

TOMO I

I. INTRODUCCIÓN

La República del Paraguay constituye una extensa región de cuencas sedimentarias (94,8% de su territorio; Fig. 1 y Fig. 2) con un favorable potencial petrolífero, aunque aun no productivo, condicionado por la escasa información técnica disponible, en comparación a regiones productivas, dificultando conclusiones definitivas y requiriendo amplios programas adicionales de exploración. La situación se define no solamente por la complejidad geológica del país, sino también por la ausencia de importantes inversiones necesarias en este campo.

Las cuencas y subcuencas sedimentarias en Paraguay (Fig. 3) pertenecen a las cuencas interiores, y aunque refleja cada una de ella sus peculiaridades propias, presentan algunas características en común:

- En un contexto global, las rocas generadores de hidrocarburos más importantes son las arcillitas del Devónico, y en sentido más restrictivo las arcillitas del Siluro-Ordovícico y del Permo-Carbonífero. Localmente requieren importancia arcillitas y calcáreas cretácicas, como también calcareos-arcillitas neoproterozoicos-cambro/ordovícicos. De un modo general, la evolución termodinámica sufrida por estas rocas, las ubica en la fase de generación de gas y condensados; excepciones representan regiones tectónicamente calmas y las generadoras cretácicas.
- Los reservorios de mayores posibilidades de acumulación de hidrocarburos son areniscas de paleocanales carboníferos, areniscas del Devónico, Siluro-Ordovícico y Pérmico. Localmente son importantes areniscas mesozoicas y areniscas/zonas de karstificación del Neoproterozoico-Cambro/Ordovícico.
- Una notable característica común es la intensa transformación tectono-magmática sufrida principalmente en el Jurásico-Cretácico. Mientras que la región del Chaco fue afectada profundamente por una reorganización estructural con menor participación magmática, la región oriental fue invadida por un abundante magmatismo básico-alcalino acompañando

al intenso tectonismo, que rompió e intercaló la secuencia sedimentaria, interponiéndose a ella e inyectando la columna estratigráfica existente con cuerpos intrusivos en la más variada disposición. Extrusivas basálticas en la superficie llegan a alcanzar hasta 2000 m de espesor.

- Para la exploración petrolífera el tectono-magmatismo mesozoico genera ciertas dificultades específicas. La presencia de cuerpos magmáticos mucho más densos que las secuencias sedimentarias, acompañados por desplazamientos estructurales de gran envergadura, creó problemas en la utilización tradicional de métodos geofísicos, que recién en los últimos años han sido superados. La configuración particular de las cuencas sedimentarias en el país no permitió durante mucho tiempo identificar la dinámica actuante en la secuencia sedimentaria en el subsuelo y consecuentemente, localizar estructuras válidas para la perforación detallada y específica de pozos de exploración (sin mencionar el tiempo y los altos riesgos de inversión).

Hoy, la resolución sísmica permite obtener resultados bastante satisfactorios que permiten, acompañados por otros métodos geofísicos, magnetométricos y magnetotelúricos, la identificación de estructuras complementarias y complejas en las cuencas sedimentarias.

- El conocimiento geológico ha manifestado un avance significativo, en particular el entendimiento de la distribución espacial y temporal de las unidades litoestratigráficas, que asistido por el enfoque tectono-estructural contesta a un concepto dinámico-evolutivo de las cuencas sedimentarias en Paraguay.
- La generación de hidrocarburos en Paraguay se relaciona principalmente al evento tectónico-termal mesozoico. La distribución irregular de magmatitas y/o de efectos tectónicos refleja consecuentemente parámetros irregulares de influencia térmica y de madurez diferenciada en las formaciones generadoras. Donde la influencia tectono-termal es más pronunciada, secuencias generadoras someras se ubicarán en el nivel de generar hidrocarburos, acusando la destrucción de la posibilidad generadora en secuencias más profundas. Mientras que en regiones más calmas o laterales, secuencias más profundas serán más atractivas.

La exploración de hidrocarburos es una exploración indirecta. Significa, que no existe un único método exploratorio de comprobada eficiencia, que permita detectar la presencia de hidrocarburos en el subsuelo desde la superficie, mediante una de sus características o propiedades. Las condiciones favorables para la acumulación comercial de hidrocarburos se refieren a los siguientes parámetros básicos: presencia de rocas generadoras, sellantes y de reservorio, presencia de una trampa preferencialmente estructural, buenas relaciones espaciales entre formaciones generadoras y de reservorios, y óptima relación temporal entre la migración de hidrocarburos y la formación de una estructura acumuladora. Una concentración de hidrocarburos económicamente explotable ocurrirá únicamente donde todas estas condiciones han sido satisfecho.

Por otra parte, la exploración para hidrocarburos es indirecta y multidisciplinar, resulta en una investigación altamente interpretativa y por lo tanto se orienta por la cantidad y calidad de los datos disponibles. El hecho de la escasez de suficientes datos confiables de exploración petrolífera en Paraguay y por lo tanto la interpretación apenas modelar de su potencial económico no se supera con la experiencia de un equipo técnico-profesional o la aplicación de métodos de interpretación sofisticada. Cualquier interpretación y aproximación del potencial para hidrocarburos en Paraguay estará siempre más próxima a la realidad cuanto mayor fuera el volumen de datos sólidos existentes.

Otras condicionantes de igual importancia se refieren al grado de resolución, costos y rendimientos de métodos exploratorios aplicables en los diferentes prospectos.

La República del Paraguay se divide en dos grandes unidades fisiográficas: El Chaco (Paraguay occidental) y la región oriental (Paraguay oriental).

1. El Chaco paraguayo ocupa con 246.725 km² el 60,6% de la República del Paraguay. Hacia el norte y oeste limita con el Chaco boliviano; al sur continúa hacia el Chaco argentino; al noreste conecta con el Pantanal mato-grossense y el basamento cristalino del Río Apa (Paraguay oriental y Brasil), mientras que al este pasa hacia la cuenca del Paraná (Paraguay oriental). El Chaco paraguayo es una amplia planicie cuaternaria, con 70 a 350 m de elevación, alcanzando localmente 390 m. Afloramientos proterozoicos-fanerozóicos se observan en el norte chaqueño, en la región del Río Paraguay superior y en la zona de Villa Hayes (Fig. 4).

La presentación del desarrollo estratigráfico y estructural es basada en datos de afloramientos acompañados por la interpretación de imágenes de sensores remotos. De resalante importancia resulta la evaluación de resultados exploratorios para hidrocarburos y agua subterránea. Cienos de pozos para agua han sido perforados en el territorio chaqueño. La exploración petrolífera desde 1947 hasta 1997 ha contribuido con 43 perforaciones profundas. Los datos son completados por 12.085 km de registros sísmicos; mediciones aeromagnéticas y gravimétricas apoyan la evaluación.

En el Chaco paraguayo se diferencian cuatro subcuencas: La subcuenca de Curupaity al norte (4 perforaciones petrolíferas); la subcuenca de Carandaity al oeste (18 perforaciones petrolíferas); la subcuenca de Purity al suroeste (9 perforaciones petrolíferas); y la subcuenca de Pilar al sur (sin perforaciones).

El bajo de San Pedro conforma la extensión de la cuenca del Chaco hacia la cuenca del Paraná en el este (1 perforación petrolífera). Hacia el noreste se extiende la plataforma de Bahía Negra (sin perforaciones).

Los bajos geotéctonicos son separados por altos estructurales: Al este se encuentra establecido el subcratón Río Apa con los altos de Fte. Olimpo e Itapucumí, al sureste está consolidado el subcratón Río Tebicuary con el alto de Asunción, al sur se define el alto de Pte. Hayes, al suroeste el alto de Boquerón (9 perforaciones petrolíferas) y al noroeste se ubica el alto de Lagerenza (2 perforaciones petrolíferas).

Unidades paleozoicas se depositaron en todo el Chaco, mientras que sedimentos mesozoicos se concentran hacia áreas centrales y orientales. Registros cenozoicos y recientes recubren todo el Chaco nuevamente, con excepción a áreas precuaternarias aflorantes.

El estilo tectónico del Chaco sigue lineamientos estructurales hacia el noroeste-sureste y noreste-suroeste originados por ciclos termo-tectónicos neoproterozoicos. La reactivación diferenciada de esta imagen estructural durante el Fanerozoico resultó en cinco fases de subsidencia: Ordovícico-Silúrico, Devónico, Carbonífero-Pérmico, Meso-

Cenozoico y Cuaternario. Cada fase se limita por discordancias erosionales, ausencia de sedimentación o muy reducidas tasas de deposición. Mientras que las fases paleozoicas reflejan una suave subsidencia generalizada, interrumpidas apenas por episodios epirogenéticos gentiles, las fases meso-cenozoicas resultaron a causa de una reorganización estructural durante el Mesozoico, principalmente hacia direcciones noreste-suroeste, de manera subordinada hacia noroeste-sureste y movilizaciones al este-oeste. La fase cuaternaria registra estabilidad tectónica con reajustes estructurales suaves y rellenos sedimentarios regionales.

Los ambientes de sedimentación fanerozoica en la cuenca del Chaco considera secuencias clásticas y carbonáticas desde el Neoproterozoico al Pérmico superior bajo condiciones marinas a continentales. Desde del Triásico medio al Pleistoceno inferior se depositaron clástitas y evaporitas terrígenas con secuencias marinas locales. Culmina la sedimentación desde el Pleistoceno inferior al presente con depósitos terrígenos en un ambiente de planicie de piedemonte.

2. La región oriental del Paraguay ocupa 160.027 km² (39,4% del territorio nacional) e incluye el margen occidental de la cuenca del Paraná. Una topografía ondulada predomina sobre planicies y mesetas; con elevaciones entre 70 y 300 m, algunos puntos alcanzan hasta 840 m. Afloramientos razonables de la secuencia estratigráfica se encuentran distribuidos en la región, cubriendo unidades desde el Basamento Cristalino hasta el Cuaternario (Fig. 5).

Paraguay oriental continua en el noreste y este hacia la parte brasileña de la cuenca del Paraná; en el sureste y sur hacia la parte argentina de la cuenca; en el suroeste a través de la subcuenca de Pilar hacia las cuencas pampeanas argentinas; y en el oeste conecta por el bajo de San Pedro con la cuenca chaqueña paraguaya. Hacia el norte y sur aparecen altos subcratónicos aislados (subcratón Río Apa y subcratón Río Tebicuary).

La presentación del desarrollo estratigráfico y tectónico se basa en afloramientos y los resultados de actividades de exploración/explotación para agua subterránea, minerales e hidrocarburos.

La documentación de base se concentra en los conocimientos geológicos e hidrogeológicos existentes. Asimismo se tiene en cuenta perforaciones para hidrocarburos (apenas 5 pozos) acompañados por 3.275 km de registros sísmicos y una cobertura general por aeromagnetometría, aeroradiometría y gravimetría. Varios pozos someros y profundos han sido realizados para la exploración/explotación de agua subterránea y minerales. La documentación geoquímica, paleontológica/palinológica y geocronológica es razonable.

La estratigrafía fanerozoica en la parte occidental de la cuenca del Paraná presenta cinco ciclos sedimentarios principales: La sedimentación ordovícica-silúrica y devónica se caracteriza por ambientes marinos transgresivos-regresivos, en una cuenca de muy suave subsidencia. Sedimentos carboníferos-pérmicos forman prominentes secuencias continentales a playo marinos con pronunciada influencia glacial. Durante el Mesozoico amplios sedimentos continentales, principalmente desérticos y fluviales, cubren la cuenca del Paraná. Voluminosas magmatitas básicas a alcalinas inyectan y cubren extensamente los sedimentos fanerozoicos durante el Mesozoico. Depósitos terciarios-cuaternarios se ven interrumpidos durante el Mioceno por una breve incursión marina desde el sur y se ven acompañados por magmatitas básicas, nefeliníticas-fonolíticas locales.

Cuatro centros deposicionales son definidos en la región oriental del Paraguay: La cuenca occidental del Paraná, que abarca toda la región este con varios depocentros internos (3 perforaciones petrolíferas); el bajo de San Pedro, que conecta la cuenca del Paraná con la cuenca del Chaco (2 perforaciones petrolíferas); y la subcuenca de Pilar hacia la confluencia del Río Paraguay y del Río Paraná (sin perforaciones).

Altos estructurales se definen en los subcratones aflorantes del Río Tebicuary (sur) y del Río Apa (norte), acompañados por el alto de Asunción y el alto de Itapucumí. Paralelamente son formados altos estructurales hacia Tavai y P.J. Caballero, con sistemas domales secundarios; mientras que el arco de Encarnación conecta el subcratón Río Tebicuary con el subcratón Río Grandense (Brasil).

El estilo tectónico sigue lineamientos al noroeste - sureste y al noreste - suroeste, establecidos durante el Neoproterozoico. No obstante, episodios epirogenéticos

paleozoicos y la fase distensional mesozoica y su reactivación cenozoica siguen estos mismos lineamientos, cobrando variada importancia los sistemas al norte-sur y este-oeste del Basamento Cristalino, principalmente la movilización este-oeste durante el Mesozoico.

3. Tanto la cuenca del Chaco paraguayo y la cuenca occidental del Paraná en el Paraguay oriental forman hasta el Mesozoico parte de una sola cuenca Chaco-Paranaense (Fig. 6 y Fig. 7).

La cuenca Chaco-Paranaense limita al norte y este con el escudo de Guaporé y el cratón Sao Francisco, al sur con el cratón Río de la Plata y el macizo de Patagonia, al oeste se emerge la Cordillera de los Andes, mientras que al noroeste pasa hacia la cuenca del Amazonas.

Eventos estructurales controlan el desarrollo de la cuenca Chaco-Paranaense. El ciclo termotectónico Brasileño establece durante el Proterozoico al Ordovícico inferior un arreglo estructural orientado en lineamientos hacia el noroeste y noreste, sobreponiéndose a la compleja imagen tectónica del Basamento Cristalino. Las fases epirogenéticas del Caledoniano (Silúrico) y del Eoherciniano (Carbonífero) marcan suaves episodios compresionales dentro del arreglo estructural establecido y son indicadas por discordancias estratigráficas. Una acentuada distensión tectónica (rifting) a lo largo de los lineamientos establecidos y acompañada por una movilización de este a oeste, es el resultado del ciclo termotectónico Sudatlántico durante el Mesozoico. Acompañan magmatitas contemporáneas. Este evento causa una reorganización geotectónica en el área del Paraguay, estableciendo dos principales unidades deposicionales: la cuenca del Chaco al oeste y la cuenca del Paraná al este (Fig. 8). El ciclo termotectónico Andino durante el Cenozoico registra los reajustes estructurales más recientes y está acompañado a un magmatismo local.

El informe técnico-geológico con énfasis hacia áreas con prospectos promisorios para la acumulación de hidrocarburos económicamente aprovechables en el Paraguay, resume aspectos de la ubicación geológica-geotectónica del país y del registro estratigráfico-estructural (Fig. 9 y Fig. 10). Especial atención se presta al potencial de hidrocarburos en esta vasta región poco explorada y por ende pionera. Paraguay

es considerado como un área con favorable potencial petrolífero, con términos viables para su explotación comercial.

Es de mencionar que existe una amplia literatura referente a la geología y al potencial de hidrocarburos del Paraguay. Ya que es poco práctico mencionar en el texto todas las referencias y mapas consultados, teniendo en cuenta que se inician con el PJ Sánchez Labrador en 1768, se ha optado en este informe obviar esta mención, registrando no obstante una lista bibliográfica temática detallada.

II. ORIGEN DE LA CUENCA CHACO-PARANAENSE

1. Substrato arqueano - eoproterozoico (ciclo Guriense al ciclo Uruaçuano)

1.1. El basamento cristalino antiguo se observa en el Paraguay en las áreas expuestas del subcratón Río Apa (norte) y del subcratón Río Tebicuary (sur).

La disposición gravimétrica en la región del Paraguay manifiesta amplias discontinuidades litosféricas, indicando un arreglo diferenciado de bloques en la corteza arqueana-proterozoica. Estos bloques regionales se encuentran limitados, separados y sellados por cinturones móviles de acrecentamiento metamórfico. Así se registra un cinturón móvil hacia el noreste (oriente boliviano) y otro al sureste (oriente uruguayo); mientras que en el territorio del Paraguay se evidencia un cinturón móvil que se manifiesta en una disposición desde el noreste hacia el suroeste (bajo de San Pedro), separando los dos bloques subcratónicos del Río Apa y del Río Tebicuary, que son parcialmente observables en la superficie actual.

La litosfera continental en la parte meridional sudamericana, incluyendo el Paraguay, quedó ensamblada mayormente hacia fines del Proterozoico (Fig. 11). No obstante, las heterogeneidades registradas en el Basamento Cristalino, que controlaron el desarrollo de depocentros para la formación de las cuencas sedimentarias fanerozoicas en la región, quedaron instaladas por un intenso termo-tectonismo desde el Neoproterozoico al Cámbrico/Ordovícico. Esta estructuración reactivó lineamientos pre-instalados al norte-sur y al este-oeste, pero principalmente se pronunció al noreste-suroeste y al noroeste-sureste. Quedan así establecidas regiones estables y otras de pronunciado hundimiento (tectónica de bloques basculados), permitiendo la acumulación de secuencias fanerozoicas y la subsiguiente subsidencia de cuencas sedimentarias en la región central sudamericana, desde la zona de Chiquitos (Bolivia) hacia el Chaco y la región oriental en Paraguay, y llegando hasta la Pampa argentina - uruguaya (cuenca Chaco-Paranaense).

1.2. La evolución de la litosfera en el subsuelo paraguayo es expresada en un mosaico de provincias granito-gneissicas y metasedimentarias, con zonas de acrecentamiento metamórfico conjugadas en un conjunto de cratones arqueanos a paleoproterozoicos. Son límites cratónicos del Paraguay el cratón Guaporé al norte, el cratón Sao Francisco al este, el cratón Río de la Plata al sur y el bloque Pampeano al oeste. La colisión y suturación de provincias cratónicas se registran durante varios ciclos termo-tectónicos precámbricos, desde el ciclo Guriense (3400-3000 ma), el ciclo Jequié (2900-2600 ma) hasta el ciclo Transamazónico (2100-1800 ma).

