeron durante la evolución y consolidación de las fajas plegadas de edad Brasiliana (700 a 450 m.a.), sobre el basamento más antiguo representado por los complejos basales de edad Transamazónica, (2.000 ± 200 m.a.). Al norte, en el Alto del Apa, estas rocas están representadas por el Grupo San Luís y al sur, por el Alto de Caapucú y por el Grupo Paso Pindó. Se correlacionan con la faja plegada Paraguay-Araguaia, en la extremidad sur del Cratón Amazónico (Alto del Apa), según Almeida (1976).

Las intrusivas y efusivas graníticas/riolíticas del Grupo San Ramón, en el Alto del Apa, de edad Cámbrica (450 m.a.; Wiens, 1986), son controladas por estas direcciones estructurales. En el Alto de Caapucú, al sur, existen datos para

determinar su acción sobre las intrusivas y efusivas del Grupo Caapucú, probablemente de la misma edad y al parecer con el mismo comportamiento estructural (Meinhold, 2000).

En la sección geológica de la Fig. 2 (modificada por Wiens, 1986), el magmatismo granítico/riolítico del Grupo San Ramón, está ubicado en la parte central del anticlinal constituido por rocas del Grupo San Luís, con dirección norte y buzamiento para el oeste y este. Actualmente, esta dirección norte-sur constituye el Arco de Asunción, el contacto de falla entre las unidades Silúricas y Carboníferas (falla de San José), Fig. 4, y controla el curso de los ríos Paraguay y Paraná; en este último, desde el Santo del Guaira hasta el paralelo 26° 30' S, al norte de Encarnación. La dirección NW-SE es de edad Ordovícica o Cámbrico Superior/Ordovícico, y se constituyó sobre el área recién cratonizada del Cámbrico, en el borde occidental de la Plataforma Sudamericana. Su origen está probablemente relacionada a la apertura de un gran "graben", de tipo aulacogénico, que empieza a romper el borde cratónico, desde la faja móvil oceánica proto-andina, del W, hacia el E. Esta dirección controla toda la sedimentación de edad Ordovícica/Silúrica en el Paraguay, representada por la Formación Cerro León, al norte del Chaco, y los grupos Caacupé e Itacurubí, al este del río Paraguay, en la región oriental.

Esta dirección estructural, como la anterior (norte-sur) fue reactivada en variados intervalos del tiempo geológico, constituyendo actualmente el Alto del Chaco Central (Fig. 1), cuyo punto de afloramiento más expresivo es el de Cerro León, al norte del Chaco. Putzer (1962) describe esta zona como producto de un "horst", en cuya margen occidental se produjo un desplazamiento tectónico de cerca de 1.100 m., probablemente de fallas escalonadas. En la región oriental esto constituye el Alto de Asunción (Fig. 3 y 4), que corresponde el denominado "graben" de Ypacaraí.

La depresión o "graben", de Ypacaraí, se menciona en todos los trabajos anteriores como la estructura geológica más importante del Paraguay, considerada entonces, como generalmente simple (Harrington, 1950 y 1956; Eckel, 1959; y Putzer, 1962). Este valle con gran expresión en el relieve, generalmente llano del país, resultante del relleno sedimentario Terciario/Cuaternario, se extiende aproximadamente en dirección N 30°W, abarcando 70 km. desde Paraguarí, al S, hasta Villa Hayes, en el N, y variando su ancho entre 6 y 10 km.

Harrington (1950 y 1956), cree que este valle fue causado por movimientos verticales originando un gran "graben", en el que el borde occidental de la depresión se hundió varios centenares de metros con respecto al borde oriental. Según el mismo autor, en el lado oriental de la depresión existe también evidencias claras de fuertes fracturamientos, que se observan en el flanco occidental del Cerro Jhú, a unos 2 km, de Paraguarí. Sin embargo, las brechas de fallas, descritas por él, pertenecen en varios lugares a afloramientos de conglomerados de la Formación Patiño o aún a depósitos de "taluds", en su alrededor, redondeados, con cerros aislados en el interior de la depresión, tal como el Cerro Perú, de Paraguarí. Putzer (1962), también describe la depresión del Lago de Ypacaraí como la zona fracturada más importante del Paraguay Oriental. Al contrario que Harrington, lo considera como una zona desmembrada por fallas escalonadas, siendo la falla mayor de una longitud aproximada a los 100 km, con un rechazo total, en dirección W, de cerca de 600 metros. Rocas ígneas del Jurásico (essexita, shonkinita y pórfidos) se han introducido a lo largo de las fallas (Soto-Ruguá, Cerro Vera, Cerro Jhú, etc.).

Degraff et. al. (1981), llevó a cabo un estudio geofísico consistente en gravimetría y

magnetometría, a lo largo de una línea por la Ruta 2, que atraviesa el Valle de Ypacaraí, desde San Lorenzo hasta Eusebio Ayala. Concluyen que la existencia de fallas normales de dirección N-S, en la zona ubicada al W del valle, cuyos lados occidentales habrán descendido 925 y 1.125 metros como máximo, con respecto a sus lados orientales, además del análisis de los datos geofísicos obtenidos, que el borde oriental del valle no está asociado genéticamente con una falla de rechazo vertical y de dirección noroeste. El valle de Ypacaraí habría evolucionado por erosión selectiva, a lo largo de una falla de cizallamiento de sentido dextrógiro, que correría actualmente a lo largo del valle.