El cuadro geotectónico al final del Paleoproterozoico registra así asociaciones litológicas muy variadas: (1) Cinturones de secuencias metamórficas de origen vulcano-sedimentar, definiendo zonas de suturas entre bloques litosféricos continentales pre-existentes. (2) Márgenes activos, desde el punto de vista termal y magmático, de bloques litosféricos continentales antiguos y cabalgados sobre las secuencias metamórficas. (3) Márgenes pasivos de bloques litosféricos continentales cratónicos, cabalgados sobre secuencias metamórficas. (4) Cinturones móviles de movimientos tectónicos de transcurrancia con amplias zonas de milonización y cataclasis, de fuerte dislocación de bloques e intensa actividad termo-magmática.

1.3. El basamento mesoproterozoico se ve afectado por efectos termo-tectónicos del ciclo Uruaçuano (1600-1000 ma) en áreas cratónicas del Paraguay, como también en los cratones del Pampeano y del Río de la Plata. Son definidos lineamientos en cinturones móviles de cizallamiento; ej.: sutura San Pedro - Las Breñas, y Paraguay - Araguaia - Gordonía, de direcciones noreste - suroeste y norte - sur. En el extremo norte se bifurcan el bloque Alto Paraguay y el bloque Río de la Plata/Pampeano en la convergencia suroriental del cratón Guaporé. Este último es afectado por el mismo ciclo mesoproterozoico, subdividido en la orogénesis San Ignacio (1300 ma) y el evento Sunsas-Aguapei (1000 ma). De esta manera queda implicada la composición del basamento que forma el substrato litosférico en territorio paraguayo (Fig. 12).

Datos magnéticos, magnetotéluricos y gravimétricos señalan que queda establecido al final de la actividad orogénica mesoproterozóica y alcanzando una estabilidad estructural, un registro de acrecentamiento sistemático de áreas cratónicas. Se define así un arreglo estructural prioritario de noreste a suroeste en disposición paralela, mientras que lineamientos de noroeste a sureste son algo suprimidos; orientaciones de norte-sur y este-oeste quedan oprimidas.

Al final del Mesoproterozóico queda establecido y consolidado el Basamento Cristalino en Paraguay: Se ve diferenciado en complejos basales Río Apa y Río Tebicuary, compuestos por complejos gnéissicos, conjuntos metasedimentarios-granitoides, amfibolitas, metabasitas y granitos-pegmatitas, presentes en facies metamórficas de amfibolita a esquistos verde y fracturados/cizallados por efectos tectónicos posteriores (Fig. 13).

Granitos bimodales y porfiritas acompañados por sedimentos terrestres-marinos componen un segundo complejo litológico, identificado en suites magmáticas (Magmatitas Centurión y Magmatitas Villa Florida) y secuencias vulcano-sedimentarias (Grupo San Luis y Grupo Ramos); Fig. 14.

El desarrollo neoproterozoico-fanerozoico en Paraguay reflejará siempre el acento de la intensidad del sistema estructural establecido en el Basamento Cristalino mesoproterozóico, registrado en sus reactivaciones tectónicas alternadas o combinadas posteriores.

2. Eventos neoproterozóicos - cambro/ordovícicos (ciclo Brasileño)

La época geológica desde el Neoproterozóico al Cambro/Ordovícico se inicia alrededor de 860 ma y registra un período de compleja estructuración y metamorfismo asociado al evento tectono-magmático del denominado ciclo Brasileño (680 - 450 ma); Fig. 15.

Depocentros sedimentarios se ubican a lo largo de cinturones estructurales intracratónicos. Forman la más prominente concentración en un sistema de lineamientos y zonas de cizallamientos al noreste-suroeste, desde el cratón Sao Francisco, pasando por el Chaco hasta en la zona preandina. En la limitación norte del Chaco se observa una zona de cizallamiento divergente al borde del cratón Guaporé de dirección oblicua al noroeste-sureste.

Los depocentros presentan características similares, ya sea en la deposición de sedimentos o en su deformación posterior, indicando una conexión formacional - estructural. Las fases iniciales son de tectónica extensional, formando ambientes estructurales del tipo rift, participando magmatitas asociadas, pasando luego a amplias compresiones, acompañadas por cizallamientos transcurrentes y un magmatismo ácido final.

2.1. Distensión neoproterozoica superior: Una subsidencia de extensión intracratónica es ubicua durante el Neoproterozoico. Sedimentos iniciales, preferentemente de abanicos aluviales y secuencias pelágicas se depositan en fosas estructurales. Son acompañados ocasionalmente por vulcanitas e intrusivas bimodales ácidas a alcalinas iniciales de 576 - 535 ma K/Ar; el magmatismo primario pre- a sincinemático de las Magmatitas San Ramón y Magmatitas Caacupú, desde el Neoproterozoico al Cámbrico inferior.

Una fase distensional posterior da lugar a una amplia subsidencia epirogénica, cubriendo depocentros primarios controlados por fracturas, resultando en una vasta cobertura de plataforma carbonática y sedimentos arcillosos. Sedimentos neoproterozoicos componen en Paraguay al Grupo Itapucumí, a las Lutitas Paraguari y a los Metasedimentos Paso Pindó (Fig. 16 y Fig. 17).

2.1.1. El subcratón Río Apa (Paraguay nororiental) se encuentra rodeado en disposición discordante por secuencias sedimentarias del Grupo Itapucumí (ej. planicie de Tagatiyá). Sedimentos basales son areniscas, areniscas conglomeráticas-arcósicas de origen aluvial y arcillitas de ambiente marino lagunar transgresivo, ubicados en depocentros estructurados paralelamente y alineados de noreste a suroeste y noroeste a sureste (Fig. 18, Fig. 19 y Fig. 20). Tal

disposición estructural es manifestada igualmente en el subsuelo de la cuenca Chaco-Paranaense. La sedimentación es local y registra consecuentemente espesores variados entre 25 a 2000 m en su fase basal (Fig. 21).

- Arcosas y conglomerados se observan hacia la base y como intercalaciones locales. Son grises a rosados, mal seleccionados y frecuentemente silificados. Con calizas y pelitas forman horizontes heterogéneos.
- Niveles de areniscas son raros. Son secuencias amarillentas y verdosas, y registran contactos graduales hacia pelitas.
- Arcillitas limosas aparecen con areniscas. Forman intercalaciones en las calizas (hasta 20 m de espesor). Son finamente laminadas, con colores variados desde pardo rojizo, hasta verdoso o amarillento.

Calizas y arcillitas cubren luego ampliamente los depocentros basales y áreas cratónicas en un ambiente marino transgresivo de plataforma continental. Espesores registrados oscilan entre 400 y 1700 m (Fig. 22).

Los calcáreos son gris oscuros a negros y gris claro; raras veces rojizos. Niveles inferiores forman finos bancos con intercalaciones limosas y arcillosas. En porciones de marcado entrecruzamiento forman bancos masivos (Fig. 23). Oolitas y calizas conglomeráticas abundan. En zonas tectonizadas o en áreas afectados por magmatitas más jóvenes aparecen calizas recristalizadas. Una dolomitización parece ser más abundante hacia niveles inferiores. Los contactos entre las calizas son transicionales, siguiendo los cambios de facies laterales y verticales.

- Calizas bituminosas son negras a gris oscuras, de granulometría fina, con una estratificación ondulada y plano paralela, finamente laminada en bancos masivos. Intercalaciones arcillosos tienen texturas de disección poligonal. Hacia la base se observan breccias calcáreas, con fragmentos rectangulares dispuestos

irregularmente en una matriz marrón amarillenta. Estructuras “estromatolíticas” abundan, sin haber sido bien identificadas.

La caliza contiene carbonatos con accesorios de cuarzo, feldespatos y opacos. Pirita abunda; típico es el olor a sulfuro en cortes frescos. El olor bituminoso y la abundancia de pirita indican ambientes deposicionales bajo condiciones aneróbicas y con concentración orgánica (condiciones euxínicas = sedimentos orgánicos negros y barros hidrógeno - sulfídicos).

Incipientes estilolitas y películas hematíticas indican la presión diagenética.

- Calizas oolíticas-pisoídicas y conglomeráticas componen extensas regiones a lo largo del Río Paraguay, entre Cerro Risso, Cerro Ybyrupí, Tres Cerros y Cerro Galván. Las calizas son heterogéneas por su disposición, granulometría, textura y matriz.

Se observa una recristalización progradacional y una dolomitización hasta la total disolución de la textura original, principalmente en zonas con pronunciado tectonismo y magmatismo.

El ambiente formacional señala condiciones marinas playas de alta energía.

- Calizas recristalizadas y dolomíticas ocurren en zonas de pronunciados efectos termo-tectónicos (fracturas, bloques basculados, cabalgamientos, e intrusivas magmáticas). Las calizas son blancas a gris claras y rojizas, de granulometría fina a saccaroidal. Cuarzo y opacos son subordinados. Pirita aparece en planos de fracturas. Las calizas forman bancos masivos. Aparecen intercalaciones de calizas bituminosas y oolíticas, también de limos arcillosos.

Cuanto más intenso el efecto termo-tectónico, cuanto más irregular aparecen las calizas: con incipiente recristalización y dolomitización se forman concreciones y lentes discordantes a la estratificación original, luego se forman masas irregulares en la caliza original. Acompaña una incipiente formación de nódulos y lentes de sílice, llegando en casos a la total silificación.

- Dolomitas aparecen en áreas de máxima influencia termo-tectónica. Son rocas blancas, grises y amarillentas, completamente recristalizadas, masivas y de granulometría fina a mediana.

Los sedimentos carbonáticos-clásticos del Grupo Itapucumí indican una transgresión marina desde el suroeste/sureste al noreste/noroeste, recubriendo gran parte del basamento cristalino aflorante. El ambiente deposicional señala una plataforma carbonática costera de condiciones playas y calurosas. El carácter transgresivo y fluctuante es observado en las clástitas intercaladas (ambiente nerítico). Mientras que bajo condiciones más energéticas, como ser barreras o arrecifes, se forman calizas oolíticas-pisoídicas, breccias calcáreas y entrecruzamientos. Horizontes limosos y arcillosos registran ambientes de lagunas marinas protegidas. Calizas bituminosas son asignadas a la actividad de algas y microorganismos. La heterogeneidad sedimentaria y los cambios de facies deposicionales en una misma secuencia concordante indican el relleno continuo de una cuenca miogeosinclinal.

Dataciones bioestratigráficas de algas *Aulaphycus Lucianoi* n.sp. y *Collenia* sp. sugieren edades del Cámbrico inferior. Mientras que análisis de *Scyphozoe Corumbella Wernerii* n.sp. y *Cloudina Waldei* n.sp. reflejan edades del Neoproterozoico al Cámbrico inferior. Dataciones absolutas indican para las calizas con 639 ± 17 ma K/Ar y 600 ma Rb/Sr edades del Neoproterozoico superior.

- 2.1.2. Metasedimentos neoproterozoicos-cámbricos (Lutitas de Paraguari) afloran en discordancia por debajo de sedimentos ordovícicos en los alrededores de Paraguari. Los metasedimentos son tentativamente correlacionables a lutitas, areniscas y calizas del Grupo Itapucumí en el Paraguay nororiental. Se hallan finamente laminadas, probablemente por diferenciación de sus componentes detríticos (cuarzo, muscovita, biotita, pirita). Pigmentos oxidados confieren a la roca un color amarillento verdoso.

La correlación con el Grupo Itapucumí permite una datación bioestratigráfica en base a restos de *Algas* y *Scyphozoe*, indicando edades del Neoproterozoico al Cámbrico inferior.

Los sedimentos son generados durante un mayor ciclo transgresivo - regresivo, sobre una plataforma continental resultando en ambientes marinos someros y cálidos, bajo una indicada inestabilidad y fluctuación (depósitos marino - lagunares).

- 2.1.3. Metasedimentos Paso Pindó están constituidos por una secuencia de clastitas y calcáreos dolomíticos y dolomitas que pueden presentar finas intercalaciones de pelitas.

Los calcáreos dolomíticos son en general de color gris claro, de granulometría fina, con estratificación planoparalela, desde finamente laminado hasta bancos más potentes. La composición petrográfica es relativamente constante, de calcitas predominantes acompañadas por sericitas y raros opacos. Los calcáreos exhiben una textura en mosaico, parcialmente señalando una fuerte recristalización hasta un incipiente metamorfismo (esquisto verde).

Las dolomitas son compactas, con gruesa estratificación planar, son bastante silicificadas, de colores crema a rosado claro, con vetas calcíticas y localmente breccheadas. La recristalización es casi total;

los efectos de silicificación son observados en vetas y aglomeraciones de cuarzo amorfo (chert).

Arcosas y areniscas conglomeráticas se observan localmente y como intercalaciones. Son rosadas, mal seleccionadas y frecuentemente silificadas. Abundan niveles de areniscas de color amarillento y verdoso, con contactos graduales hacia arcillitas.

Arcillitas son finamente laminadas, con colores desde pardo rojizo, hasta verdoso o amarillento.

La sedimentación de los metasedimentos Paso Pindó se manifiesta en una amplia plataforma continental (miogeosinclinal) de un ambiente marino transgresivo nerítico a costero con temperaturas elevadas. Intercalaciones clásticas evidencian cierta inestabilidad y fluctuaciones en el ambiente deposicional.

La composición formacional de los calcáreos refleja condiciones relativamente calmas, generando sedimentos laminados a masivos, que en un ambiente de sobresaturación de CaCO_3 generarían carbonatos principalmente y por interacción-alteración de silicatos desde zonas adyacentes causarían el origen de calizas dolomíticas, y dolomitas heterogéneas, intercaladas por clástitas variados en niveles superiores de la secuencia.

No existen dataciones relativas o absolutas. Pero la comparación litoestratigráfica con unidades similares del Grupo Itapucumí hace admitir que los metasedimentos Paso Pindó pertenecen al intervalo estratigráfico del Neoproterozoico al Cámbrico.

2.2. Compresión neoproterozoica - cambro/ordovícica: Las cuencas neoproterozoicas son sujetas al final del Precámbrico a una amplia compresión (fase principal del ciclo Brasiliano). La intensa transformación compresiva se acomoda a lo largo de direcciones estructurales existentes, transcurrentes de noreste-suroeste, subordinadamente al noroeste-sureste y menos expresado al norte-sur y este-oeste. La acomodación estructural resulta en un ensamblaje

irregular de bloques tectónicos, que formarían el substrato de la cuenca fanerozoica Chaco-Paranaense. La sedimentación neoproterozoica continuaría localmente en bajos morfológicos hasta el Ordovícico inferior (sin clara identificación estratigráfica); al mismo tiempo se inicia un intenso magmatismo a lo largo de las lineaciones estructurales.

Los movimientos compresionales transcurrentes con vergencias hacia el noroeste y suroeste cortan y cierran áreas sedimentarias y conservan secuencias depositadas durante el Neoproterozoico (Fig. 24 y Fig. 25).

Se manifiesta así una distribución de bloques cratónicos antiguos y neoproterozoicos orientados preferentemente hacia el noreste-suroeste y noroeste-sureste. Son asociadas fracturas tensionales al nor-noreste/sur-suroeste.

Los efectos de este intenso evento diastrófico son dominantes. La combinación de sistemas estructurales y el movimiento transcurrente causa la ruptura de terrenos litológicos consolidados y crea zonas de dilatación tectónica, donde llegan a emplazarse magmatitas sin- a poscinemáticas de avanzado nivel de diferenciación magmática ácida a calco-alcalina. Comprenden granitos, aplitas, granitos porfíricos, riolitas, sienitas riolíticas y diques riolíticos (Fig. 26 y Fig. 27). Edades alrededor de 468 ma K/Ar señalan niveles finales del magmatismo para las Magmatitas San Ramón y Magmatitas Caapucú (Fig. 28).

Según dataciones absolutas de K/Ar las magmatitas se formaron desde el Proterozoico superior al Ordovícico. La actividad intrusiva-extrusiva abarcó un lapso de aproximadamente 100 ma (ciclo Brasiliano), en dos periodos magmáticos principales.

Entre los granitos prevalece un granito porfírico con cuarzo, fenocristales de feldespato y poca biotita/hornblenda, en una matriz de grano medio; mientras que otros granitos son constituidos por cuarzo, feldespato alcalino y fenocristales de plagioclasa, en una matriz de grano medio. La plagioclasa se halla zonada; la biotita y una hornblenda idiomórfica se encuentran íntimamente asociadas.

Las variedades de riolitas presentan diferencias en la matriz, más bien texturales. Algunas riolitas revelan una matriz fina y se caracterizan por el contenido de biotita y hornblenda. Mientras que otras variedades, considerando la naturaleza de su textura, con la ocurrencia simultánea de prehnitas y cloritas en la roca, indican una consolidación en zonas muy cercanas a la superficie.

El origen anatético de las magmatitas y la consolidación cercana a la superficie de las riolitas, indican un origen y un emplazamiento dentro de unidades litoestratigráficas del basamento cristalino, a través de fracturas en zonas de dilatación, como resultado de la tectónica compresional-distensional del ciclo Brasiliano.

Las magmatitas son observadas principalmente en la región occidental del subcratón Río Apa, a lo largo del flanco oriental del valle de Ypacaraí, en el flanco norte de Cordillerita y en la región norte del subcratón Río Tebicuary.

Las magmatitas causan efectos de deformación y plegamiento, y un metamorfismo de contacto termal local en secuencias litológicas de caja.

Con este evento magmático tardío culmina en el Ordovícico inferior el ciclo termo-tectónico Brasiliano (Fig. 29). Se establece y se encierra el cuadro tectónico que guiará el desarrollo de la cuenca fanerozoica Chaco-Paranaense hasta el Mesozoico inferior.