Los mismos autores critican la idea de Harrington (1950 y 1956) y Putzer (1962), que creen que las lutitas de la Formación Vargas Peña, aflorantes al oeste del Valle de Ypacaraí se han hundido con respecto a su continuación al este del valle y calculan en unos 600 m el desplazamiento vertical, a través de dicho valle. Los dos autores basan sus conclusiones en el hecho de que, tanto la litología, como la sucesión estratigráfica, además del contenido fosilífero de estas unidades en ambos bordes del valle son los mismos, lo que se considera estratigráficamente factible.

Se debe considerar también que los métodos geofísicos utilizados por Degraff et.al. (1981), traducen mejor el comportamiento tectónico de las rocas del basamento cristalino, de edad Precámbrico/Eopaleozoico, éste, con un modelo estructural de fallas cizallantes o de rumbo. Estos autores olvidaron los períodos de reactivación tectónica, de las mismas direcciones estructurales, a través del Fanerozoico según un modelo de movimentación vertical.

En el Paraguay, tanto en la Región Occidental y áreas adyacentes (Salfity, 1982), como en la Región Oriental (Fig. 4 y 5), no existen evidencias de acción de un modelo estructural compresivo en el Paleozoico después del Cámbrico. La gran movimentación vertical con reactivación de las antiguas direcciones estructurales, con rechazo de más de 1.000 m a través del Fanerozoico, ha producido componentes de fuerzas secundarias compresivas traducidos en el cuadro tectónico por pequeñas fallas inversas.

Este modelo estructural de "horsts" y "grabens" con diferentes inclinaciones de los bloques y como consecuencia de varios buzamientos diferenciados en las unidades estratigráficas, ha confundido a Harrington (1950 y 1956), que cree en la existencia de pliegues abiertos en el área de afloramiento de las rocas Silúricas y Permo-Carboníferas. Al igual, Putzer (1962), basado en buzamientos diferenciados entre el Permo-Carbonífero de la Formación Coronel Oviedo (Serie Tubarão), y el Pérmico de la "Serie Independencia" (Grupo Independencia), describe una discordancia entre estas dos unidades estratigráficas que, en realidad, tienen un contacto gradado. La dirección estructural NE-SW es la orientación de las grandes unidades tectónicas, en esta parte del Cratón Sudamericano, representado por los Altos de Boquerón y de Hayes (Fig. 1), en la Región Occidental, y por la falla de Jejuí/Aguaray Guazú (Fig. 10), en el norte de la Región Oriental. El Alto de Boquerón es una divisoria tectónica entre las cuencas de Carandayty y Pirity (Fig. 1). Su continuación al SW, está constituida por el Arco de Michicola, en Argentina, que controló el flanco septentrional de la subcuenca de Lomas de Olmedo, a través del lineamiento de Tomasito. Según Salfity (1982), este arco es un conspicuo elemento estructural con actividad comprobada desde fines del Devónico.

El Alto de Hayes (Gómez Duarte, 1986), considera que la divisoria entre las Cuencas de Pilar y Pirity es la continuación norte del Arco de Quirquincho, borde

septentrional del Arco Pampeano en Argentina, uno de los principales elementos geotectónicos con dirección NE-SW de esta parte de América del Sur.

Esta dirección estructural fue intensamente reactivada después de la sedimentación de edad Devónica, porque se la considera de edad Carbonífera inferior, según el principio considerado en este trabajo, de atribuir a la edad de los sistemas de fallas o fracturas a la época de su primera gran manifestación tectónica. En el Carbonífero inferior existe un levantamiento generalizado en el área comprendida entre la falla de Jejuí/Aguaray Guazú y el Alto de Boquerón (Fig. 1).

En la Región Occidental la sedimentación de edad Devónica fue preservada en las Cuencas de Curupayty y Carandayty. En la región oriental existe un levantamiento del Alto del Apa, al norte de la falla Jejuí/Aguaray Guazú, con erosión de las unidades sedimentarias de edad Silúrica y Devónica (Fig. 1). Constituye el límite norte del denominado Bajo de San Pedro (Fig. 4), una gran depresión en el centro del Paraguay Oriental, donde está ubicado el mayor espesor de la columna sedimentaria volcánica de la Cuenca del Paraná en este país. Actualmente esta dirección estructural controla casi todos los cursos y afluentes de la margen derecha del río Paraguay, en la parte norte del río Jejuí.

La dirección estructural NW-SE/WNW-ESE está determinada como de edad Jurásico-Cretácico, debido a su máximo período de acción en este intervalo. Constituye la estructuración tectónica más joven, pero no menos importante del Paraguay. Se caracteriza por el prolongamiento de zonas de fracturas continentales identificadas desde el borde del Atlántico, en América del Sur, FULFARO et al. (1982), hasta la región de la precordillera, hacia el oeste. Con este carácter tectónico de mega-fracturas, asociadas a la intensa movimentación vertical del tipo "rift", seguido por intrusiones de complejos alcalinos a lo largo de sus fracturas, desde el Jurásico hasta el Cretácico, se correlaciona la génesis de esta manifestación estructural, a la ruptura continental de Pangea que comienza en el Triásico/Jurásico.

En esta discusión debe ser aclarada que los sucesivos períodos de reactivación tectónica, generando las variadas direcciones estructurales descritas, reactivan también las zonas de fracturas más antiguas.

En este sentido, la reactivación del Mesozoico empieza en el Triásico, con el alzamiento del Alto del Apa y remoción, por erosión, de toda la sedimentación de edad Pérmica (Grupo Independencia), al norte de la Falla Jejuí/Aguaray Guazú.

En el norte, un gran alineamiento con esta orientación, próximo al contacto de las lavas de la Formación Alto Paraná, parece controlar el área de intrusiones de los complejos alcalinos de Cerro Corá, Cerro Sarambí y Cerro Guazú. En la Región Occidental este mismo alineamiento marca la intrusión alcalina de Fuerte Olimpo, en un cruce con una dirección estructural más antigua de dirección N-S. Este alineamiento sigue aún, hacia el norte, por el Alto de Lagerenza (Fig. 1), separando estructuralmente las cuencas de Curupayty y Carandayty. Este alineamiento es un trecho del alineamiento del río Piquerí descrito por Fúlfaro et al. (1982), en la Cuenca del Paraná, en Brasil.

En la parte central del Paraguay Oriental, otro alineamiento con la misma dirección constituye el Alto de Asunción (Fig. 1), un alto estructural de las rocas sedimentarias de edad Silúrica, que es el borde septentrional del Alto de Caapucú, área de afloramiento de las rocas cristalinas de edad Precámbrico/Eopaleozoico. También en el sur, como en el Alto del Apa, al norte, el cruce de esta dirección con las líneas de las orientaciones estructurales más antiguas, determinan la ubicación del

intenso volcanismo de los complejos alcalinos de la Formación Sapucaí (Acahay, Sapucaí, Ybytyruzú, Arrua-í, Agua Pety Portón y Mbocayaty), Palmieri y Velázquez (1982). Esta dirección fracturada y fallada que sigue al occidente por el curso actual del río Pilcomayo, es la continuación del alineamiento del río Yguazú (Fúlfaro et. al., 1982).

Comparando la ubicación de los complejos alcalinos en el Paraguay Oriental, en sus áreas norte y sur, se puede decir que las manifestaciones ígneas representadas por los complejos alcalinos del Jurásico-Cretácico se presentaron en este período, a lo largo de grandes cruces de direcciones estructurales divergentes, en áreas de gran movimentación estructural caracterizadas por levantamientos y hundimientos de bloques ("horst y graben"). Estas áreas son actualmente representadas por los bordes de los Altos cristalinos del Apa y Caapucú (Fig. 1), donde con el surgimiento de la dirección estructural NW-SE/WNW-ESE fueron reactivadas las zonas estructurales más antiguas (N-S/NW-SE y NE/SW).

En el extremo sur del Paraguay Oriental, las direcciones NW-SE/WNW-ESE controlan zonas bastantes fracturadas y falladas que se manifiestan por "ventanas" estructurales, donde aflora, areniscas de la Formación Misiones, en el interior del área del afloramiento de los basaltos de la Formación Alto Paraná (K inf.), al norte de Encarnación, y por las complejas relaciones estructurales de contactos entre unidades estratigráficas presentes en el curso medio del río Tebicuary. En esta área, la dirección NW-SE/WNW-ESE constituye la prolongación del alineamiento Torres-Posadas, definido por Leinz (Fúlfaro et. al., 1982), también una mega-fractura cuya mayor expresión, actualmente, en la fisiografía, es la brusca curva que hace el río Paraná hacia el oeste, a partir de Encarnación, en un verdadero proceso de captura de este cauce por el río Paraguay, controlado por otra dirección estructural (N-S).

Estas diferentes direcciones estructurales reactivadas varias veces a través del tiempo geológico, que han producido un mosaico de orientaciones estructurales (Fig. 2), que dividen el Paraguay en distintas provincias tectónicas, que controlan no sólo las áreas de afloramiento de las unidades estratigráficas sino también caracterizan la evolución de sus diferentes cuencas sedimentarias en el Fanerozoico. Como resultado de este hecho, el Mapa Geológico del Paraguay se presenta como un Mapa geológico-estructural, de esta manera se expresa mejor la realidad de su geología.

## **9. Historia Geológica**

Las áreas con rocas de edad Precámbrica en el Paraguay se sitúan en la Región Oriental y pertenecen geotectónicamente al Cratón del Guaporé o Cratón Amazónico según Almeida (1974 y 1976) en el norte, localmente denominado Alto del Apa. Al sur se localizan en el Alto de Caapucú o Cratón del Paraguay Oriental, según Almeida (1976) . Jones (1985) en su trabajo sobre la evolución geológica del Escudo del Guaporé, no hace distinción entre las dos áreas, lo que fácilmente se comprende cuando se las estudia detalladamente. Este autor cree que es preferible la denominación de Escudo en vez de Cratón, basado en la afirmación de Annreusser et.al. (1959), de que la existencia de un cratón implica su estabilidad desde el Arqueano, lo que no se consigue probar para esta área.

El alineamiento Transbrasiliano (Schobbermaus et. al. 1975), (Fig. 6), que se cree

como de origen profundo, fué propuesto por Jones (1982) como el límite original entre los Escudos de San Francisco y del Guaporé durante el Proterozoico inferior o lo mismo desde el Arqueano. Está constituido por una serie de alineamientos que atraviezan gran parte del Brasil y siguen hasta la Argentina cruzando el Paraguay.

La división del Precámbrico paraguayo en dos áreas separadas por el Bajo de San Pedro (Fig. 1), puede ser explicado por la presencia de mega-alineamientos NW-SE que atraviezan América del Sur como menciona Kutina et al. (1978). Entre ellos la Línea de Chiquitos (Fig. 6) descrito por Bloomfield y Litherland (1979), como una zona de inestabilidad de la corteza desde el Proterozoico hasta el presente, en la zona fracturada en el Paraguay representada por el Bajo de San Pedro. Esta dirección estructural es también coincidente con el alineamiento del río Yguazú de FULFARO et.al., (1982). Este cuadro estructural controla la evolución de los ciclos geológicos presentes en el Precámbrico del Paraguay.