El Grupo Itapucumí afectado por el ciclo Brasiliano resulta en bloques tectónicos romboédricos de calizas inclinados al noreste y noroeste, en pliegues cabalgados en zonas de cizallamiento y dislocaciones a lo largo de fracturas. La ruptura en bloques causa una disposición muy variada y desplazamientos considerables. Hasta que aparecen anillos estructurales acompañando centros intrusivos (ej. alto de Centurión). Durante el ciclo Sudatlántico (Jurásico-Cretácico) se manifestará una reactivación tectónica a lo largo de los lineamientos estructurales establecidos, acompañada por magmatitas básicas-alcalinas locales, causando efectos adicionales de dolomitización, recristalización y silicificación en las secuencias calcáreas - clásticas.

Las Lutitas de Paraguarí afectadas por el ciclo termo-tectónico distensional - compresional Brasileño desarrollan plegamientos con vergencia contra el subcratón Río Tebicuary en dirección noroeste y sureste. Inyecciones de magmatitas ácidas (Magmatitas Caapucú) se encuentran emplazadas en forma irregular en la secuencia metasedimentaria. La tectónica distensional mesozoica distorsiona los sedimentos (ciclo Sudatlántico) originando un intenso fracturamiento y la inyección de magmatitas alcalinas-básicas locales.

Las metasedimentitas Paso Pindó reflejan pliegos en amplias ondulaciones como efecto de una suave compresión relacionada al evento compresivo del ciclo termo-tectónico Brasileño. Fracturas longitudinales y transversales, posteriores a la compresión inicial hacia el noreste, noroeste, norte y este estarían relacionadas con una fase tardía del ciclo Brasileño. Las fracturas documentan desplazamientos verticales, con levantamientos e hundimientos de bloques tectónicos. De esta manera se encuentra conservado el área de exposición superficial de los Metasedimentos Paso Pindó sobre el Río Tebicuary, en una suerte de bloque hundido. Refleja así un remanente de una formación sedimentaria que originalmente ocupara áreas mucho más extensas. Parte de las fracturas y fallas son reactivadas durante el ciclo Sudatlántico.

III. CUENCA PALEOZÓICA INFERIOR

El régimen geodinámico que controlara el basamento cratónico durante el Fanerozoico quedara establecido ya durante el ciclo Uruacuano en el Mesoproterozoico. Por los episodios magmato-metamórficos del ciclo Brasiliano durante el Neoproterozoico al Ordovícico inferior quedan virtualmente incorporados el terreno Pampeano, el cratón Río de la Plata y el terreno Alto Paraguay al basamento sudamericano; formando en consecuencia el substrato de la cuenca fanerozoica Chaco-Paranaense. Así, sobre una base compleja y estructurada de borde continental pasivo se desarrollan secuencias paleozóicas en cuencas de amplia distribución, iniciándose en áreas occidentales, evolucionando y acuñándose hacia el este en una disposición de plataforma o rampa deposicional contra el Precámbrico boliviano/brasileño. De esta manera se presentan las secuencias paleozóicas en un conjunto dentro de la cuenca Chaco-Paranaense, encontrándose interrumpidas apenas por los altos estructurales del subcratón Río Apa y subcratón Río Tebicuary en Paraguay oriental.

En un primer plano la consolidación del basamento cristalino en el Neoproterozoico-Ordovícico inferior genera una marcada superficie de erosión y consecuentemente pronunciadas discordancias estratigráficas: La estructuración de la cuenca Chaco-Paranaense luego iniciada será controlada básicamente por el régimen consolidado durante el ciclo Brasiliano. En una fase inicial de subsidencia se repiten tendencias tectónicas al noreste-suroeste y noroeste-sureste, y se registran sedimentos de régimen terrestre en una plataforma relativamente estable. Estos depósitos del Cámbrico inferior al Cámbrico superior encuentran mayor expresión en zonas dístales; ej. Grupo Mesón en el noroeste argentino. En la cuenca Chaco-Paranaense, reflejando zonas más proximales, son interpretados términos superiores del Grupo Itapucumí y sus similares como correlativos (aunque más bien propuestos).

Gradualmente la subsidencia controlada por bloques fracturados y basculados es abandonada; la subsidencia y la sedimentación se vuelven más regionales y uniformes. En la fase inicial de subsidencia uniforme desde el Cámbrico superior al Ordovícico inferior se generan en áreas dístales sedimentos plataformales ampliamente distribuidos en zonas de máxima influencia marina; ej. Grupo Santa Victoria - noroeste argentino. La documentación en regiones proximales de la cuenca Chaco-Paranaense es insuficiente; una correlación

hacia depósitos finales del Grupo Itapucumí o términos inferiores de la Formación La Paz (Grupo Cerro León) podría aceptarse.

Luego de un breve intervalo de tectónica epirogenética durante el Ordovícico inferior en áreas aisladas, se iniciaría en el Llanvirniano - Ashgilliano una profundización distal del substrato establecido, permitiendo así una amplia transgresión marina desde el oeste - suroeste hacia la cuenca Chaco-Paranaense. Se registran de esta manera las primeras secuencias sedimentarias eopaleozóicas propiamente dichas en el Paraguay, distribuidas sobre un sustrato de bloques cratónicos basculados y sedimentos cambro-ordovícicos aislados.

La amplia transgresión marina iniciada en el Llanvirniano-Ashgilliano llega a tener una distribución que cubriría casi toda la cuenca Chaco-Paranaense (Fig. 30). Mientras que áreas distales (Bolivia central) presentan una columna estratigráfica casi completa del Ordovícico - Silúrico y un excelente registro fosilífero, hacia áreas proximales (cuenca Chaco-Paranaense) predominan en niveles inferiores sedimentos terrestres de origen erosivo, pasando luego a ambientes marinos. De esta manera y en progresiva transgresión desde el oeste se caracterizan facies deposicionales más pelíticas distales, de acumulación tranquila en un mar abierto y profundo; mientras que hacia el este (condiciones más proximales) los sedimentos se vuelven cada vez más arenosos hasta conglomeráticos, y hacia condiciones fluviales y marinas playas (Fig. 31 y Fig. 32).

1. Grupo Cerro León (Llanvirniano superior - Wenlockiano/Ludlowiano)

En el Chaco paraguayo no se ha podido documentar la base del primer ciclo deposicional paleozóico; denominado Grupo Cerro León (Fig. 32). No existen afloramientos correspondientes en el área. No obstante, en 8 perforaciones profundas para hidrocarburos se registraron niveles ordovícicos-silúricos, obteniéndose en 5 perforaciones documentos fosilíferos viables. De esta manera se define desde el Llanvirniano superior al Ashgilliano/Llandovertiano inferior la Formación La Paz, mientras que desde el Llandovertiano inferior al Wenlockiano/Ludlowiano se identifica la Formación Sta. Rosa.

1.1. Formación La Paz (Llanvirniano superior - Ashgilliano/Llandovertiano inferior)

Aunque la distribución debe ser relativamente amplia, registros inferiores del Grupo Cerro León han sido alcanzados apenas en los pozos Don Quijote #1 (+425) y Parapití #1 (+166 m) en el oeste chaqueño. Son definidas lutitas negras a gris oscuras, muy consistentes a agrietadas, piríticas a limoníticas y muy micáceas. Intercalaciones de siltitas y areniscas son blanquecinas a gris claras, finas a muy finas y generalmente friables o localmente cementadas por sílice. Anhidrita y niveles calcáreos son comunes. El ambiente deposicional es definido como marino calmo.

Hacia el techo el aumento de siltitas y areniscas indican hacia un mayor pulso transgresivo en el Silúrico inferior (Formación Sta. Rosa); Fig. 32.

La escasa información palinológica señala por la asociación de *chitinozoarios* y *acritarcas* hacia una ubicación desde el Llanvirniano superior al Ashgilliano/Llandoveryano inferior.

Debido a la documentación incompleta se correlaciona la Formación La Paz desde términos superiores del Grupo Sta. Victoria (Ordovícico) hasta niveles inferiores de la Formación Kirusillas (Silúrico) en la franja subandina.

Cabe mencionar la persistente problemática acerca de un periodo fluvioglacial, registrado entre las Formaciones La Paz y Sta. Rosa, denominado como Formación Boquerón (Paraguay oriental), Formación Zapla (Argentina), Formación Cancañiri (Bolivia) y Formación Iapó (Brasil). Estos sedimentos predominantemente diamictíticas asociadas con areniscas y lutitas negras no han sido documentados en el subsuelo chaqueño paraguayo. Este evento representaría un buen horizonte guía en la subdivisión estratigráfica. Debido a la carencia de documentación más detallada el contacto hacia la Formación Sta. Rosa sería aceptada como transicional.

1.2. Formación Sta. Rosa (Llandoveryano inferior - Wenlockiano/Ludlowiano)

Se acentúa la transgresión marina del oeste indicada en niveles superiores de la Formación La Paz. Llegan a predominar areniscas masivas claras con intercalaciones de siltitas y arcillitas oscuras que van cubriendo ampliamente el Chaco y se conectan por el bajo de San Pedro hacia el Paraguay oriental. Espesores registrados oscilan entre 670 m en el noroeste y 200 m hacia el este.

Las areniscas son blancas a gris claras, saccaroidales, muy finas a siltíticas, algo micáceas, en general friables a cementadas por sílice y carbonatos. Algunos intervalos registran tallos de *crinoides* reemplazados por pirita. Intercalaciones lutíticas contienen ocasionalmente hasta 25% de pirita.

Contenidos palinológicos de *chitinozoarios* y *acritarcas* bien documentados en los pozos Toro #1 y Parapití #1, así como aislados registros microfósilíferos de *trilobites*, *graptolites*, *gasterópodos* y *braquiópodos* permiten la correlación con el Grupo Itacurubí en el Paraguay oriental. Igualmente corresponde una correlación hacia la Formación Kirusillas en la franja subandina y la Formación El Carmen en el oriente boliviano.

De esta manera es posible indicar un sistema paleogeográfico, señalando que el Chaco paraguayo continúa durante el Silúrico en una amplia plataforma marina, causando la deposición de la Formación Sta. Rosa (Llandoveryano inferior - Wenlockiano/Ludlowiano), Fig. 32. La distribución sedimentaria indica áreas distales hacia el oeste y noroeste con pronunciada participación arcillosa; hacia el este condiciones calmas y playo marinas son observadas con influencia continental en el alrededor de áreas cratónicas; mientras que el área norte registra facies proximales más arenosas a continentales clásticas.

2. Grupo Caacupé (Llanvirniano superior - Ashgilliano/Llandoveryano)

Excelentes afloramientos correlativos del conjunto sedimentario ordovícico-silúrico se observa en la Cordillera de los Altos y Cordillerita, Paraguay oriental, en los Grupos Caacupé e Itacurubí. La secuencia se encuentra preservada en el Paraguay oriental en secciones incompletas y de geometría discontinua, señalando el acuñamiento del paquete sedimentar del oeste hacia el este, siendo controlado por un substrato heterogéneo en cuanto a su deposición y preservación (Fig. 31).

Conglomerados y areniscas del Grupo Caacupé (Fig. 32) inician la sedimentación en la parte occidental del Paraguay oriental. La deposición de ésta secuencia afosilífera pudo haber comenzado tan temprano como durante el Llanvirniano, alcanzando hacia niveles superiores intervalos del Llandoveryano inferior.

El Grupo Caacupé registra hacia la base conglomerados continentales de canales fluviales, que evolucionan gradualmente hacia arriba a bancos de areniscas macizas, conglomeráticas, arcósicas y hasta saccaroidales, formadas en un amplio ambiente marino transgresivo desde el oeste sobre una plataforma epicontinental.

2.1. Formación Paraguari (Llanvirniano superior)

La Formación Paraguari cubre discordantemente al basamento cristalino y consiste de una sucesión conglomerática de unos 0.5 a 40 metros de espesor (Fig. 32), compuesta predominantemente por cantos de cuarzo de veta y cuarcíticos. Los conglomerados se disponen en bancos macizos con cortos y relativamente empinados intervalos laminados, indicando ambientes deposicionales de abanicos fluviales. Horizontes de areniscas se intercalan irregularmente. Hacia arriba se notifica un paso transicional hacia sedimentos cada vez más finos, incluyendo niveles de arcilla y arcilla caolinítica, señalando la influencia de una inminente amplia transgresión marina.

2.2. Formaciones Co. Jhú/Tobati (Llanvirniano superior - Ashgilliano/Llandoveryano)

La distribución faciológica heterogénea lateral y vertical es característica para las areniscas de Caacupé (Formaciones Co. Jhú/Tobati), depositadas bajo condiciones del avance de una transgresión marina y términos energéticos más altos. La secuencia está compuesta por areniscas arcósicas de color claro, con intercalaciones de tormentitas y llegando hacia arriba a niveles saccaroidales en facies proximales; en disposición concordante encima de conglomerados de Paraguari o en clara discordancia sobre el basamento cristalino (Fig. 31). Siltitas y arcillitas fosilíferas grises indican facies dístales. Las areniscas de Caacupé pueden alcanzar espesores de 230 a 300 metros.

Registros bioestratigráficos son muy escasos. En base a correlaciones con pozos de exploración para hidrocarburos en el Chaco paraguayo, en los cuales se

identificaron en facies más distales fragmentos de *lingula*, *crinoides* y algunos *arthrophycus*, *brachiópodos* y *gastrópodos*, un intervalo estratigráfico desde el Llanvirniano al Llandoveryano es aceptado.

3. **Grupo Itacurubí (Ashgilliano/Llandoveryano - Wenlockiano/Ludlowiano)**

En un ambiente estable y de condiciones marinas progresivas se desarrollan sedimentos del Grupo Itacurubí (Fig. 32) en disposición concordante, con diastemas locales, sobre el Grupo Caacupé. Alcanzan espesores promedios de 200 a 250 metros. Una influencia glacial durante el Llandoveryano, como evidencia en áreas adyacentes ha sido señalada igualmente en el Paraguay oriental.

3.1. **Formación Boquerón** (Llandoveryano)

En el área de Eusebio Ayala afloran secuencias fluvio-glaciales que caracterizan un intervalo sedimentario con discordancias locales entre el Grupo Caacupé y el Grupo Itacurubí, denominadas Formación Boquerón (Fig. 31).

Se subdividen dos unidades litoestratigráficas: hacia la base son constituidos areniscas medianas a gruesas en una matriz arcillosa, mientras que hacia arriba se forman areniscas y tilitas con matriz siltítica, arcillosa o arenosa. Espesores oscilan entre 70 y 100 metros.

Las areniscas en la unidad inferior son macizas, a veces friables, de color blanco a amarillento, de granulometría mediana a gruesa y de matriz arcillosa. Ocasionalmente se observan cantos de cuarzo. Las areniscas son mal seleccionadas, con estratificación irregular en la base pasando a laminaciones paralelas hacia arriba. La granulometría igualmente decrece hacia arriba.

En la unidad superior predominan areniscas de colores claros, de granulometría gruesa y fragmentos subredondeados, mal seleccionadas, caolínicas, con una matriz siltítica, arcillosa o arenosa. Aparecen intercalaciones de conglomerados polimícticos, con cantos estriados, de forma esférica y facetas planas, organizados paralelamente a la dirección de flujos detríticos. Las areniscas

conglomeráticas y tilíticas son relativamente bien estratificados y compuestos por material erosionado y retrabajado.

La heterogeneidad textural de la Formación Boquerón indica ambientes deposicionales fluvio-glaciales.

Es observada localmente una discordancia entre areniscas marinas del Grupo Caacupé y la unidad fluvio-glacial de la Formación Boquerón, señalando un periodo regresivo. Igualmente hacia areniscas playo marinas (transgresivas) de la Formación Eusebio Ayala (Grupo Itacurubí) sobrepuestas existe una discordancia local.

Es indicada de esta manera una ubicación estratigráfica de la Formación Boquerón en el Llandoveryano.

3.2. Formación Eusebio Ayala (Ashgilliano - Llandoveryano medio)

Durante el Llandoveryano, localmente desde el Ashgilliano, se reinicia la sedimentación playo marina del Grupo Itacurubí, con la Formación Eusebio Ayala (Fig. 31).

Areniscas finas a medianas, laminadas, micáceas y multicoloridos dominan la secuencia, en una restringida continuidad lateral. Típicos son anillos secundarios de óxidos (Liesegang). Son registrados abundantes *graptolites*, *ichno- fósiles*, *bivalvos* y *gastropodos*. Características *acritarcas*, *esporas* y *phytoplankton* ubican la formación en el Ashgilliano - Llandoveryano.

3.3. Formación Vargas Peña (Llandoveryano medio - Llandoveryano superior)

Hacia arriba desarrolla en forma concordante una sucesión de pelitas grisáceas a negras con un abundante contenido macro- y micropaleontológico. Estas arcillitas de la Formación Vargas Peña son el horizonte guía para los sedimentos del Paleozoico inferior en la cuenca oriental Chaco-Paranaense, consistiendo en un máximo de transgresión marina somera (Fig. 31 y Fig. 32). Las arcillitas son

intercaladas por areniscas micáceas y horizontes de siltitas de continuidad lateral reducida.

Abundantes *graptolites*, *trilobites*, *bivalvos*, *gastrópodos*, *foraminíferos*, *lamellibranchiatas*, asociados por *chitinozoarios* y *acritarcas* indicativos, ubican a las arcillitas de Vargas Peña en el Llandoveryano.

3.4. Formación Cariy (Llandoveryano superior - Wenlockiano/Ludlowiano)

Areniscas finas, rojizas a amarillentas y siltitas micáceas, finamente laminadas, con un contenido fosilífero abundante, conforman las areniscas de la Formación Cariy en la parte superior del Grupo Itacurubí (Fig. 31). Las condiciones deposicionales firman por un ambiente regresivo marino somero con indicada influencia costera. *Brachiopodos*, *tentaculites* y *gastropodos*, asociados con *chitinozoarios*, *acritarcas* y *tetradés*, caracterizan un intervalo de tiempo desde el Llandoveryano a Wenlockiano/Ludlowiano.

4. Epirogénesis Caledoniana

Es observado en la cuenca Chaco-Paranaense un breve hiatus entre secuencias silúricas y secuencias devónicas. Con términos superiores de las sedimentos silúricos de indicadas condiciones marinas y sedimentos continentales basales de los sedimentos devónicos queda claramente documentada una discordancia estratigráfica entre ambos ciclos deposicionales.

Este evento estructural corresponde a un periodo tectónico compresional en la zona andina al oeste, reflejado en las cuencas aledañas como un suave levantamiento regional generalizado y una siguiente erosión parcial. Las orientaciones tectónicas reflejan lineamientos al noroeste-sureste y noreste-suroeste predominantemente, siendo estas establecidas ya en el basamento cristalino.

Se denomina al episodio tectónico como epirogénesis Caledoniana ubicado en el intervalo desde el Ludlowiano al Pridoliano (Silúrico superior). Este movimiento de suaves plegamientos y débiles fallamientos, acompañado por efectos erosionales orienta la formación de la futura secuencia devónica.

Luego de la fase caledoniana se instala de nuevo la calma tectónica y es retomada la subsidencia de la cuenca Chaco-Paranaense en el Silúrico tardío. Inicialmente se registran depocentros restringidos seguido por una subsidencia generalizada. Así son expresados una extensa cobertura de areniscas básales continentales a playo marinos, sucedidas por amplias arcillitas marinas. No obstante, permanece el ambiente de plataforma deposicional regional reflejado en sensibles cambios de facies a causa de variaciones menores del nivel de mar.

5. **Grupo San Alfredo (Pridoliano - Tournaisiano/Viseano inferior)**

Ya que sedimentos lutíticos devónicos (en particular arcillitas del Eifeliano) representan una importante fuente generadora para hidrocarburos, la secuencia devónica en la cuenca Chaco-Paranaense paraguaya cuenta con una razonable documentación estratigráfica, tanto litológica como palinológica/paleontológica. De esta manera se identifica todo un ciclo transgresivo-regresivo desde el Pridoliano (Silúrico tardío) hasta el Viseano (Carbonífero inferior); Fig. 33.

El ciclo deposicional del Grupo San Alfredo (Chaco paraguayo) limita en una discordancia tectónica-erosiva en su base con el Grupo Cerro León (epirogénesis Caledoniana), mientras que culmina igualmente en una discordancia tectónica-erosiva en su techo con sedimentitas del Grupo Palmar de las Islas (Fig. 34).

Extensos afloramientos devónicos son observados en la Cordillera de San Alfredo y en el macizo del Cerro León (alto de Lagerenza). La sedimentación alcanza espesores entre 1600 hasta 3500 m.

5.1. **Grupo San Alfredo inferior** (Pridoliano - Emsiano); Fig. 34

Pridoliano:

Los sedimentos basales del Grupo San Alfredo se inician con depósitos arenosos en una distribución restringida desde la zona noroeste (Gral. Garay) hacia el sureste (Antequera) conectándose a través del bajo de San Pedro hacia el Paraguay oriental. La distribución limitada dibuja el sustrato discordante y erosionado del Grupo Cerro León infrayacente, permitiendo durante el Pridoliano apenas una sedimentación local y esporádica. La granulometría de las areniscas inmaduras refleja un régimen fluvial/terrestre a transgresivo marino inicial desde el noroeste (pozos Picuiba #1 y Parapití #1) en un ambiente de línea de costa, de plataforma muy somera y con áreas de aporte muy próximos. Hacia niveles superiores se intercalan cada vez más horizontes pelíticos, que permiten por su contenido de *esporas* y *acritarcas* la ubicación de esta secuencia hacia el Pridoliano, pasando gradualmente hacia términos del Devónico inferior.

Espesores registrados oscilan entre los 20 m (Brígida #1) hasta 220 m (Isabel #1) y 366 m (Parapití #1).

Pragian-Emsiano:

La transgresión marina del noroeste iniciada durante el Pridoliano se desarrolla hacia una cobertura amplia de todo el Chaco paraguayo, continuando su influencia progresiva por el bajo de San Pedro hacia el Paraguay oriental.

La transgresión llega a cubrir áreas expuestas y erosionadas durante la epirogénesis Caledoniana que no fueron alcanzadas durante el Pridoliano. Así se reflejan depocentros hacia la subcuenca del Pirity (hasta 900 m de espesor; área pozo Carmen #1) y el alto de Boquerón (hasta 849 m de espesor; área pozo Sta. Rosa #1); mientras que en una zona alta hacia Mcal. Estigarribia se señalan sedimentos de apenas 565 m de espesor (pozo La Paz #1). En general, la sedimentación avanza desde el noroeste (1520 m a 1540 m de espesor; pozos Mendoza #3 y Cerro León #1) hacia parámetros cada vez más playos en el sureste (195 m a 265 m de espesor; pozos Asunción #2 y Asunción #1).

La unidad basal es mayormente pelítica oscura, con una alternancia de areniscas finas a muy finas, amarillentas, pasando hacia niveles superiores más arenosos. Depocentros pronunciados registran mayor participación arcillosa; zonas altas tienen un incremento de aporte arenoso. La heterogeneidad de facies en los

sedimentos pragiano-emsianos es observada sobre todo lateralmente hacia el sureste, de manera que avanza la transgresión. Es así, que la diferenciación hacia la unidad concordantemente infrayacente se vuelve algo difícil. No obstante, la presencia de *leiosferas* y *chitinozoarios* (pozos Don Quijote #1 y Olga #1) es indicativa de un ambiente marino somero; como así también la presencia de *corales*, *briozoarios* y *crinoides* en el Cerro León, apoyados por *favosites* y *tentaculites* (entre otros) en el área de Lagerenza.

5.2. Grupo San Alfredo superior (Eifeliano - Tournaisiano / Viseano inferior); Fig. 34

Eifeliano:

La amplia transgresión devónica del Pragiano-Emsiano alcanza su culminación durante el Eifeliano. El Chaco paraguayo es ampliamente cubierto por un mar calmo y somero, reflejando una diferenciación de depocentros, señalando una suave subsidencia diferenciada.

Hacia la subcuenca de Carandaity se identifica un pronunciado depocentro con sedimentos de espesores hasta 1158 m (pozo Parapití #1); concentraciones hasta 825 m de espesor (pozo Luciana #1) se verifican en el alto de Lagerenza; mientras que hacia el bajo de San Pedro vuelve a aumentar suavemente el espesor de sedimentos eifelianos.

La unidad se constituye por lutitas gris azuladas a negruzcas, de estratificación delgada, con abundantes laminillas de mica y rica en materia orgánica. Intercalan capas delgadas de areniscas arcillosas micáceas. Hacia niveles superiores presentan más intercalaciones arenosas, los sedimentos se vuelven algo oxidados, al igual que aumenta la granulometría de las areniscas. Se señala así una regresión marina iniciada al final del Eifeliano.

La abundancia del macrofósiles representados por *ostrácodos*, *brachiópodos*, *briozoarios*, *crinoides*, *tentaculites*, etc. permite una buena ubicación

estratigráfica. Apoyan la presencia de *esporas* y *acritarcas*; señalando para las lutitas una edad eifeliana. Hacia arriba es marcado un contacto transicional hacia términos más arenosos del Givetiano.

Givetiano:

Los niveles superiores más arenosos del Eifeliano ya indican parámetros regresivos iniciales. Durante el Givetiano se pronuncia la regresión marina, de manera que la litología es cada vez más arenosa; registros de erosión y redeposición de niveles inferiores son observados.

En el Chaco paraguayo permanecen aún depocentros hacia la subcuenca de Carandaity (320 m a 335 m de espesor; pozos Mendoza #3 y Picuiba #1) y la subcuenca de Curupaity (250 m de espesor; pozo Toro # 1). Igualmente hacia el bajo de San Pedro continua la sedimentación (90 m - 150 m de espesor; pozo Asunción #1).

Gran parte del Chaco central desde Fte. Olimpo hacia el Río Pilcomayo no registra niveles givetianos, entendiéndose que la mayor parte de los sedimentos originalmente depositados han sido removidos y eliminados por la exposición y erosión sufridos durante la epirogenesis Eoherciniana posterior. Así lo documentan secuencias givetianas redepositadas en sedimentos del Carbonífero superior (Grupo Palmar de las Islas).

Sedimentos givetianos son constituidos por un conjunto de areniscas finas a muy finas, gris claras a verdosas; parcialmente arcósicas. Intercalan lutitas gris claras a oscuras que tienden a desaparecer hacia niveles superiores. *Esporas* y *pollen* indican ambientes próximos a la costa, mientras que *braquiópodos* señalan zonas marino playas.

Se registra por el contenido fosilífero y la distribución de facies sedimentarias una secuencia regresiva hacia el noroeste, en un ambiente marino playo hacia deltaico, intercalado y sobrepuesto por arcillas lacustres, seguidas por arenas continentales.

Frasniano/Famenniano - Tournaisiano/Viseano inferior:

Son reducidos los sectores en el Chaco paraguayo donde permanecen restos conservados de esta unidad estratigráfica. Representa la fase de regresión marina final del ciclo sedimentario devónico. El evento regresivo hacia el noroeste deja a descubierto la mayor parte de la cuenca paleozóica inferior en el Chaco, que consecuentemente es sometida a una intensa erosión. Influye además en forma pronunciada la epirogénesis Eoherciniana carbonífera, causando levantamientos regionales y acelerando aún más la erosión.

Quedan así conservados sedimentos desde el Frasniano hasta el Viseano inferior en el norte y noroeste del Chaco; como también hacia el bajo de San Pedro. Espesores llegan a alcanzar de 185 m a 240 m (pozos Picuiba #1 y Mendoza #1) en la subcuenca de Carandaity. En la subcuenca del Curupaity son registrados 299 m de espesor (pozo Toro # 1); mientras que hacia el bajo de San Pedro se observan espesores de 50 m a 75 m (pozos Asunción #1 y Asunción #2).

Resaltan en la unidad arcillitas y limolitas impuras con buena estratificación, aunque a veces se presentan disturbados obteniendo aspectos de abánicos fluviales. Son de colores grises a verdosos y violáceos, volviéndose más oxidados hacia niveles superiores (reflejando la avanzada influencia de efectos de intemperismo). Siguen aumentando y predominando hacia arriba horizontes arenosos, de grano fino a conglomerático. Son bien estratificados y de colores blanquecinos a amarillentos.

En análisis palinológico realizado, considerando el contenido de *acritarcas* y *esporas*, permite una identificación bioestratigráfica de los sedimentos desde el Frasniano/Famenniano hasta el Tournaisiano/Viseano inferior (Struniano).

La existencia más bien errática de estos sedimentos en el subsuelo chaqueño orienta ya hacia una fuerte discordancia tectónica-erosiva a causa de la epirogénesis Eoherciniana, que controlara casi todo el periodo del Carbonífero, volviendo a registrarse recién a partir del Westfaliano un nuevo ciclo sedimentario conservado.

6. Grupo San Pedro (Pridoliano - Famenniano/Tournaisiano)

Después de la culminación de la deposición del Grupo Itacurubí en el Paraguay oriental, un episodio de continentalización correlaciona con evidencias de la epirogenesis Caledoniana (Ludlowiano), estableciendo en el Paraguay una amplia plataforma erosional.

6.1. Formación Sta. Elena (Pridoliano - Emsiano)

Sedimentos continentales del Grupo San Pedro inician a partir del Pridoliano un siguiente ciclo deposicional en depocentros originados por efectos tectónicos - erosionales. Una unidad basal clástica consiste de areniscas macizas a entrecruzadas y areniscas conglomeráticas de origen fluvial anastomósico y eólico; la Formación Santa Elena (Fig. 35). La secuencia rojiza - amarillenta presenta una deposición cíclica, separada por delgadas arcillitas y siltitas. Hasta arriba una indicada laminación sigmoidal sugiere condiciones deltaicas y la transición hacia ambientes marinos transgresivos someros con mayor participación arcillosa. Abundantes *ichno-fósiles*, *acritarcas* y *chitinozoarios*, documentados en afloramientos y pozos de exploración, indican un intervalo de tiempo desde el Pridoliano al Pragiano/Emsiano. Los espesores registrados pueden alcanzar 380 a 425 metros en una constancia considerable (pozos Asunción#1 y Asunción# 2).

Pulsos epirogenéticos suaves al final de la fase tectónica caledoniana pueden haber ocasionado localmente durante el Emsiano discretas discordancias en el registro sedimentario. Este suceso no es confirmado claramente en el Paraguay oriental.

6.2. Formación Lima (Eifeliano - Famenniano/Tournaisiano)

En una concordancia sedimentos marinos son observados a continuación desde el Devónico medio al Devónico superior en el Paraguay oriental, en respuesta a

un ascenso continuo del nivel de mar. Un máximo de transgresión marina se constata durante el Frasniano, como indicado por amplias y homogéneas arcillitas negras de la Formación Lima (Fig. 35). Los sedimentos se originan en un mar abierto, manifiestan un alto contenido fosilífero y desarrollan hacia niveles superiores arcillitas litorales, con intercalaciones de siltitas y areniscas. La muy buena correlación regional general factible, confirma la conexión marina desde el Chaco a través del bajo de San Pedro hacia el Paraguay oriental.

Los sedimentos arcillosos marinos del Devónico superior (pozos Asunción #1 y Asunción #2) llegan a registrar espesores de 80 a 110 metros. El inventario bioestratigráfico documenta *chitinozoarios*, *esporas* y *acritarcas* desde el Emsiano hasta el Famenniano. Sedimentos del Devónico tardío se conservan apenas como remanentes erosionales en algunas partes más profundas de la cuenca, siendo cubiertos luego por depósitos glaciales del Carbonífero superior y truncados por una discordancia regional originada por la epirogénesis Eoherciniana carbonífera.

IV. CUENCA PALEOZOICA SUPERIOR

1. Epirogénesis Eoherciniana

El contacto entre sedimentos finales del Grupo San Alfredo/Grupo San Pedro (Devónico superior/Carbonífero inferior) y depósitos iniciales del Grupo Palmar de las Islas/Grupo Cnel. Oviedo (Carbonífero superior) es caracterizado en la cuenca Chaco-Paranaense por una marcada discordancia que se relaciona con la epirogénesis Eoherciniana. Esta discordancia angular es profundamente erosional, removiendo importantes porciones del substrato devónico. Es consecuencia de un levantamiento tectónico regional diferenciado que es perceptible en todo el sur de Sudamérica. Aparecen como origen de la epirogénesis movimientos convergentes bajo un régimen intracontinental.

En el subsuelo de la cuenca Chaco-Paranaense paraguaya se registra la ausencia de sedimentos desde el Famenniano/Viseano inferior hasta el Stefaniano/Westfaliano a causa de la ascensión estructural. Son reactivados en forma diferenciada lineamientos estructurales hacia el noroeste y noreste establecidos ya durante la consolidación del basamento cristalino; resultando en pronunciados bajos y altos tectónicos controlados por fracturas normales (ej. Chaco central, conectándose hacia el noreste con la subcuenca de Curupaity; la acentuación estructural del bajo de San Pedro; Fig. 35a). Por otra parte permanecen casi estables amplias regiones (ej. noroeste del Chaco), registrándose apenas suaves reajustes tectónicos.

Cabe resaltar que el Paleozoico inferior infrayacente no sufre mayor deformación estructural; los registros de fuerte consolidación hasta un suave metamorfismo incipiente son efectos de mayor subsidencia local e influencia tectono-magmática de acontecimientos estructurales meso-cenozóicos.

Hacia el Carbonífero superior se establece de nuevo la calma tectónica; registrándose una amplia subsidencia tranquila en la cuenca Chaco-Paranaense paraguaya, dando origen a una vasta sedimentación carbonífera-pérmica (Fig. 36 y Fig. 37).

La sedimentación relacionada a efectos erosivos durante la epirogénesis Eoherciniana se habría concentrada hacia los depocentros estructurales formados en el Chaco central y hacia el bajo de San Pedro, compuesta por sedimentos heterogéneos de

derrumbes locales, abanicos aluviales o depósitos fluviales-eólicos. Son pobremente documentados y serán integrados en las secuencias carboníferas propiamente dicho.

2. Grupo Palmar de las Islas (Westfaliano/Stefaniano - Kazaniano/Tatariano)

2.1. Formaciones San José/Cabrera (Westfaliano/Stefaniano-Sakmario/Kunguriano)

Importantes afloramientos carboníferos son observados en el norte chaqueño, entre Palmar de las Islas y Gabino Mendoza, reflejando una variedad litológica desde conglomerados y areniscas, hasta arcillitas varvíticas de muy variado comportamiento lateral y vertical. Es así que una subdivisión en dos formaciones es casi inapreciable.

La amplia cobertura de la región del Chaco y la conexión a través del bajo de San Pedro hacia el Paraguay oriental es constatada por perforaciones, registrando espesores desde 150 m a 350 m en la estabilizada subcuenca de Carandaity (pozos Katerina #1 y Emilia #1). En los depocentros del Chaco central y la subcuenca de Curupaity llegan a acumularse entre 400 m a 570 m de sedimentos (pozos Gato #1 y López #1). Hacia el bajo de San Pedro llegan a registrarse de 1150 m a 1225 m (pozos Orihuela #1 y Asunción #2). La ausencia de depósitos carboníferos en el área del Cerro León es resultado de la erosión como consecuencia de levantamientos tectónicos meso-cenozoicos. Llama particularmente la atención el gran volumen de sedimentos depositados en un tiempo geológico breve de apenas 35-40 ma.

Las formaciones carboníferas representan una época terrestre a marina glacial, depositando diferentes ciclos sedimentarios, que por su heterogeneidad no han sido subdivididos aún satisfactoriamente. Así se observan secuencias tilíticas a morenas acompañadas por turbiditas glaciales, sedimentos fluviales y depósitos de planicies de inundaciones. Los materiales depositados se originan de unidades paleozoicas inferiores y áreas cratónicas adyacentes, definiéndose de esta manera unos sedimentos redepositados e inmaduros. El ambiente de sedimentación tiene características de condiciones de amplia plataforma tranquila, bajo parámetros marinas someras, litorales-lagunares hasta terrestres fluviales - lacustres (Fig. 38).