En el norte del país, en discordancia con el Complejo Basal del Río Apa (ciclo tectónico Transamazónico - más antiguo que - 2.000 y 1.800 m.a), se instaló la faja móvil geosinclinal que produjo los metasedimentos y cuarcitas del Grupo San Luís, asociadas a las riolitas de la fase volcánica intermedia y granitos intrusivos, en el ciclo Brasiliano, con más de 500 m. a. (Este trabajo, 2005). En la misma área, sobre la secuencia de edad Uruacuana, tiene inicios en el Proterozoico superior (Vendiano), la entrada del mar Itapucumí con la deposición de conglomerados basales y arcosas seguida por calcáreos.

En la misma época, en el Alto de Caapucú, al sur, se desarrollaron los metasedimentos del Grupo Paso Pindó y la Suite Magmática Caapucú efusivas e intrusivas (Meinhold, 2000)

La disposición geográfica de estos sedimentos (Fig. 7), supone una sedimentación marina proveniente del W y correlaciones con Argentina y Bolivia. Baldis y Bordonaro, 1982) proponen que esta área, en el Cámbrico, se ubicaría en el Paleoecuador. Según mapa paleogeográfico presentado en este trabajo, todo el Cámbrico de América del Sur está distribuido al oeste del continente. El área correspondiente al Precámbrico del Sur, no fué invadido por el mar Itapucumí. En esta época hubo intenso volcanismo en la región, con las intrusivas y efusivas del Grupo Caapucú. La paleogeografía del Paraguay, en ese tiempo (Fig. 7), estaría representada por un borde oceánico con intenso volcanismo al sur y distribución del área marina al oeste y al norte.

En el intervalo de tiempo entre eventos representados por los Grupos San Luís/Paso Pindó/Villa Florida, el Aruacuano y los Grupos Itapucumí /Caapucú del Brasiliano, las áreas Precámbricas del Paraguay se constituyeron en regiones positivas estables en proceso de erosión. Más al norte, en Brasil y Bolivia, se depositó el Grupo Cuiabá. Jobs (1985) propone que en esta época, dos cuencas marginales al Escudo de Guaporé se unieron en el área de Corumbá con el Alto del Apa, representado como un elemento positivo.

La regresión del mar Itapucumí es seguida por un proceso de levantamiento, fallamiento y erosión de la región. Probablemente en el Ordovícico, un gran área de dirección NW-SE, la misma orientación de la Línea de Chiquitos (Fig. 6), ya descrito como una zona inestable rompe y corta el Paraguay en un gran "graben" con características autorogénicas. En esta área se inicia en el Ordovícico superior de sedimentación continental del Grupo Caacupé, con los conglomerados fluviales de la Formación Paraguari. El mar, en esta época, se encontraba hacia el NW y el flujo de

detritos terrígenos era proveniente del E.

La secuencia deposicional, que comienza en el Ordovícico superior con el Grupo Caacupé, sigue hasta el Silúrico inferior (Llandoveryano) con el Grupo Itacurubí, caracterizando una ingresión marina que rellena la cuenca. La dirección de la cuenca Silúrica lo caracteriza como una unidad estructural autónoma (Fig. 8). La faja de afloramientos de las rocas Silúricas en el Paraguay, en ángulo bien marcado con la faja de sedimentos más jóvenes del Gondwana, de la Cuenca del Paraná, indica muy claramente la orientación de la antigua cuenca.

El espesor preservado de la secuencia Silúrica, con poco menos de 1.000 m y el pequeño espesor del conglomerado basal de origen fluvial (10 m), luego seguido por areniscas con características cada vez más marinas hasta su recubrimiento por los sedimentos más pelíticos con fósiles marinos del Llandoveryano, además del perfecto interdigitamiento entre las facies presentes, indican una ingresión marina relativamente rápida. La paleogeografía de América del Sur, en el Silúrico inferior, se indica en la Fig. 9 de Petri y Fúlfaro (1983).

Los límites de las antiguas cuencas Silúricas en el Paraguay pueden ser trazados a partir de la distribución de sus facies sedimentarias y por el cuadro tectónico del país. Al norte, en la región del Río Apa, la sedimentación de esta edad se encuentra preservada en su superficie, al sur de la falla Jejuí/Aguaray Guazú (Fig. 10). Tal como fue observado en las perforaciones Asunción No 1 y No 2. Sin embargo, el borde norte de la cuenca Silúrica, a pesar de encontrarse actualmente fallado, no debió alargarse mucho sobre el Alto del Apa. En el Estado de Matto Grosso do Sul, Brasil, sedimentos de edad Devónica están directamente sobre el Basamento Cristalino sin la presencia de sedimentación Silúrica.

En el Centro Sur, en la faja de afloramiento del Silúrico del Alto de Asunción, una extensa área del conglomerado basal de la Fm. Paraguari sobre el Basamento Cristalino del Alto de Caapucú, parece indicar un antiguo borde deposicional. Al este, perforaciones profundas en la Cuenca del Paraná, en Brasil, nunca se constató la presencia de sedimentación de Edad Silúrica. Por tanto, se cree que la antigua Cuenca Silúrica en el Paraguay estuvo limitada por estos elementos estructurales, sin prolongarse mucho hacia el este (Fig. 4 y 10). Al W y NW el prolongamiento de la cuenca está bien marcado por el afloramiento de Cerro León (Chaco), y perforaciones profundas en el Paraguay Occidental.

Sedimentos de edad Devónica en el Paraguay Oriental, fueron descritos por Harrington (1950 y 1956) y, posteriormente, redefinidos por Wolfar (1961) y Putzer (1962), como pertenecientes al Silúrico inferior (Llandoveryano). Hasta hace poco tiempo se creyó que la sedimentación de edad Devónica en el Paraguay estaba restringida al Paraguay Occidental, donde aflora, al norte, una unidad con esta edad. Formación San Alfredo (Gómez Duarte, 1986), y es también constatado en subsuperficie, en las cuencas de Curupayty y Carandayty. Las perforaciones de los pozos Asunción No 1 y No 2 (PECTEN, Occidental-Trend), en el Centro-Norte del Paraguay Oriental, acusaron respectivamente 370 y 265 m. de espesor para los sedimentos de edad Devónica. Las columnas de sedimentos de edad Devónica observadas en estos dos pozos, están en contacto con sedimentos atribuidos al Silúrico. La presencia de sedimentos de esta edad, en parte del Paraguay Oriental, es previsible, como se indica en el mapa isopáquico de la unidad Devónica en la cuenca del Paraná, y también por la proyección que se pueda hacer en el mapa estructural del Basamento Pre-Devónico de la misma cuenca.

La descripción de los estratos del Devónico, realizado por PECTEN, las correlaciona con las Formaciones Furnas y Ponta Grossa (Grupo Paraná), de la misma edad de la Cuenca del Paraná. Así, el borde de la antigua Cuenca Devónica en el Paraguay Oriental, estaba en el área donde actualmente está preservada su columna sedimentaria, en el Bajo de San Pedro. La Formación Furnas está constituida por areniscas, areniscas conglomeráticas y siltitas, depositadas en ambiente fluvial y marino somero. La Formación Ponta Grossa está constituida por areniscas y pizarras micáceas, con fósiles marinos del Devónico. El Grupo es bien conocido en la Cuenca del Paraná y su continuidad en su subsuperficie se comprueba por medio de perforaciones.

Los límites de la antigua Cuenca Devónica en el Paraguay Oriental, están constituidas por grandes fallas. Al norte, en el Alto del Apa, el límite es la Falla de Jejuí/Aguaray Guazú. En esta región, la sedimentación de esta edad fue totalmente erosionada antes de la deposición de la unidad de edad Permo-Carbonífera (Formación Aquidabán), que se encuentra en discordancia sobre el basamento del Proterozoico (Fig. 11).

La faja de erosión sigue al norte, en Estado de Matto Grosso do Sul, en Brasil, hasta el río Aquidauana, donde vuelven a aflorar las capas del Devónico. Al sur, el límite probable se encuentra en la Falla de San José (Fig. 4), donde es posible que las capas Devónicas estén bajo los sedimentos de Formación Cnel. Oviedo (P-C). En el área de afloramiento de las rocas Silúricas en el Alto de Asunción y más al sur, en el Alto de Caapucú, las capas del Devónico fueron igualmente erosionadas.

La situación de las cuencas de Curupayty y Carandayty en el Devónico, con centros deposicionales al norte y oeste, las caracterizan como cuencas pericratónicas marginales. En las cuencas meridionales de Purity y Pilar no se conocen estratos sedimentarios de esta edad hasta la fecha, existiendo sedimentación Devónica más al sur, en la cuenca de Lomas de Olmedo, en Argentina. Como el Devónico del Paraguay Oriental parece tener una clara asociación con Cuenca del Paraná, se cree que la paleogeografía del Devónico en el Paraguay estaba como se muestra en la Fig. 7.

Después de la sedimentación Devónica se presentó un levantamiento generalizado en todo el Paraguay y áreas vecinas, con la reactivación de las antiguas líneas de fallas, seguidas por erosión, en los bloques levantados. Las áreas más reactivadas en el Paraguay, en este período, están representadas por los Altos del Apa y Caapucú, y la región Centro-Sur del Paraguay Occidental (Fig. 7). Como el episodio sedimentario que se sigue a este evento es de edad del Carbonífero superior (Stephaniano), se atribuye una edad del Carbonífero inferior para este período de reactivación tectónica.

En el Carbonífero superior, la unión de las placas continentales en el super-continente de Pangea, favorece las movimentaciones verticales en el interior de las placas y el desarrollo de cuencas intracratónica. En América del Sur, la cuenca del Paraná empieza su sedimentación con características sedimentarias semejantes a otras cuencas del antiguo Continente de Gondwana, entonces representado por las placas ubicadas en el hemisferio sur de Pangea.

En esta época la posición del Polo Sur, cerca del borde sur del Continente de Gondwana, en África, y su proximidad con la Cuenca del Paraná, hace que la sedimentación en esta Cuenca sufra una fuerte influencia glacial. Los sedimentos con connotaciones glaciales están representados por la Fm. Cnel. Oviedo, que tiene gran parte de su columna sedimentaria en su superficie, con afloramiento solamente



de su techo. De esta manera no es posible examinar depósitos sedimentarios con claras manifestaciones glaciales en el Paraguay, pero por correlación con unidades del mismo nivel estratigráfico, en otras partes de la cuenca, es posible que se considere una influencia glacial, al menos en su base.

Al norte de la falla del Jejuí/Aguaray Guazú, la Formación Aquidaban muestra su origen a partir de un ambiente depositacional fluvial, semejante a la unidad que su continuación norte, en el Brasil, la Formación Aquidauana. Petri y Fúlfaro (1976 y 1983), atribuyen la deposición de la Formación Aquidauana a un gran delta, con las cabeceras de su drenaje en el antiguo trópico, lo que explica sus sedimentos rojos que es un color primario. Su contacto con la Formación Cnel. Oviedo está actualmente fallado, pero en forma similar a otras partes de la Cuenca del Paraná, las dos formaciones deberían tener un contacto interdigitado.