Análisis palinológicos registraron en los pozos Lagerenza #1, Madrejón #1 y Mendoza#1R hacia la base de las formaciones carboníferas abundantes *acritarcas* retrabajadas y redepositadas de origen devónico, señalando la intensa erosión eoherciniana. Estas algas marinas se combinan con típicas *esporas* de plantas continentales del Westfaliano/Stefaniano al Sakmario/Kunguriano (ej. *Potonieisporites* y *Vittatina*) que localmente incluyen *Tasmanites* de ambientes costeros. Se define de esta manera la distribución estratigráfica de las unidades carboníferas en el Chaco paraguayo.

No obstante, debido a las muy variadas facies sedimentarias una subdivisión correlativa se vuelve difícil. Se podría intentar una separación en tres miembros, aunque sin mucha documentación sólida:

- Miembro inferior: Una unidad preferentemente arenosa compone la estratigrafía basal. Registra granulometrías muy finas a medianas y es marcada por entrecruzamientos típicos de canales fluviales (Fig. 39). En intercalaciones arcillosas se presentan característicamente *palinomorfos* devónicos retrabajados. Hacia arriba turbiditas arcillosas son predominantes con niveles de areniscas fluviales. Un ambiente terrestre glacial es indicativo.
- Miembro medio: Es una secuencia muy heterogénea de siltitas, arcillitas y turbiditas con *microfósiles* marinos y *esporas* continentales. Hacia la base aumentan intercalaciones de areniscas fluviales medianas a conglomeráticas. El ambiente refleja planicies periglaciales y alguna influencia marina playa.
- Miembro superior: Predominan turbiditas de origen glacial observadas en superficie particularmente hacia Palmar de las Islas. La presencia de *braquiópodos*, *crinoides* y *pelecípodos* indica la influencia marina. Hacia niveles inferiores son definidos areniscas inmaduras y heterogéneas de origen deltaico-fluvial (Fig. 40).

2.2. Formación Chovoreca (Sakmario/Kunguriano - Kazaniano/Tatariano)

La influencia glacial carbonífera culmina en el Pérmico inferior dejando expuesto gran parte de la región del Chaco a causa del relleno de depocentros estables y el

registro de un suave levantamiento regional. A consecuencia apenas algunas áreas restringidas perfilan la continuación de depósitos sedimentarios. Así, en la subcuenca de Curupaity son observados espesores de 485 m a 530 m de sedimentos pérmicos (pozos Toro #1 y Gato #1). Luego reaparece el registro pérmico en el bajo de San Pedro con espesores entre 480 m y 540 m (pozos Asunción #1 y Asunción #2).

Aislados afloramientos pérmicos son observados entre Chovoreca y Palmar de las Islas (Fig. 37). Son areniscas finas, areniscas arcillosas y bancos calcáreos lenticulares. Las calizas son finamente laminadas, con indicios de origen algal; oolitas son observadas frecuentemente.

Análisis palinológicos han constatado la presencia de *Vittatina*, *Luekisorites* y *Striatites*, entre otros; ubicando estos sedimentos en un intervalo del Sakmario al Tatariano.

El ambiente formacional refleja condiciones de un régimen fluctuante entre planicies costeros y plataforma marina playa. Los parámetros de deposición son muy sensibles a los más mínimos cambios del nivel de mar o de condiciones climáticas. Por esta razón se definen complejas modificaciones de facies, tanto laterales como verticales.

Así, los sedimentos pérmicos corresponden en su base a ambientes de mareas y estuarios, con mayor influencia continental hacia los flancos deposicionales. Predominan areniscas finas a medianas con intercalaciones de siltitas y arcillitas.

Hacia niveles superiores son registrados bahías marinas, progresando luego deltas fluviales y una pronunciada continentalización. El contenido fosilífero define tanto una flora continental, como también sedimentos marinos (*braquiópodos*, *foraminíferas*, remanentes de *peces*, *mesosauros*, etc.) Se alternan arcillitas, siltitas y areniscas multicolores. Características son arcillitas bituminosas, calizas oolíticas y lentes de chert oolítico o amorfo. Una continentalización gradual se manifiesta en la pronunciada oxidación en niveles superiores.

3. **Grupo Coronel Oviedo (Stefaniano - Sakmariano/Kunguriano)**

Durante el Carbonífero los parámetros climáticos y las condiciones tectónicas señalan profundos cambios en la región del Paraguay oriental. Una situación tectónica inestable prohíbe una sedimentación en el área durante aproximadamente 60 ma. El contexto estructural pasa de un margen pasivo al evento epirogenético compresional de la epirogenesis Eoherciniana, evitando la deposición de sedimentos significantes durante la mayor parte del Carbonífero (Famenniano al Stefaniano), favoreciendo a su vez una intensa erosión.

La epirogenesis Eoherciniana ocasiona amplios levantamientos estructurales, arqueando secuencias del Paleozoico inferior (ej. domo de Tavaí y domo de Curuguaty). En el contraste, sistemas de grabens y semi-grabens iniciales se abren en zonas marginales (ej. valle de Acahay). El arreglo tectónico refleja la reactivación estructural de lineamientos establecidos durante el ciclo Brasiliano hacia el noroeste y noreste.

El registro sedimentario indica pronunciadas discordancias angulares entre sedimentos paleozoicos más jóvenes y sucesiones paleozoicas inferiores infrayacentes deformadas (Fig. 41).

La sedimentación paleozoica superior se inicia durante el Carbonífero tardío. El denominado Grupo Cnel. Oviedo es registrado desde el Stefaniano al Sakmariano/Kunguriano. Son alcanzados espesores hasta 1270 metros, depositados en un intervalo de apenas 35-40 ma. En el Paraguay oriental esta unidad puede subdividirse en una facie deposicional regional arenosa (areniscas de Aquidabán) y una amplia facie diamictítica (diamictítas de Cnel. Oviedo). Ambas facies se interdigitan y dan a conocer un complejo concepto estratigráfico. Además son diferenciadas formaciones y facies locales (ej. Ybytymí).

El Grupo Cnel. Oviedo representa una mayor sucesión glacial combinada (terrestre-marina) depositada en ciclos sedimentarios diferentes, observados como secuencias tillíticas y morenas, acompañados por material de avalanchas glaciales, sedimentos de planicies de erosión y zonas de inundación. En el Paraguay oriental la glaciación cubrió y rodeó áreas subcratónicas y zonas de secuencias paleozoicas inferiores aflorantes, generándose así el material erosional a ser depositado en regiones basinales

adyacentes. Un aumento del espesor de los sedimentos se registra hacia los depocentros existentes, controlados por la superficie devónica irregular.

3.1. Diamictitas Cnel. Oviedo (Stefaniano - Sakmario/Kunguriano)

Áreas sumergidas hacia el interior de la cuenca Chaco-Paranaense en el Paraguay oriental recopilan sedimentos predominantemente originados por morenas, en un ambiente terrestre glacial, que pasan hacia niveles superiores a ser condicionados por influencia marina somera. En una morfología de planicie la secuencia heterogénea registra hacia términos basales arcillitas/siltitas con boudinage, de laminación fina y coloraciones de verdoso-gris a blanco amarillento. Acompañan lomadas compuestas por areniscas limpias con abundantes dropstones, algunos conglomerados tillíticos y siltitas. La secuencia indica hacia una deposición glacial terrestre, asociada con planicies de drenaje con ríos trezados y zonas de inundaciones.

Continúan hacia arriba arcillitas, varvitas y siltitas con abundantes nódulos de arcilla, acompañados por areniscas con altos contenidos de dropstones. Los sedimentos indican una deposición deltáica con ríos trezados.

Son guías biostratigráficas el registro de esporas del tipo *potonieisporites* en niveles inferiores, representando una flora continental, mientras que hacia niveles superiores aumenta el contenido de esporas del tipo *tasmanites*, indicando ambientes marinos playos (Fig. 42). De esta manera se ubican las diamictitas de Cnel. Oviedo en un intervalo estratigráfico desde el Stefaniano al Sakmario/Kunguriano (Fig. 43). Los sedimentos registran espesores de 530 a 670 metros.

3.2. Formación Ybytymí (Stefaniano - Kunguriano)

Depocentros locales (ej. valles tectónicamente estructurados) revelan características sedimentarias locales; tal como expuesto en el valle Acahay. Aquí, la Formación Ybytymí es de color rojizo, con una granulometría fina a muy fina en la base y se encuentra íntimamente laminada. Es indicativo el contenido de remanentes de plantas terrestres en forma de abundantes maderas silicificadas.

En perforaciones se han registrado floras continentales de *potonieisporites* y *plicatipolenites* y fósiles devónicos retrabajados (Fig. 42).

Hacia arriba la secuencia se vuelve cada vez mas gruesa, pasando de areniscas macizas hacia areniscas conglomeráticas de pobre selección. Son depósitos afosilíferos, mal compactados por la falta de una matriz de cemento y con cierta laminación interna del tipo fluvial.

3.3. Formación Aquidabán (Stefaniano - Sakmariano/Kunguriano)

Las areniscas hacia el noreste del Paraguay oriental registran depósitos de abanicos aluviales y ríos trenzados, retrabajando unidades expuestas en áreas de influencia. Un ambiente continental es caracterizado por areniscas arcillosas finas y rojizas hacia la base, conteniendo remanentes de plantas terrestres. La flora continental es definida por guías de *potonieisporites* y *plicatipolenites*; material fosilífero devónico retrabajado es común. La secuencia aumenta de granulometría hacia arriba, alcanzando areniscas macizas y conglomeráticas (Fig. 41). Espesores registrados alcanzan hasta 400 - 600 metros.

4. Grupo Independencia (Sakmariano/Kunguriano - Kazaniano/Tatariano)

La influencia glacial prevalente durante el Carbonífero superior en el Paraguay oriental cesa hacia términos del Pérmico inferior. El ambiente deposicional pasa a parámetros fluctuantes de planicie costera y plataforma marina somera (Fig. 44). El ambiente es extremadamente sensible a los más mínimos cambios de nivel de mar y de clima. Las secuencias depositadas bajo estas condiciones registran fuertes cambios de facies laterales y verticales, de espesores y de desarrollo de ciclos sedimentarios; referidos como el Grupo Independencia desde el Sakmariano/Kunguriano - Kazaniano/Tatariano (Fig. 43).

4.1. Formación San Miguel (Sakmariano - Kunguriano/Kazaniano)

El Grupo Independencia se inicia con la Formación San Miguel. Registros palinológicos establecen una zona *vittatina* continental con participación local de una asociación marina somera de *tasmanites*. Los sedimentos se acumulan en

ambientes mesotidales a macrotidales costeros a marino playos y zonas de estuarios en un mosaico complejo de facies deposicionales (Fig. 44).

Las condiciones formacionales reflejan suaves pulsos marinos regresivos en un intervalo de lenta transgresión regional. Facies más continentales son constatadas al oeste, hacia límites deposicionales, mientras que facies playo marinas a deltáicas son representadas mas hacia el este y sureste (Fig. 45).

Predominan areniscas medianas a finas, de colores grises a blanco-amarillentos, de muy buena porosidad y permeabilidad. Son intercalados siltitas, arcillitas y horizontes de nódulos de arcillas. Alcanzan 50 a 570 metros de espesor, aumentando hacia el este.

4.2. Formación Tacuary (Kunguriano/Kazaniano - Tatariano)

Hacia niveles superiores del Grupo Independencia se registra el máximo de una suave transgresión playo marina, iniciando subsecuentemente una inmediata amplia regresión en el Paraguay oriental. El conjunto complejo de facies deposicionales es definido como Formación Tacuary. Registros palinológicos dan a conocer una concentración de flora continental (zona *striatites*), característica para el Kazaniano.

La macroflora es representada por maderas petrificadas del tipo *osmundites*, *guairea*, *dadoxylon*, *megasporas* y otros. *Brachiopodos*, *ostrácodos*, *pelecípodos*, *foraminíferos*, *lamellibranchiatas* y remanentes de *peces* han sido reportados. De indicada importancia es el hallazgo de restos de *mesosaurus tumidus cope sp.*, localizados al oeste y norte de Villarica.

Los ambientes formacionales de la Formación Tacuary son interpretados en condiciones de bahías marinas playas, de diferenciada profundidad y salinidad. Alcanzan hacia niveles superiores sistemas deltáicos progresivos y una pronunciada continentalización, incluyendo una participación eólica esporádica.

En una distribución vertical y lateral de cambios facielógicos muy cambiantes se depositan arcillitas, siltitas, areniscas y margas. Son características

intercalaciones de arcillitas bituminosas con sulfatos diagenéticos, calizas oolíticas pelíticas con abundantes bivalos, y lentes/nódulos de chert silíceo (Fig. 46). A parte, en niveles inferiores predominan condiciones reductantes; secciones superiores se formaron bajo condiciones frecuentemente oxidantes. Espesores registrados varían desde 230 a 405 metros (Fig. 47).

Los sedimentos de la Formación Tacuary son muy ricos en estructuras sedimentarias, principalmente de origen singenético, muchas de ellas de carácter vectorial, permitiendo indicar las condiciones genéticas.

Resalta la componente oolítica, que indica transportes relativamente cortos, bajo condiciones energéticas altas, en bahías someras y bien temperadas.

Muy frecuentes son estratificaciones entrecruzadas planares, que consisten de conjuntos cuyas superficies de contactos inferiores son planos de erosión. Forman ángulos inferiores a 20° y de 3 a 4 niveles en bancos de 0,5 a 1,0 m de espesor.

Se observan paralelamente laminaciones cruzadas con marcas de ondulación sin gradación visible, acompañadas por películas delgadas de arcillitas.

Marcas de ondulaciones asimétricas son muy comunes, de amplitudes variables, cambiando de 2 a 3 mm hasta 5 cm, indicando igualmente condiciones energéticas altas.

Grietas de contracción poligonal son comunes sobre planos de disecación, pronunciados en calcáreos impuros, con altos tenores de arcillas, alcanzando diámetros de 8 a 30 cm.

Como efectos de compactación y removilización inicial se observan abundantes formaciones estilolíticas muy variadas. Concentran particularmente óxidos de hierro en sus planos, resaltados por colores rojizos y negros.

Marcas de sobrecarga sedimentaria del lodo calcáreo original son comunes.

Concreciones de sílice amorfa (chert) se disponen en forma paralela a las estructuras sedimentarias. Son de origen infrasedimentario-diagenético, en

relación a la solubilidad de SiO_2 , temperaturas elevadas y un pH por encima de 8. Las concreciones forman nódulos, lentes o capas muy heterogéneas.

Típicas son breccias sedimentarias, que resaltan por su coloración amarillenta, resultado de una oxidación sufrida, más intensa que el sedimento original.

La gran variedad de estructuras sedimentarias primarias y la naturaleza oolítica de los carbonatos de estos sedimentos aloquímicos indican un ambiente deposicional de alta energía. La existencia de grietas de contracción indican aguas muy someras, donde los sedimentos son expuestos frecuentemente a condiciones aéreas, sufriendo consecuente disecación. La distribución en lentes de las capas calcáreas señalan paleocorrientes hacia el sureste. La abundancia de concreciones de sílice sugieren la presencia de tenores altos de SiO_2 provenientes principalmente de arcillitas intercaladas.

V. CUENCA MESOZÓICA

Un suave reajuste epirogenético durante el Triásico (Scythiano) causa una casi imperceptible discordancia en la cuenca Chaco-Paranaense entre sedimentos continentales fluviales a eólicos asociados a secuencias lacustres locales del Mesozoico y el Pérmico infrayacente.

1. Ciclo Sudatlántico

Durante el Mesozoico se evidencia en la cuenca Chaco-Paranaense un evento tectónico distensional mayor: el ciclo termo-tectónico Sudatlántico (230-65 ma). A este período corresponde la deposición del Grupo Purity inferior en la subcuenca de Purity, la Formación Adrián Jara en la subcuenca de Curupaity, la Formación Cabacué y el Grupo Alto Paraná en la cuenca del Paraná, y el Grupo Asunción en la parte central paraguaya. El desarrollo tectono-sedimentario principal involucra el intervalo geológico del Cretácico inferior al Paleoceno inferior.

1.1. La tectónica distensional mesozoica marca en el Chaco una profunda reactivación y extensión de lineamientos del suroeste al noreste pronunciados durante la epirogenesis Eoherciniana. En particular, el depocentro que conectara del Chaco central a la subcuenca de Curupaity se extiende y se acentúa hacia el suroeste, abriendo la subcuenca de Purity (Fig. 48 y Fig. 49). Lineamientos paralelos al sureste aceleran la formación de la subcuenca de Pilar.

Lineamientos estructurales perpendiculares hacia el noroeste quedan casi estables, controlando apenas una gentil subsidencia en el bajo de San Pedro en el Paraguay oriental. Todo el noroeste del Chaco queda expuesto, aportando extensos volúmenes de material detrítico erosionado al relleno de los nuevos depocentros.

Apenas en el área del alto de Lagerenza se perfila un suave levantamiento regional hacia el noroeste, iniciando la formación de una estructura anticlinal, que

se activara de manera acentuada durante el Cenozóico, exponiendo secuencias paleozóicas.

Acompañan a la tectónica distensional magmatitas básicas y alcalinas locales 253 - 223,7 ma, 135-108 ma y 70±5 ma.

Una breve transgresión marina se registra en el Cretácico superior del suroeste hacia la subcuenca de Purity.

De importante relevancia se acentúan durante el ciclo Sudatlántico distensional lineamientos de fallas, ya que orientan el modelado y la evolución de los elementos geotectónicos mesozoicos. Poseen orientación general al noreste-suroeste. Son fracturas individuales y paralelas de variable extensión. Son del tipo normal subvertical y generan bloques escalonados y hundidos diferencialmente en dos juegos paralelos, formando así la fosa tectónica de la subcuenca de Purity.