El cuadro paleogeográfico de la Cuenca del Paraná, en esta época, tendría que haber sido la de un ambiente glacio-continental a glacio-marino en el centro y sur del Paraguay (Formación Cnel. Oviedo), interdigitado con un complejo deltaico que ocupaba la parte norte de la cuenca y hoy está representado por los sedimentos de la Formación Aquidabán en el norte. La sedimentación de estas unidades sigue en el Pérmico y las características glaciales van disminuyendo por el desplazamiento gradual del Polo Sur, hacia el este. Gran parte de la columna sedimentaria de estas dos formaciones está constituida por sucesivos retrabajamientos de sus propios sedimentos, lo que explica la gran cantidad de cantos, algunos estriados, en la columna sedimentaria.

En el margen pericratónico hay un alargamiento de las cuencas de Carandyty y Curupayty, con la deposición de las Formaciones San José y Cabrera (Grupo Palmar de las Islas), de Gómez Duarte, 1986. La sedimentación carbonífera llega en el Paraguay Occidental hasta el pozo de Orihuela, al sureste de esta región.

No existen evidencias sedimentarias o estructurales, para admitir una unión de las Cuencas Carboníferas del Paraguay Occidental con la Cuenca del Paraná. Esta última, muestra un borde bien definido en el área actualmente ocupada por el Arco de Asunción, que estaba entonces representado por un área levantada, en el centro del Paraguay (Fig. 7). La teoría de Gómez Duarte (1986), de una conexión entre la Cuenca del Paraná con la Cuenca de Pilar, a través del Bajo de San Pedro, quedaría sin efecto por el hecho de que este elemento tectónico es de edad Cretácica.

La regresión de la influencia glacial en el Pérmico permite una rápida ingresión marina que ocupa las áreas más bajas de la Cuenca del Paraná, la cual empieza con una movimentación vertical positiva en su sustrato, como respuesta isostática al alivio de la presión provocada por la retirada de la carga glacial. Con esta movimentación se inicia, en toda la cuenca, especialmente en sus bordes, una sedimentación fluvial con un gran número de complejos deltaicos direccionales, hacia el centro de la cuenca, entonces ocupada por un mar somero con conexión marina al SSW (Pasaje Marino de Misiones), con la franja oceánica proto-andina. La sedimentación fluvio-deltaica de este evento está representada por las areniscas de la Formación San Miguel (Grupo Independencia).

En el Pérmico Superior se presenta una nueva movimentación vertical en toda la América del Sur, en consonancia a los primeros movimientos de fragmentación de Pangea, y que tiene como efecto el levantamiento de los bordes de las cuencas intracratónicas y levantamiento de parte de los Andes Meridionales (Andes Paleozoicos). Paralelamente a dicho proceso existe una ingresión marina en la

Cuenca del Paraná (Formación Palermo en Brasil), que no está presente en el Paraguay. En su lugar, en el mismo nivel estratigráfico, se encuentra una sedimentación de origen litoral de playas, bancos arenosos, lagunas y planicies de mar. Capas carbonáticas margosas a eolíticas están también depositadas en el mismo ambiente. Este ciclo sedimentario está representado por la Formación Tacuary (Grupo Independencia).

La Cuenca del Paraná se empieza a cerrar con el levantamiento de sus bordes y el corte de la conexión marina que tenía al sur. Todo el área del Paraguay Occidental se encontraba levantada con la retirada de las cuencas pericratónicas de su territorio. En el inicio del Triásico, una fuerte reactivación levanta el área del Alto del Apa, al norte de la falla del Jejuí/Aguaray Guazú, erosionando toda la sedimentación del Grupo Independencia de esta región (Fig. 7). En el Triásico Medio a Superior el clausuramiento de la Cuenca del Paraná provoca una situación de características propias, con el inicio de una deposición sedimentaria arenosa en clima semi-árido que pasa progresivamente a desértico. Estas areniscas de la Formación Misiones (K-J) están depositadas en transgresión estratigráfica por todo el Paraguay Oriental, reposando sobre rocas del Basamento Cristalino del Proterozoico hasta el Pérmico. La edad de estas areniscas está marcada por intrusiones alcalinas del Jurásico superior.

El Jurásico superior representa una época de intenso volcanismo con intrusiones alcalinas provocadas por la formación de un domo térmico, asociado al proceso de ruptura del Continente de Gondwana. Las zonas preferenciales de estas intrusiones alcalinas están constituidas por las áreas fracturadas de los Altos de Asunción y del Apa, límites del gran bajo central, denominado Bajo de San Pedro. El proceso sigue en el Cretácico inferior con la efusión de las lavas de la Formación Alto Paraná.

En el Cretácico existió, en el área de Asunción, una gran movimentación vertical con levantamiento de las rocas del Silúrico y formación del Valle/Graben de Ypacaraí. Este proceso de movimentación vertical, un verdadero proceso "rift", provoca el Cretácico superior un nuevo ciclo de sedimentación en esta área representada por los conglomerados, fanglomerados del Grupo Patiño, producto sedimentario derivado de la erosión de los sedimentos del Silúrico y de las areniscas de la Formación Misiones (K-J), que quedó en esta área, en algunos cerros aislados (Areguá y Cerro Yaguarón), como relictos cortados por intrusiones.