La subcuenca de Purity es una depresión tectónica casi rectangular (Fig. 49 y Fig. 50). Su estructuración por esfuerzos tectónicos distensionales diferenciados genera una asimetría transversal y longitudinal. Así, la zona de mayor descenso se localiza próximo al margen norte (zona del pozo Berta #1), mientras que se acuña hacia el noreste (zona del pozo Nazareth #1).

Altos estructurales limitan la fosa tectónica de la subcuenca de Purity. El alto de Pte. Hayes al sureste revela relieves estructurales muy acentuados evidenciando esfuerzos tectónicos más intensos; mientras que el alto de Boquerón al noroeste revisa esfuerzos más suaves y relieves estructurales menos pronunciados.

- 1.2. Desde el Triásico y acentuándose al Cretácico superior el levantamiento tectónico termal regional evoluciona en el Paraguay oriental hacia la intensa fase tectónica pervasiva distensional del ciclo Sudatlántico. El estilo tectónico corresponde a la reactivación de estructuras establecidas durante el período termo-tectónico Brasiliano. En el Paraguay nororiental dominan lineamientos al noreste (sistemas de P.J. Caballero y Cap. Bado); mientras que en el Paraguay suroriental son intensamente reactivadas estructuras al sureste (sistemas de Asunción y San Ignacio).

La ruptura tectónica durante el ciclo Sudatlántico resulta en una intensa distensión estructural (ej. rift de Asunción) y un pronunciado fracturamiento (ej. parte inferior de la cuenca del Paraná), causando la separación y un basculamiento diferenciado de bloques tectónicos, evidenciando un mayor hundimiento en la parte central de la cuenca del Paraná.

El resultado del ciclo termo-tectónico Sudatlántico distensional es una reorganización estructural radical en la imagen geotectónica del Paraguay: La intensa tectónica distensional y el relacionado ascenso de voluminosas magmatitas definen el colapso y la ruptura definitiva de la cuenca Chaco-Paranaense. La cuenca sedimentaria Chaco-Paranaense con sedimentos paleozoicos-mesozoicos, depositados en una plataforma epicontinental desde el oeste y acunándose hacia el este (Escudo Brasileño), interrumpido apenas por los subcratones Río Apa y Río Tebicuary llega a su fin. El hundimiento de la cuenca del Paraná durante el Cretácico, marcando una dirección al noreste-nornoreste (Cuenca hidrográfica Río Paraná), remodela la imagen estructural regional, creando a partir de este intervalo un ambiente de subsidencia separado.

Quedan separadas desde el Cretácico la cuenca del Paraná al este y la cuenca del Chaco al oeste. Ambas cuencas permanecen conectadas a través del bajo de San Pedro, aunque revisando registros estratigráficos individuales a partir del Mesozoico superior.

La fase tectónica distensional mesozoica es considerada como el más importante periodo en la consolidación de las unidades geo-estructurales finales de la cuenca del Chaco y la cuenca del Paraná.

2. Magmatitas sieníticas (Kazaniano - Anisiano)

A lo largo del alto Río Paraguay, entre Vallemí y Fuerte Olimpo se manifiesta una provincia de magmatitas alcalinas, que se relacionan al evento magmático inicial, correspondiente al ciclo termo-tectónico Sudatlántico desde el Pérmico superior al Triásico medio.

La provincia alcalina del Alto Paraguay se concentra en un conjunto de complejos expuestos en el área de Pto. Coeyú sobre el Río Paraguay.

La ocurrencia más prominente es el Cerro Siete Cabezas al oeste del Pto. Tres Palmas. El cerro es una estructura anular asimétrica con 2 km de diámetro acompañada por diques de orientación radial. Se asocian dos cuerpos satélites menores al sur, elongados al este-oeste.

En el área de Pto. Coeyú aparecen cerros semicirculares como islas en el Río Paraguay y hacia la planicie chaqueña. Pertenecen al centro magmático del Fecho dos Morros en territorio brasileño, que se compone de tres complejos anulares intrusivos de 5,3 km a 8 km de diámetro respectivamente. Acompañan satélites intrusivos (Cerro Boggiani) y abundantes diques radiales. Resalta la complejidad tectónica de una repetida reactivación estructural sobre una definida orientación al noreste-suroeste.

En el área de Fte. Olimpo son expuestos algunos diques intrusivos mayores. Hacia el sur se observa el Cerro Las Tres Marías; hacia el norte se manifiesta el Cerro Barrero. Igual que en el área de Pto. Coeyú se evidencia claramente la orientación estructural hacia el noreste.

Petrográficamente los magmatitas de la provincia alcalina del Alto Paraguay se clasifican en intrusivas de tendencia a sienitas y sienitas nefelínicas, acompañadas por extrusivas de tendencia a traquitas y traqui-fonolitas. Por el otro lado son exclusivamente intrusivas sieníticas nefelínicas con extrusivas fonolíticas (Fig. 59).

Geoquímicamente se observa una clara afinidad sódica con participación potásica subordinada. Además se puede diferenciar una agrupación insaturada y otra sobresaturada. Así, el área de Pto. Tres Palmas señala una composición transicional, con el Cerro Siete Cabezas en estado insaturado, los cuerpos satélites sobresaturados y los diques de tendencia ácida.

Magmatitas hacia Pto. Coeyú distinguen composiciones insaturadas a saturadas en facies intrusivas pegmatoides; mientras que facies extrusivas llegan hasta condiciones peralcalinas. El satélite del Cerro Boggiani marca una naturaleza insaturada.

Los diques en Fte. Olimpo por su parte presentan caracteres saturados a ligeramente sobresaturados, con predominancia del tipo ignimbrítico.

Aparentemente las rocas básicas-alcálinas en la provincia alcalina del Alto Paraguay se originaron de un solo magma del tipo pulaskítico, que derivara por fraccionamiento de una fuente del manto de naturaleza traquítica, emplazándose en múltiples fases magmáticas, llegando a niveles desde relativamente ácidos a peralcalinos, y en una ubicación estructural favorable cercana al basamento cristalino (subcratón Río Apa).

Las magmatitas reflejan edades radiométricas del Kazaniano al Anisiano: Sienitas del Cerro Siete Cabezas indican $253,4 \pm 12,5$ ma K/Ar; la zona central en Pto. Coeyú revela $225,8 \pm 5,9$ ma Rb/Sr, $248,3 \pm 5,3$ ma K/Ar y $253, 2 \pm 9,2$ ma K/Ar; mientras que el satélite Cerro Boggiani afirma $223,7 \pm 3,9$ ma Rb/Sr y $234,0 \pm 9,0$ ma K/Ar. La edad absoluta de los diques en Fte. Olimpo aún no ha sido satisfactoriamente analizada; el modelo de un origen proterozóico podría señalar hacia la roca encajante.

3. **Formación Cabacué (Anisiano - Rhaetiano)**

El suave reajuste epigenético durante el Triásico inferior ocasiona en la cuenca del Paraná una discordancia poco expresada entre depósitos pérmicos y sedimentos sobreyacentes de origen continental fluvial a eólico, asociados con secuencias locales de ambiente lagunar; la Formación Cabacué (Fig. 56). Registrados son areniscas blancuzcas a rojizas y conglomerados locales en bancos o entrecruzados, e intercalaciones de arcillitas. Casualmente se observa una base regolítica.

Los parámetros de deposición varían desde condiciones subhúmedas continentales hasta regímenes semiáridos. Espesores de 150 a 210 m han sido registrados. Un intervalo de tiempo desde el Anisiano al Rhaetiano es definido, en base a una forma característica de *Terapsidia*, *Dicroidium* y *Rhycocephalia* (insuficientemente documentada en Paraguay oriental).

Las estructuras sedimentarias más comunes son estratificaciones entrecruzadas y de canales, con características planoparalelas en porciones siltíticas arcillosos.

Conchostraceos, *ostrácodos* y *madera silicificada*, además de remanentes bioestratigráficos mal definidos, señalan una edad desde el Triásico medio al Triásico superior.

Los sedimentos de la Formación Cabacué son típicamente fluviales de planicie, de estructuras anastomósicas y errantes, formando ciclos deposicionales de sequía y de desbordes. Las areniscas son muy uniformes, pobres en minerales pesados, indicando su origen de sedimentos retrabajados. Siltitas y arcillitas son poco expresivas, siendo formadas en pequeñas lagunas.

4. Formación Adrián Jara (Jurásico inferior - Eoceno superior)

Areniscas friables, mal seleccionadas con intercalaciones conglomeráticas y arcillosas multicolores de la Formación Adrián Jara se encuentran depositadas en la subcuenca de Curupaity, en la zona de Adrián Jara (Chaco norte); Fig. 53. Remanentes de la formación son observados en el área del Cerro Cabrera (Fig. 40) y alrededores (región noroccidental del Chaco). Espesores entre 55 y 200 m son reportados (pozo Toro #1).

Los sedimentos son generalmente macizos, a veces con entrecruzamiento fluvial. Muy común es un cemento ferruginoso a calcáreo; nódulos silíceos son incluidos.

Las características continentales fluviales a eólicas con influencia lacustre señalan un ambiente de amplia sedimentación terrestre que podría haberse iniciada ya en el Triásico medio, en correlación a la Formación Cabacué en el Paraguay oriental. La unidad se podrá identificar litoestratigráficamente con depósitos del Jurásico inferior al Eoceno superior.

Al sur del Chaco se registran secciones basales hacia la subcuenca de Purity, que yacen discordantemente sobre el Paleozoico en los bordes de la depresión tectónica. No hay una definición exacta de estas unidades observadas en los pozos Anita # 1 y Berta #1 (flanco noroeste) y en los pozos Palo Santo # 1 y Gloria # 1 (flanco sureste); señalarían hacia abanicos aluviales de relleno de la fosa estructural.

5. Grupo Purity inferior (Jurásico inferior - Eoceno superior)

La subcuenca de Purity en el Chaco acumula con el Grupo Purity una secuencia sedimentaria que llega a 3600 m de espesor, involucrando un intervalo geológico del Jurásico inferior al Pleistoceno inferior. El potente paquete sedimentario rellena

principalmente la depresión tectónica creada durante el ciclo Sudatlántico. La formación de la fosa estructurada permite diferenciar etapas de movimientos tectónicos y sus unidades estratigráficas respectivas (Fig. 50 y Fig. 51). Así se divide el Grupo Pirity inferior (Jurásico inferior - Eoceno superior) relacionado a la estructuración de la depresión propiamente dicha y el Grupo Pirity superior (Eoceno superior - Pleistoceno inferior).

El Grupo Pirity inferior es subdividido en tres formaciones vinculadas a fases de subsidencia diferenciada. En la integración de la secuencia participan sedimentos continentales y marinos, además de magmatitas extrusivas e intrusivas contemporáneas.

5.1. Formación Berta (Jurásico inferior - Cretácico superior)

En el período del Jurásico inferior al Cretácico superior la subcuenca de Pirity alcanza su máxima configuración como fosa tectónica. Paralelamente rellenan sedimentos terrestres de la Formación Berta con espesores de 500 m a 675 m (pozos Nazareth # 1 y Berta # 1) la depresión; Fig. 50.

La subsidencia controlada por enjambres de fracturas subparalelas hacia los altos de Boquerón y Pte. Hayes registra velocidades muy acentuadas y una cierta asimetría al flanco noroeste. Los altos adyacentes son sometidos a una intensa erosión, transformándose en fuentes de los sedimentos de relleno de fosa.

La sedimentación es continental y restringida a la fosa tectónica. El ambiente deposicional es de abanicos aluviales, redes fluviales trenzados, con alguna influencia lacustre y eólica. Son observadas areniscas rojas heterogéneas, con intercalaciones de arcillitas y algún cemento calcáreo/anhidrido. El aporte de los sedimentos es lateral desde los altos contiguos. Además se registra un drenaje longitudinal desde el noreste (áreas altas del subcratón Río Apa).

Análisis palinológicos de la subcuenca de Pirity indican edades del Coniaciano. Mientras que edades absolutas de magmatitas básicas amigdaloidales acompañantes sugieren 126 ± 5 ma a 126 ± 3.5 ma K/Ar (Cretácico inferior).

Las secuencias se apoyan sobre diferentes niveles paleozoicos a través de una discordancia angular.

5.2. Formación Palo Santo (Cretácico superior - Paleoceno inferior)

El desarrollo de la Formación Palo Santo en la subcuenca de Pirity marca la culminación de su evolución tectónica. En este periodo se registra un ciclo sedimentario marino (Fig. 52 y Fig. 53). La sedimentación desborda característicamente el área de la subcuenca propiamente dicha, cubriendo partes de los flancos aledaños e indicando una subsidencia también en regiones de los altos estructurales limitantes. La subcuenca mantiene su carácter asimétrico hacia el noroeste, formando al mismo tiempo depocentros y altos internos diferenciados. Así en la zona de los pozos Anita #1 y Carmen #1 (399 m y 358 m de espesor respectivamente) en el flanco noroccidental se desarrolla el mayor espesor sedimentario; mientras que en el área del pozo Berta # 1 son depositados apenas 90 m de secuencia.

5.2.1. La ingesión marina produce una retracción del ambiente terrestre hacia el noreste (zona entre los pozos Gloria #1 y Tte. Acosta #1). Se desarrollan así dos ambientes sedimentarios (continental-marino) contemporáneos y estrechamente relacionados. Sedimentos fluviales de planicie y alguna influencia lacustre son señalados en areniscas claras intercaladas por niveles arcillosos en una unidad basal.

Raros registros fosilíferos y edades absolutas en magmatitas básicas inyectadas (70 ± 5 ma K/Ar) aportan a la identificación estratigráfica.

5.2.2. Los depósitos marinos se constituyen en zonas proximales por calcáreos, dolomitas y terrígenos, con marcada influencia continental (pozos Tte. Acosta # 1 y Nazareth # 1). En zonas distales predominan pelitas calcáreas y dolomíticas con un aumento de evaporitas en niveles superiores. Los sedimentos contienen una nutrida asociación de registros fósiles: *ostrácodos*, *pelecípodos*, *pollen* y *flagelatas* han sido documentados en los pozos Carmen # 1 y Berta # 1. *Estromatolitos* son

distinguidos hasta en perfiles sísmicos. Hacia el suroeste (subcuenca de Olmedo, Argentina) han sido reportado además *peces, anfibios, cocodrilos, dinosaurios, mamalias*, entre otros.

El ambiente deposicional de esta unidad media refleja una cuenca carbonática restringida, con condiciones calcáreas y baja salinidad de un mar transgresivo del suroeste y sin conexión permanente hacia un mar abierto.

La relación estratigráfica varía según ubicación en la subcuenca. Hacia los bordes los contactos son claros hasta discordantes; hacia el centro son transicionales.

- 5.2.3. Hacia niveles superiores la Formación Palo Santo se caracteriza por una continentalización progresiva. Se marca así la desvinculación definitiva hacia un mar abierto, aunque persiste en la subcuenca de Purity la subsidencia regional. Así se nota en el noroeste, e incluyendo el alto de Boquerón, un pronunciado hundimiento y una amplia cobertura sedimentaria. Hacia el sureste, y participando el alto de Pte. Hayes, la subsidencia es más basculada, controlada por bloques fallados existentes.

Los sedimentos indican hacia el centro de la subcuenca un ambiente fuertemente evaporítico, con la precipitación de horizontes de sal, yeso y bancos dolomíticos en una planicie lacustre de evaporación.

Hacia los bordes se observan areniscas fluviales que se interdigitan con arcillitas con nódulos de yeso y halita. Raros *palinomorfos* y *pelecípodos* (pozos Carmen # 1 y Berta # 1) documentan condiciones de disecación y continentalización.

5.3. Formación Sta. Bárbara (Paleoceno inferior - Eoceno superior)

- 5.3.1. Evoluciona en la subcuenca de Purity durante el Terciario inferior una planicie de un amplio ambiente lacustre y fluvial; íntimamente relacionado (Fig. 53). Arcillitas rojas a verdes engranan hacia los bordes con

areniscas rojas. Típicas intercalaciones de pelitas calcáreas oscuras (franja gris) constituyen un intervalo de rápida inundación lacustre. La asociación de condiciones complejas en el miembro inferior de la Formación Sta. Bárbara documenta llanuras de inundaciones y costeras lacustres, sedimentos lacustres someros y profundos, y abanicos aluviales en un ambiente árido caluroso.

El ambiente de planicie amplia se registra también en espesores promedios de 214 m a 495 m (pozos Nazareth # 1 y Berta # 1).

Escasos testimonios paleontológicos en el pozo Palo Santo #1 constituidos por *braquiópodos* y *gastrópodos* señalan la edad paleocena-eocena.

- 5.3.2. Avanza la sedimentación hacia un ambiente eminentemente lacustre y calmo, con arcillitas, siltitas, fangolitas y limos, con intercalaciones de niveles calcáreos y esporádicas arenas. Hacia los márgenes de la subcuenca de Purity continúa el desarrollo de sedimentos fluviales.

La deposición calma registra espesores de 140 m a 240 m (Carmen # 1 y Berta # 1). Una edad paleocena es indicada por análisis de *pollen* en el pozo Palo Santo # 1.

- 5.3.3. Culmina la Formación Sta. Bárbara con una acelerada subsidencia acompañada por una amplia expansión de la sedimentación. Espesores entre 1280 m hasta 1493 m son documentados (pozos Tte. Acosta #1 y Nazareth #1), señalando una mayor acumulación hacia el margen norte de la subcuenca de Purity (desde el pozo Anita #1 hasta el pozo Nazareth #1), reflejando una mayor subsidencia hacia el flanco noroeste y el alto de Boquerón. Mientras; el flanco sureste y el alto de Pte. Hayes no refleja alguna subsidencia significativa.