En este período se reinicia la sedimentación en las Cuencas del Paraguay Occidental (Fig. 7), con la deposición de la Formación Adrián Jara, en las cuencas de Carandayty y Curupayty, y tiene inicio la gran sedimentación en las cuencas de Pirity y Pilar, con más de 3.000 m. de sedimentos del Cretácico (Formación Berta). Los materiales provenientes del levantamiento de la cadena Andina permiten el relleno sedimentario del Chaco, desarrollando la gran Cuenca del Chaco, como una nueva unidad geotectónica.

En el área de Asunción, la gran movimentación vertical del Terciario provoca otro evento volcánico con la intrusión de basanitas olivínicas de la Formación Ñemby, con edad de 45 m.a., Oligoceno (Stormer et.al., 1975; Palmieri y Velázquez, 1983). Los grandes nódulos de olivino en estas rocas indican que este material se deriva del manto, lo que confiere a esta movimentación tectónica un carácter "rift" bien marcado. Estas basanitas (lherzolites), están intruidas en los fanglomerados de la Formación Ñemby.

El cuadro tectónico del Paraguay (ver Capítulo 2) es de edad Cretácico-Terciaria, época en que fueron definidos los principales elementos tectónicos actuales del país.

Los pasos evolutivos de la geología en el Paraguay, están resumidos en la Fig. 7.

(insert Figure 6)

Alineamientos en la América del Sur y sus relaciones con el Escudo del Guaporé. (I) Cobertura Fanerozoica; (II) Fajas plegadas del Brasiliano (2.000 m.a.) ; (III) Área con la presencia de rocas granulíticas; (IV) Regiones de Escudos con focos del Arqueano, Proterozoico inferior y medio (Fajas Móviles) y coberturas asociadas; (V) Área en discusión; (VI) Direcciones preferenciales de los principales fallamientos en el Escudo de Guaporé; (VII) Parte del Escudo del Guaporé, inestable a partir del Proterozoico medio; (VIII) Posible borde del Escudo del Río de La Plata; (IX) Alineamientos principales; (X) Alineamientos secundarios: 1 - Alineamiento Transbrasiliano y su posible prolongación sur; 2 - Arco del Alto Paranaíba; 3 - Alineamientos SE-NW; 4 - Zona del lado del África; 5 - Línea de Chiquitos; 6 - Área de Ponta Grossa y fallas asociadas; 7 - Línea del río Mercedes.

Figura 6

## 10. Bibliografía

- Almeida, F.F.M. de Hasui & Brito Neves, B.B. 1976. The Upper Precambrian of South América; Bol. Inst. Geoc. de USP, v.7 P. 45-80.
- Andrade, S.M. de & Camargo, P.E.M. 1980. Estratigrafía dos sedimentos devonianos no flanco nordeste da Bacia do Paraná; XXXI Cong. Bras. Geol. v.5, p. 2828-2836.
- Anschutz Co. (Anónimo) 1981. Annual of Exploration: November 1981. Archivo de la DRM/MOPC. Asunción, Paraguay.
- Bitschene, P.R. y Lippolt, H.J. 1985. Geología de la Cordillera de Ybyturuzú: Resumen traducido por Tyberghein y Yegros, M. PNUD/DTCD Proyecto PAR 83/005.
- Bitschene, P.R. y Lippolt, H.J.(1986) - Acid Magmatites of the Brasiliano Cycle in East Paraguay. Sol. Geol. Paläont. Teil I., (9/10): 1457-1468: Stuttgart.

- Blais, F.H. 1982. Second Quarterly Report of the Sixth Mineral Concession Year Under Law-N° 577 of Paraguay. The Anschutz Co. Report of DRM/MOPC, Asunción, Paraguay.
- Comte, D. Y Hasui, Y. (1971) – Geochronology of Eastern Paraguay by the Potassium-argon method.-Rev. Bras. Geoc. 1 : 33-43.
- Clarke, J.M. 1973. Fósseis Devonianos do Paraná; Serv. Geol. Min. Monografía, Brasil.
- Cordani, U.G., Cubas, N., Nutman, A.P., Sato, K., Gonzalez, M.E. and Presser, J.L.B.(2001) – Geochronological Constraints for the Evolution of the Metamorphic Complexes near the Tebicuary River, Southern Precambrian Region of Paraguay. In III Simposio Sudamericano de Geología Isotópica. Pucon Chile, del 21 – 24 Octubre, 2001. Extended Abstracts. Volume (CD) p. 113-116. Sociedad Geológica de Chile, Santiago, Chile.
- Cubas, N., Garcete, A., Meinhold, K.D., Benitez, J.C., Figueredo, L., Gonzalez, M.E., Burgaht, K.P. and Höhndorf, A. (1997) – Mapa Geológico de la República del Paraguay – Escala 1 : 100.000, Hoja Villa Florida, MOPC. Asunción, 71 p.
- Degraff, J. et. al. 1981. Interpretación geofísica y geológica del Valle de Ypacaraí (PY) y su formación. Asoc. Geol. Arg. Revista XXXVI (3) : 240256- ISSN 0004-4822.
- Eckel, E.B. 1959. Geology and Mineral Resources of Paraguay. A reconnaissance. Geological Survey Professional Paper 327 United States. Governinent Printing Office, Washington.
- Escobar A. 1982. Estado actual del conocimiento sobre el Silúrico-Devónico en Paraguay. ICB/UNA.
- Fúlfaro, V.J.; Saad, A.R.; Santos, M.V. & Vianna, P.B. 1982. Compartimentação e Evolução Tectónica da Bacia do Paraná; Rev. Bras. Geo. v. 12 (4), 590-611.
- Fúlfaro, V.J. 1985. Informe sobre la Misión del Proyecto PAR 83/005 (Oct/Nov 1985) Archivo 47 p.. Asunción, Paraguay.
- Gómez, D.R. 1986. Contribución al conocimiento de la geología del norte del Chaco Paraguayo. Lagerenza, Paraguay.
- Harrington, H.J. 1950. Geología del Paraguay Oriental. Universidad de Buenos Aires. Fac. de Ciencias Exactas. Contribuciones Científicas Serie E. Geol. Tomo: 1.
- Harrington, H.J. 1968. Desarrollo Paleogeográfico de Sudamerica, Fund. e Inst. Miguel Lilio. Univer. Nac. de Tucumás. Miscelánea, N° 26, Argentina.