El ambiente deposicional cambia drásticamente hacia una sedimentación fluvial de llanura de inundación de alta sinuosidad; apenas en centros restringidos continúa la influencia lacustre y hacia los bordes persiste el efecto de redes fluviales de mayor energía. Ciertos episodios predominantemente lacustres se caracterizan por pelitas calcáreas gris

verdosas con niveles oolíticos (franja verde), que son excelentes horizontes guía (Fig. 54).

Abundan areniscas finas oxidadas con intercalaciones de arcillitas y fangolitas. Marcadas estaciones secas favorecen el desarrollo de frecuentes concreciones de yeso y halita.

Debido al régimen subsidente hacia el noroeste es aceptada la implantación de una red fluvial desde el sureste (alto de Pte. Hayes) con una pendiente regional hacia el noroeste.

La correlación litoestratigráfica permite una ubicación de este miembro hacia términos del Eoceno inferior a superior.

Con la Formación Sta. Bárbara termina el ciclo tectono-sedimentario del Grupo Pirity inferior relacionado esencialmente al ciclo estructural Sudatlántico en la subcuenca de Pirity en el Chaco paraguayo (Fig. 55).

Cabe recalcar que la estructuración de la subcuenca se ha mantenida asimétrica durante toda su evolución, quedando preferentemente acentuado el flanco noroeste.

5.4. Magmatitas básicas-alcálinas (Jurásico superior - Paleoceno inferior)

El periodo tectónico distensional del ciclo Sudatlántico (230-65 ma) que motivara una profunda reactivación y extensión de lineamientos estructurales principalmente del suroeste al noreste en la cuenca del Chaco se ve acompañado por el emplazamiento de magmatitas básicas-alcálinas (Fig. 56). Las magmatitas, aprovechando un ascenso a lo largo de pronunciados fracturamientos forman conos intrusivos, enjambres de diques y derrames basálticos locales.

En el Chaco paraguayo son distinguidos dos principales áreas con magmatitas mesozoicas: el alto de Itapucumí y la subcuenca de Pirity. Ocurrencias de diques diabásicos en el Cerro León carecen aún de una investigación más detallada.

5.4.1. Alto de Itapucumí: Son referidos magmatitas ubicadas en el área de Vallemí/Pto. Casado. Sedimentos calcáreos del Grupo Itapucumí (Neoproterozoico - Cámbrico inferior) son expuestos en remanentes como bloques basculados y fuertemente fracturados hacia el noreste y noroeste, a causa del evento tectónico Sudatlántico distensional. La activación estructural ha facilitado el emplazamiento de diques diabásicos-lamprófidos y de coladas basálticas locales (Fig. 57). Las magmatitas causaron alguna localizada ferro-dolomitización, recristalización y silicificación en los sedimentos calcáreos.

Diques lamprófidos del tipo minette han invadidos forzosamente fracturas, fisuras y cavidades en los sedimentos calcáreos-arcillosos. Fenocristales de biotita, diópsido, apatita y olivina acentúan el emplazamiento rápido caracterizado.

Diques y coladas basálticos son inyectados en sistemas de fracturas y a lo largo de planos sedimentarios. Son observados niveles inferiores afaníticos, volviéndose amigdaloidales hacia arriba, con tendencia sanidínica. Se clasifican desde traquibasaltos, traquiandesitas hasta traquitas.

Edades radiométricas en micas de diques lamprófidos señalan 143 ± 3 ma K/Ar (Jurásico superior); Fig. 58.

Ya que basaltos y diabasas documentan una fase magmática inicial relacionada a pulsos efusivos durante el ciclo Sudatlántico, los lamprófidos más bien representan niveles de diferenciación magmática avanzada, señalando hacia una fracción ultramáfica alcalina con enriquecimiento relativo en sílice y volátiles. Estas magmatitas restantes y muy móviles invaden fácilmente hacia fracturas y fisuras.

5.4.2. Subcuenca de Pirity: Acompañando el intenso fracturamiento y la tectónica distensional mesozoica que originara la subcuenca de Pirity, se

emplazan magmatitas básicas-alcálinas, registrando edades del Cretácico inferior al Paleoceno inferior (Fig. 50).

Se diferencian tres pulsos magmáticos: Un primer pulso (130-100 ma) corresponde a rocas saturadas a sobresaturadas. Intrusivas documentan sienodioritas y sienogabros, mientras que efusivas reflejan traquitas, traquibasaltos y basanitas. En el pozo Palo Santo #1 se perforaron sienogabroides alterados, revelando edades de $126 \pm 3,5$ ma K/Ar (Cretácico inferior); traquibasaltos fueron alcanzados en el pozo Nazareth #1. Mientras que las magmatitas inyectaron en el pozo Nazareth #1 a sedimentos de la Formación Berta, en el pozo Palo Santo #1 son afectados niveles de la Formación Palo Santo inferior.

Un segundo pulso magmático corresponde al período de 80-75 ma (Cretácico superior), compuesto por una suite efusiva básica-alcáalina, encontrándose basaltos alcálinos, basanitas hasta fonotefritas. Secciones sedimentarias afectadas por las magmatitas en la subcuenca de Purity corresponden a la Formación Palo Santo inferior. Basaltoides analizados señalaron una edad de 70 ± 5 ma K/Ar.

El último pulso magmático es registrado de 65-60 ma (Paleoceno inferior) relacionándose con derrames basálticos locales y coladas lamprófidas aisladas. Mientras que los lamprófidos se refieren a términos magmáticos de avanzada y particular diferenciación (aumento de sílice y volátiles), los basaltos observados varían desde andesitas olivínicas hasta leucoandesitas en una diferenciación desde básica a intermedia, con tendencia de composiciones sódica-afanílicas en la base hacia potásica-amigdaloidales en niveles superiores.

6. Grupo Alto Paraná (Jurásico inferior - Eoceno superior)

6.1. Formación Misiones (Jurásico inferior - Cretácico superior)

Un levantamiento tectónico termal regional inicial durante el Triásico superior ocasiona una pobremente documentada suave discordancia en el Paraguay oriental entre dos secuencias sedimentarias predominantemente desérticas continentales: la infrayacente Formación Cabacué y la suprayacente Formación Misiones (Fig. 56).

La Formación Misiones (nivel inferior del Grupo Alto Paraná) corresponde a un extenso sistema de campos de dunas, cubriendo y ocultando ampliamente la secuencia estratigráfica anterior de la cuenca del Paraná. Registros bioestratigráficos corresponden a *ornitopodes* y *celurosauria*, y reflejan edades desde el Jurásico inferior al Cretácico superior. Espesores oscilan entre 190 m a 250 m.

La Formación Misiones está constituida predominantemente por areniscas de selección regular a buena, con poca matriz, estratificación cruzada de dimensiones medias a grandes e inclinaciones de 30° (tangencial a la base). Los granos son bien redondeados, golpeados por el transporte eólico y con frecuentes películas de óxido de hierro. Conglomerados ocurren localmente; son más comunes hacia la base. También se observan estratificaciones acanaladas.

El contacto entre la Formación Cabacué infrayacente suele ser localmente de discordancia, en otros casos es gradual. En imágenes aéreas se observa claramente un resalto en la topografía (ej. zona de Amambay). No obstante, el cambio climático desde condiciones más húmedas, que predominaban durante la deposición de la Formación Cabacué, habría sido lento y gradual hacia condiciones desérticas dominantes reguladores de la Formación Misiones.

Hacia términos del Jurásico y Cretácico se emplazan de manera contemporánea extensas magmatitas básicas - alcalinas en la cuenca del Paraná. Se observan: derrames de basaltos afaníticos a amigdaloidales en la secuencia de las areniscas de la Formación Misiones; diques clásticos cortando el basalto; cenizas y lapilli-lavas dentro de las areniscas; abundantes coladas diabásicas (sills) inyectadas en las areniscas; e intercalaciones de areniscas (intertrapp) entre coladas basálticas. Estas ocurrencias señalan una continuación de las

condiciones desérticas deposicionales sedimentarias, mientras que simultáneamente se expresa el extenso evento magmático del ciclo Sudatlántico en la cuenca del Paraná.

Las condiciones deposicionales de la Formación Misiones son desérticas-eólicas, con formaciones de dunas del tipo barcena, con 10 - 15 m de altura y 100 m de ancho. La homogeneidad de los sedimentos se ve interrumpida localmente por depósitos subacuosos torrenciales (areniscas conglomeráticas y conglomerados); sedimentos de origen lacustre (siltitas y arcillitas) son raros.

Llama la atención la enorme extensión de sedimentos de la Formación Misiones y sus correlativos en el Chaco paraguayo-argentino-boliviano, en Brasil, Argentina y Uruguay (mayor extensión que el actual desierto del Sahara). La ausencia de una matriz importante y en consecuencia la pronunciada friabilidad de los sedimentos, hace suponer que grandes áreas hayan sido erosionadas posteriormente, sugiriendo una extensión aún mayor. La ausencia de evaporitas en la secuencia sedimentar indica hacia una baja salinidad de las aguas subterráneas; y la muy buena permeabilidad hace que la Formación Misiones y sus correlativos componen hoy día el acuífero más extenso de agua dulce en el continente sudamericano.

6.2. Magmatitas básicas - alcalinas (Jurásico superior - Cretácico superior)

6.2.1. Derrames basálticos: La tectónica distensional del ciclo Sudatlántico permite en la cuenca del Paraná la extrusión de voluminosos derrames de lavas basálticas, las más extensas magmatitas sobre el planeta; relacionadas a las etapas tempranas del ciclo Sudatlántico durante el Cretácico inferior.

Los derrames de lavas basálticas en el Paraguay oriental (desde P.J. Caballero hasta Encarnación) registran espesores de 210 m a 700 m. Intercalaciones de areniscas de la Formación Misiones entre diferentes derrames son características (en casos en forma de disyunción columnar), indicando la permanencia de ambientes sedimentarios desérticos e

indicando intervalos de tiempos importantes entre diferentes pulsos magmáticos. Cada uno de los derrames basálticos registra cierta diferenciación química y variada extensión en superficie. Derrames inferiores llegan a extenderse en forma discontinua tan lejos al oeste como Caaguazú (meseta de Caaguazú), siendo cubiertos luego por areniscas mesozoicas. Derrames más jóvenes son menos extensos, alcanzando hacia el oeste apenas hasta Colonia Yguazú y exponiéndose en la superficie actual.

Magmatitas basálticas inyectan igualmente toda la secuencia fanerozoica en la cuenca del Paraná, concentrándose preferencialmente dentro de secciones paleozoicas superiores. Coladas diabásicas inyectadas a los sedimentos pueden alcanzar espesores entre 5 m y 300 m, enmascarando de esta manera el verdadero espesor sedimentario. Abundantes sistemas de diques diabásicos e intrusivas básicas/alcalinas son emplazados en zonas de intenso fracturamiento, siguiendo tendencias estructurales al noroeste y noreste.

Las magmatitas se emplazaron desde 147 ± 7 ma hasta 108 ± 10 ma K/Ar (Jurásico superior - Cretácico inferior); Fig. 58.

Los derrames basálticos representan basaltos toleíticos y basaltos toleíticos-andesíticos (Fig. 59) con textura afanítica a subafanítica, siendo compuestos preferentemente por plagioclasa, piroxeno, olivina y opacos. Se caracterizan por el contenido variado de TiO_2 y de elementos incompatibles, indicando un origen de manto tipo granate-peridotítico.

- 6.2.2. Derrames basálticos - básicos/alcalinos: En regiones marginales y en estructuras de fosas tectónicas (rifts y aulacógenos), como ser los sistemas de Asunción, San Ignacio y la meseta de la Sierra del Ybytyruzú, se extienden derrames basálticos-básicos/alcalinos locales, extrusivas a subextrusivas, acumulando espesores hasta 330 m. Forman planicies bajas (valle de Acahay) y plataformas altas (Sierra del Ybytyruzú), extendiéndose sobre substratos estratigráficamente variados (Ordovícico al Mesozoico) y se intercalan con sedimentos clásticos sinformacionales.

Se observan en los diferentes derrames locales niveles afaníticos, que se vuelven amigdaloidales hacia arriba con tendencia piroxenítica y sanidínica. Al frente de cada derrame se caracteriza una zona de breccia de empuje magmática.

Las extrusivas se hallan representadas por una secuencia desde traquibasaltos, traquiandesitas hasta traquitas (Fig. 59). Feldespatos alcalinos y piroxenos abundan; nefelina, biotita, amfibol y olivino se forman en menor proporción.

Las extrusivas preceden a las intrusivas (147 - 135 ma K/Ar) y se hallan cortadas por intrusivas/diques básicos y alcalinos (Jurásico superior - Cretácico inferior); Fig. 58.

- 6.2.3. Provincia alcalina nororiental: Cuerpos alcalinos (conos y anillos morfológicos) se encuentran asociados al alto de P.J. Caballero y al alto de Cap. Bado. Innumerables pequeños conos y diques acompañan el emplazamiento de tres principales centros magmáticos (Cerro Sarambí; Cerro Chiriguelo y Cerro Guazú). Estos centros se ubican en altos estructurales orientados de noreste a suroeste, afectados por la tectónica distensional mesozoica. Ubicaciones de entrecruzamiento con lineamientos perpendiculares al noroeste presentan los centros intrusivos/extrusivos. Asociados diques y conos intrusivos menores se distribuyen en disposición radial en torno de los centros magmáticos.

Datos radiométricos indican edades entre 150 ma y 117 ma K/Ar, dando valores promedios de 131 ma (Jurásico superior - Cretácico superior). Edades por trazos de fusión en apatita muestran valores desde 145 ma a 86 ma, señalando una secuencia magmática compleja.

El complejo alcalino-carbonatítico del Cerro Sarambí es el más importante centro magmático. Se localiza a 70 km al suroeste de Pedro Juan Caballero. Conformar una estructura circular de 7 km de diámetro, con una

depresión central de 4 km de diámetro. La morfología llega a alturas de 700 m en el anillo contra 280 m en la depresión.

En una distribución radial alrededor del Cerro Sarambí se encuentran emplazados diques espectaculares de traquita porfírica, con extensiones hasta 25 km de longitud. Acompañan al centro magmático del Cerro Sarambí conos intrusivos de traquita porfírica (Co. Apuá, Co. Yryvú, Co. Tranquerita, Co. Pyta).

Cerro Sarambí indica un emplazamiento magmático forzoso, manifestado por la extensa fracturación y fragmentación de la roca caja, diques magmáticos radiales, intrusiones de conos intrusivos satelitarios y cenizas volcánicas.

El complejo del Cerro Sarambí representa una estructura magmática anular clásica, que iniciándose con una roca caja exterior pasa hacia adentro por fenitas y sienitas, formando un centro de piroxenitas-peridotitas, cortado por una corona central de carbonatitas (Fig. 60 y Fig. 60a).

La roca caja comprende areniscas eólicas mesozóicas y sedimentos alternados permocarboníferos al este. Al oeste son levantadas unidades del basamento cristalino y del Grupo Itapucumí. Mientras que formaciones precámbricas sufrieron una metamorfosis generando esquistos máficos laminados; carbonatos del Grupo Itapucumí son transformados hacia skarns, como resultado a la proximidad de la intrusión magmática del complejo del Cerro Sarambí.

Una extensa capa laterítica cubre gran parte de la depresión central del Cerro Sarambí, compuesta por fragmentos erosivos de la roca caja y/o de unidades alcalinas descompuestas.

La intrusión alcalina-carbonatítica del Cerro Sarambí es tentativamente subdividida en dos grupos magmáticos diferenciados (Fig. 61). Una primera línea de diferenciación magmática es admitida derivándose de una

magma original ultrabásico-peralcalino, documentando una diferenciación normal hacia peridotitas, piroxenitas y glimmeritas. La cristalización guía luego hacia sienitas nefelínicas, diques de traquitas y masas traquíticas-porfíricas. Líquidos y gases alcalinos asociados causan un metasomatismo alcalino.

Una segunda línea de diferenciación magmática es controlada por remanentes del magma original enriquecidos en líquidos y volátiles, considerándose la diferenciación de un volumen de magma fraccionado. Utilizando el mismo conducto del complejo del Cerro Sarambí se emplazan estas segundas magmatitas forzosamente y afectan las unidades de la primera diferenciación. De esta manera se forman diques y masas carbonatíticas y un cono carbonatítico mayor en el centro intrusivo del Cerro Sarambí. La predominancia de Na_2O y K_2O acompañada por excesos de CO_2 causa una fenitización en la roca adyacente. Diques lamprofídicos y cenizas volcánicas concluyen la actividad magmática.

El complejo alcalino-carbonatítico del Cerro Chiriquelo se ubica a 20 km al suroeste de Pedro Juan Caballero. Morfológicamente constituye una estructura circular bien definida de 7 km de diámetro. El complejo se sitúa sobre el borde occidental de un planalto basáltico de 600 m de altura. Pronunciadas barrancas limitan hacia la zona baja al oeste, con 300 m de altura. Una serie de lomadas arceadas definen la periferia del complejo magmático.

La intrusión magmática se manifiesta en superficie y hacia la profundidad principalmente por una fenita maciza y por una sienita con apatita-melanita (Fig. 62). En una pequeña superficie de 200 m x 400 m, caracterizada por una incipiente karstificación afloran rocas carbonatíticas, que se diferencian en una carbonatita primaria, compuesta casi exclusivamente por calcita y una carbonatita transgresiva en masas y vetas enriquecida en sílice, apatita y pirocloro.

Las rocas caja inmediatas son esquistos cuarzo-muscovíticos de edad proterozóica superior (basamento cristalino) levantados durante el evento magmático del complejo alcalino.

Hacia el este partes del cuerpo intrusivo del Cerro Chiriguelo se encuentran sobrepuestas por basaltos del Grupo Alto Paraná (118 ma; Cretácico inferior).

Un extenso intemperismo y sedimentos modernos ocultan hoy ampliamente la intrusión alcalina.

La intrusión de magmas sieníticos en esquistos cuarzo-muscovíticos del basamento cristalino es el primer evento magmático en Cerro Chiriguelo. Por efecto de la intrusión se produjo el levantamiento de las secuencias sedimentarias circundantes y la formación de una estructura dómica. El fluido del magma ocasionó una fenitización de la roca caja, generándose de esta manera fenitas potásicas.