- Herbst, R. 1985. La secuencia Permo-Triásica (Independencia-Misiones) en Paraguay Oriental. Estudios sedimentarios paleontológicos y paleobotánicos. Univ. de Corrientes, Argentina.
- Hutchinson et.al. 1979. Uranium Exploration in the Permo-Carbonifereous Secuence, South of Latitude 25° Results and Recommendations: the Anschutz Co. Intern. Report Archivo DRM/MOPC, Asunción, Paraguay.
- Dirección De Recursos Minerales (MOPC)/ Instituto Federal De Geociencias Y Recursos Naturales (BGR). Hoja Villa Florida 5468 Texto Explicativo, 1 Mapa, Escala 1:100.000. Asunción, 1998.
- Dirección De Recursos Minerales (MOPC)/ Instituto Federal De Geociencias Y Recursos Naturales (BGR). Hoja Paraguari 5469 Texto Explicativo, 1 Mapa, Escala 1:100.000. Asunción, 1998.
- MOPC-DRM. 1966. Plan de Prospección Geológica y Mineral. Cuadrículas 40-41. Asunción, Paraguay.
- OEA. 1975. Cuenca del Plata Rca. del Paraguay. Región Nororiental. Proyecto Aquidabán Secr. Gral. de la OEA. Washington D.C.
- Palmieri, J.H. & Velázquez, J.C. 1982. Geología del Paraguay. Ed. Napa. Asuncion. Paraguay.
- Palmieri, J.H. 1973. El complejo alcalino de Sapucaí (Paraguay Oriental) Tesis Doctoral. Dep. Crist. y Min. Univ. Salamanca, España.
- Petri & Fúlvaro, V.J. 1976. Observações sobre o siluriano no Brasil e sua bioestratigrafia: AN XXIX Cong. Bras. Geol., v. 8, P. 75-79.
- Petri, S. S Fúlvaro V.J. 1983. Geología do Brasil. Fanerozoico. Ed. T.A. Queiroz/EDUSP. 631 p., São Paulo, Brasil.
- Presser, L.L.B. S Cross, F. 1984. Informe Preliminar sobre Fósiles Vertebrados Pleistocénicos en la localidad de Ytororó. Departamento Central. Rep. del Paraguay. Min. de Educación y Culto. Div. General de Bienes Cut., 16 p., 15 fotos. Asunción, Paraguay.
- Putzer, H. 1962. Die Geologie von Paraguay; Beitrage zur Regionalen Geologie der Erde. Vol. 2, Gebruder Borntraeger, Berlín, Alemania.
- Rodrigues, R. & Cuadros, L.P. 1975. Avaliação Geoquímica Preliminar da Bacia do Paraná. Relat. Interno PETROBRAS S.A. DEYPRO/DEVEY No 5013 Rio de Janeiro. Brasil.
- Richter, A. & Richter, E. 1942. Die Trilobiten der we immchichten am hahen Vern, mit Bemerkungen riben die Malvino-Caffrische Provinz.: Seckenbergiana 25

(1/3) p. 156-179.

- Schneider, R.L. 1976. O Sistema da Bacia do Paraná: Possibilidades Petrolíferas: PETROBRAS S.A. Relat. Interno. N° 5105, 57 p., 24 fig. Rio de Janeiro, Brasil.
- Shirley, J. 1983. The distribution of lower Devonian. Problems in Paleoclimatology p. 255-261.
- Spizi, A.M. 1983. Consideraciones sobre una formación de conglomerados en Areguá y alrededores. Informes Científicos, Vol. 4, No. 1 Mayo 1983. I.C.B. Dpto. de C. Nat. UNA.
- Wiens, F. 1982. Mapa geológico de la región oriental. Rca. del Paraguay escala 1: 500.000 Primer Simposio Natur. del Paraguay, 8 p. + 1 mapa, Asunción, Paraguay.
- Wiens, F. 1984. El Precámbrico del Paraguay Oriental. Resumen del archivo del Proyecto PAR 83/005, Asunción, Paraguay.
- Wiens, F. 1986. Zur lithostratigraphischen, petrographischen und strukturellen Entwicklung des Rio Apa-Hochlandes, Nordost-Paraguay. Herausgegeben von den Geowissenschaftlichen Instituten der Technischen Universität Clausthal.
- Wolfart, T.R. 1961. Stratigraphie und Fauna der Alteren Paleozoikum (Silúr-Devon.) in Paraguay: Geol. JB.,v. 78, p.29-102.
- Zaire, M. & Fairchild, Jr. 1985. Comparison of Authophycus Luciano Beurjan & Summer from Ladario (MS) and the genus Cladina, Germs, Ediacaran of Namibia: Rv. Com. An Bras. Cienc. 57 (1) pab. 130.