La diferenciación magmática generaría una fase carbonatítica que intruyó en Cerro Chiriguelo en dos pulsos (Fig. 63). En un primer pulso se emplazan masas, bolsones y vetas de soevitas puras. En un segundo pulso se generan carbonatitas transgresivas, enriquecidas en minerales secundarios (apatita, biotita, andradita, etc.), causando una brecciación y una asimilación en la roca caja. Vetas cuarzo-calcíticas representan la conclusión de la actividad ígnea.

El complejo alcalino del Cerro Guazú se ubica a 50 km al oeste de Cap. Bado. Conformar una amplia meseta de 10 km de diámetro con lomadas y valles morfológicos radiales, definidos como un borde arceado de 650 m de elevación alrededor de una marcada depresión central. El complejo alcalino penetra a areniscas mesozoicas.

El origen del complejo alcalino se entiende como ser de un magma fraccionado y diferenciado, que intruye en un conducto central generando una shonkinita biotítica, acompañada por diques de lamprófidos (117 ± 4 ma K/Ar) que se emplazan en fracturas radiales.

Luego continua la diferenciación magmática, desarrollando una fase fluida/volátil altamente alcalina, que causa una fenitización maciza en las secuencias pre-existentes. Una actividad hidrotermal tardía (vetas de cuarzo -calcita - piritita) concluye la actividad magmática.

Una extensa capa coluvial y aluvial cubre gran parte de la depresión central y forma un abanico sedimentario hacia el este del complejo.

- 6.2.4. Provincia alcalina Río Apa: La tectónica distensional mesozoica se observa en el subcratón Río Apa como una profunda reactivación de fracturas orientadas hacia el noroeste y suroeste, que sirvieron igualmente como conductos para el emplazamiento de magmatitas básicas y alcalinas.

En el área cratónico propiamente dicho se observan conos alcalinos sobre el cruzamiento de lineamientos principales (Cerro Fte. San Carlos y Cerro Buena Vista), y diques/coladas diabásicos sobre las mismas fracturas (alto de Centurión).

Diques y coladas asociados de diabasa tienen 3-10 m de ancho y se extienden hasta 3 km de longitud. Son negros, afaníticos-macizos, con textura ofítica-granular y porfirítica.

Las unidades alcalinas son afaníticas hasta porfiríticas con estructuras fluviales, componiendo traquitas fonolíticas (Fte. San Carlos) y fonolitas (Buena Vista); Fig. 59.

Efectos de fenitización son manifestados en el Cerro Buena Vista, con una típica concentración de hematita, feldespatos potásico y silicificación.

El origen de las magmatitas básicas-alcalinas en la provincia Río Apa es explicado como una diferenciación de un magma original fraccionado de composición alcalina-olivínica-basáltica, que causó en una primera fase la formación de basaltos alcalinos (diques y coladas) y en una segunda fase una diferenciación fonolítica-traquítica (diques y conos) con efectos de metasomatismo alcalino (fenitización).

6.2.5. Provincia alcalina suroriental: A lo largo del valle morfológico de Acahay, una fosa tectónica compuesta por lineamientos estructurales hacia el noroeste y nornoroeste, denominado “rift de Asunción” (resultado de la tectónica distensional mesozoica), se hallan encajados numerosos cuerpos intrusivos básicos-alcalinos (conos y anillos morfológicos) acompañando y cortando derrames basálticos alcalinos, y asociados por abundantes diques alcalinos. Hacia la parte central de la fosa estructural se concentran las manifestaciones más expresivas del magmatismo alcalino mesozoico, como ser el complejo del Cerro Sapucaí, el macizo del Cerro Acahay y la extraordinaria concentración de diques alcalinos en la planicie del Río Caañabé. Otro centro magmático se concentra hacia la Sierra del Ybytyruzú.

En la provincia alcalina suroriental (valle de Acahay) se caracterizan petrográficamente gabros alcalinos, sienogabros, sienodioritas, sienitas nefelínicas, teralitas, malignitas, gabros essexíticos y essexitas (Fig. 59). La mayoría presenta altos contenidos de K_2O (1,68 a 10,96%) y MgO (0,60 a 10,35%), confiriéndoles características potásicas a ultrapotásicas.

Determinaciones radiométricas (K/Ar, Rb/Sr y trazas de fusión en apatita) reflejan para las intrusivas un intervalo de edades de 178 ± 10 a $77,9 \pm 10,3$ ma (Jurásico medio - Cretácico superior), considerando la época de mayor apogeo magmático entre 147 ± 7 a $108,3 \pm 10,2$ ma (Jurásico superior - Cretácico inferior); Fig. 58.

Abundantes diques alcalinos en disposición de enjambres concentrados acompañan en la provincia alcalina suroriental las estructuras preferenciales de la tectónica distensional mesozoica (noroeste, nornoroeste y noreste). El emplazamiento de diques alcalinos en sedimentos encajantes causa una silicificación local, formando lomadas morfológicas alargadas y alineadas.

Los diques alcalinos mesozoicos (147-77 ma K/Ar) representan una amplia variación de diferenciación: desde diabasas alcalinas primarias, pasando por traquibasaltos, tefritas y fonotefritas hacia traquifonolitas y traquitas o

fonolitas, llegando hacia composiciones tan avanzadas como fonolitas peralcalinas.

Breccias volcánicas se observan localmente en relación a los mayores centros de intrusión magmática (ej. complejo alcalino del Cerro Sapucaí y el macizo del Cerro Acahay). Forman céntricas depresiones morfológicas a causa de su menor resistencia a la erosión. Las breccias reflejan una inyección ígnea forzosa dentro de una fase magmática sienítica-nefelínica final.

La matriz de las breccias forma una masa sienítica oscura, a veces carbonática, cementando un material piroclástico. Fragmentos e inclusiones absorbidos de la roca caja, de gabros, sienodioritas, traquitas y fonolitas son observados. Pirita es muy común en las breccias, además se observa un enriquecimiento por carbonato, cuarzo, fluorita y calcopirita, siendo una actividad hidrotermal tardía responsable por la concentración de los sulfatos.

El contacto hacia la roca caja magmática es nítido, adaptando a veces una textura esquistosa por cataclásis, a causa del emplazamiento forzoso.

Las evidencias geoquímicas indican la formación de las magmatitas de la provincia alcalina suroriental a partir de una fuente del manto de naturaleza granate-peridotítica, sometida a diferentes niveles de fraccionamiento y diferenciación.

Un centro magmático prominente es el complejo alcalino del Cerro Sapucaí, ubicado a 80 km al sureste de Asunción. La morfología consiste en dos crestas arceadas, alcanzando 400 m de elevación. Hacia el centro de la estructura semicircular se manifiesta una depresión característica.

Cerro Sapucaí es un complejo multi-intrusivo:

fase 1 - Asociación gabroide-alcalina con gabros, essexitas y sienodioritas. Lamprófidos forman la parte terminal. Esta secuencia se emplaza en varios centros efusivos.

- fase 2 - Diferenciación y emplazamiento forzoso de sienitas nefelinicas con traquitas y fonolitas. Acompañan chimeneas de breccias shonkiníticas (material piroclástico), enriquecidas con pirita, calcopirita, carbonatos, cuarzo y fluorita.
- fase 3 - Abundantes diques intruyen, sobre la base de una alta concentración de volátiles. Aparecen fonolitas agpaíticas, traquitas alcalinas y microsienitas. Diferenciados avanzados forman granitos alcalinos y nordmarkitas; además se registra una incipiente fenitización.
- fase 4 - Luego de la diferenciación magmática aparecen en un segundo pulso extensas lavas de pórfidos, basaltos alcalinos, traquiandesitas y fonolitas latíticas. Enjambres de diques cortantes (fonolitas, traquitas y lamprófidós) señalan el final de la actividad magmática en el Cerro Sapucaí.

El complejo de la Sierra del Ybytyruzú está ubicado a 10 km al este de Villarrica. Es un macizo aislado, alcanzando hasta 840 m de altura, controlado por sistemas de fracturas al noroeste y noreste. La Sierra del Ybytyruzú es un complejo compuesto. En tres centros magmáticos intruyen magmatitas alcalinos, acompañadas por basaltos toleíticos (derrames, diques, coladas).

Los basaltos pertenecen al evento magmático mesozoico principal de la cuenca del Paraná ($121,4 \pm 5,8$ ma K/Ar). Son afaníticos a amigdaloidales, con intercalaciones de areniscas mesozoicas.

Magmatitas sin- a posformacionales acompañan como conos, diques y estructuras anulares ($131,9 \pm 5,0$ a $128,8 \pm 4,6$ ma K/Ar). Plutonitas de la asociación de sienitas foídicas, malignitas, shonkinitas porfídicas, shonkinitas y traquitas son comunes. Diques tefríticos y malignitas melanocráticas se relacionan. Se diferencia así un pulso melanocrático primario y un pulso leucocrático secundario.

Diques tefríticos a basaníticos, fonolíticos a traquíticos son abundantes. Diques, coladas y chimeneas de lamprófidos alcali-lamprofídicos, enriquecidos en mica, aparecen distribuidos por la Sierra del Ybytyruzú.

Los basaltos son resultado de una cristalización/diferenciación gravitativa de un magma HPT toleítico del manto superior.

Las alcalimagmatitas se formaron evidentemente en el contacto manto/corteza de un magma acentuado en alcalinas, enriquecido en volátiles y elementos incompatibles, generando un magma con concentración de potasio. Esto se apoya en rocas tan extremas como los alcali-lamprófidos con inclusiones de carbonatos y gas.

6.2.6. Provincia alcalina San Ignacio: Paralelamente al rift de Asunción, y separado por el subcratón Río Tebícuary, se desarrollo en el Paraguay suroriental un bloque tectónico similar, estructurado durante el Mesozoico, orientado por fracturas al noroeste y limitado en sus extremos por fracturas perpendiculares al noreste, conformando al bloque de San Ignacio. Se observa un bloque inclinado al suroeste con rechazos hasta 2.000 m en su flanco norte. Son expuestas areniscas mesozoicas continentales acompañadas por ocurrencias de magmatitas básicas - alcalinas cretácicas (145,7 a 91,3 ma K/Ar). Los centros magmáticos forman pequeños conos, algunos diques y reducidas coladas.

En Estancia Guavirá-y aparecen nefelinitas finas, de textura porfírica, asociadas con xenolitas de dunitas (origen en el manto superior).

En Estancia Ramírez se observan nefelinitas enriquecidas en titanomagnetita y olivina, parecidas a la Estancia Guavirá-y.

El Cerro Caá Jhovy se constituye por fonolitas peralcalinas, de textura porfírica e igualmente de origen del manto superior.

6.3. Formación Acaray (Cretácico superior - Eoceno superior)

La sucesión sedimentaria en la cuenca mesozoica del Paraná concluye con la deposición de la Formación Acaray; una secuencia clástica heterogénea continental fluvial a lagunar, con espesores de 40 m a 60 m (Fig. 56). Intercalan conglomerados, siltitas, arcillitas y algunos carbonatos, orgánicos y evaporitas, con areniscas heterogéneas y oxidadas. La formación ocupa la depresión central originada por las extensas extrusivas basálticas mesozoicas, reflejando un episodio de suave subsidencia y reajuste tectónico de la cuenca del Paraná. Los sedimentos de la Formación Acaray corresponden en base a escasos registros bioestratigráficos (*bivalvos, gastrópodos, crustáceos y plantas*), al Cretácico superior-Eoceno superior. Hacia el Brasil se han identificados además *reptiles* fósiles.

Los sedimentos aparecen encima de los basaltos del Grupo Alto Paraná. El tipo litológico predominante es una arenisca fina a muy fina, con cemento arcilloso o calcáreo-arcilloso, muy mal a mal seleccionada, mineralógicamente inmadura y pasando para arriba gradualmente hacia siltitas. De menor escala aparecen intercalaciones de bancos irregulares de arcillitas, conglomerados y lentes de calcáreos. La estructura sedimentar es muy heterogenea, con marcas de erosión y relleno, niveles con nódulos de arcillas y carbonatos, marcas de ondas y estratificaciones laminares hasta entrecruzadas. El color típico es un marrón rojizo; los granos se recubren con películas de óxido de hierro.

El drenaje que corta la Formación Acaray forma valles alargados, con extensas planicies de inundaciones.

El ciclo inicial de la sedimentación de la Formación Acaray ocurrió sobre un sustrato muy irregular formado por los derrames basálticos. La sedimentación algo caótica favoreció una deposición deltáica y de planicie fluvial, en un ambiente de clima árido a semi-húmedo. La fuente principal de la sedimentación son las rocas volcánicas, que se refleja en la composición mineralógica y en los conglomerados intercalados. Alguna fuente adicional se podrá haber creada por las manifestaciones magmáticas del ciclo Andino (Grupo Asunción).

El ambiente deposicional del ciclo superior de la Formación Acaray es de sistemas fluviales de ríos trenzados con rellenos de canales y barras de punta. Siltitas y arcillitas se habrían formadas en planicies de inundaciones. Durante este ciclo el clima es cada vez más árido con lluvias periódicas, con la precipitación de cementos carbonáticos (tipo caliche), aunque con un nivel freático somero, evitando la formación de dunas.

7. Ciclo Andino

Las discordancias que separan el Grupo Purity inferior del Grupo Purity superior y el Grupo Alto Paraná del Grupo Asunción se ven relacionadas con un evento termo-tectónico que se iniciara durante el Paleoceno y se extendiera hasta el Oligoceno superior. Efectos de este evento continúan manifestándose a menor escala hasta el presente. La actividad tectónica diastrófica tiene como mayor resultado la fase principal del levantamiento de la Cordillera de los Andes, definida por en cuanto como ciclo Andino.

La cuenca del Chaco queda en consecuencia del ciclo Andino transformada en una planicie pre-cordillerana. Los andes generan una importantes fuente de sedimentos hacia la planicie y prohíben toda influencia marina del oeste. Potentes sedimentos continentales llegan a cubrir amplias zonas del Chaco (Grupo Purity superior y Cuaternario), acompañados por magmatitas locales y ocultando la estructuración del subsuelo.

En la cuenca del Paraná se manifiesta la reactivación de fosas y aulacógenos tectónicos marginales (bloque de Asunción y bloque de San Ignacio) generando una sedimentación de sedimentos terrestres restringidos a depocentros estructurales, acompañados por magmatitas locales.

Estructuralmente es reflejado un reajuste tectónico distensional-compresional, térmico e isoestático, principalmente en zonas inestabilizadas durante la distensión del ciclo Sudatlántico. Así se observa una continuación de la subsidencia en la subcuenca de Purity, acumulando allí importantes volúmenes de sedimentos. Por el otro lado emergen

altos estructurales paleozóicos que fueran afectados en menor escala durante el ciclo Sudatlántico. De esta manera se observa el ascenso relativo del alto de Asunción en el sureste (área de Asunción), del alto de Pte. Hayes en el sureste (área del Río Pilcomayo inferior) y del bloque de San Ignacio en el sur (área de San Ignacio), reflejado en una inversión morfológica. Mientras, es reactivado el alto de Boquerón en el suroeste y llega a aflorar el alto de Lagerenza en el noroeste del Chaco. Los altos emergidos durante el ciclo Andino generan un volumen importante de sedimentos adicionales para el relleno de la planicie pre-cordillerana en el Chaco y los aulacógenos en el Paraguay oriental.

La movilización de fracturas profundas establecidas ya durante eventos tectónicos anteriores hacia el noroeste, nornoroeste y noreste, facilita en zonas de dilatación el emplazamiento local de magmatitas básicas, nefeliníticas y fonolíticas.

Queda establecido como resultado del ciclo Andino la configuración estructural actual de la cuenca del Chaco paraguayo y de la cuenca del Paraná en el Paraguay oriental, dejando expuesta una vasta planicie cuaternaria al oeste y sur, y secuencias del basamento cristalino-fanerozoico en el este y norte del Paraguay.

8. Grupo Asunción (Jurásico medio/superior - Eoceno medio/superior)

8.1. Formación Palacios (Jurásico medio/superior - Paleoceno medio/superior)

En fosas y aulacógenos tectónicos marginales, y contemporáneos a unidades magmáticas-sedimentarias mesozoicas tardías, se depositan localmente heterogéneos sedimentos terrestres. Son referidos como la Formación Palacios (Fig. 56). Importantes secciones sedimentarias se formaron en los aulacógenos de los bloques de Asunción y de San Ignacio. Son areniscas oxidadas y mal seleccionadas. En su base forman amplios conos de bloques, cantos, conglomerados y fanglomerados, reflejando una sedimentación rápida de derrumbe y de abanicos aluviales, causando una deposición caótica epiclástica hasta fanglomerática. Hacia arriba son depositadas areniscas cada vez más homogéneas, con mejor hasta excelente selección. Son intercalados niveles y bolsones de conglomerados - fanglomerados.

Unidades homólogas han sido perforados en el bajo de San Pedro (190 m a 370 m de espesor; pozos Asunción #1 y Orihuela #1).

Por efecto de magmatitas terciarias se formaron localmente estructuras columnares en areniscas homogéneas (Cerro Coí, Chororí, San Lorenzo, Villa Hayes), generando además aureolas de silicificación, creando de esta manera cerros aislados (Cerro Yaguarón, Cerro Curupayty, Cerro Ñanduá). Los sedimentos son correlacionados desde el Jurásico medio, concluyendo durante el Paleoceno superior, conformando espesores sedimentarios desde 20 m a 500 m.

Los sedimentos son areniscas rojo oscuras, finas a conglomeráticas y mal seleccionadas. Son muy heterogéneas; en su base con conos conglomeráticos. Hacia arriba se depositan areniscas de grano medio, más homogéneas y de muy buena selección. Aparecen incluidos fragmentos de magmatitas mesozoicas. Los sedimentos están dispuestos en forma horizontal, en bancos macizos y localmente fuertemente entrecruzados. Distorsiones por la tectónica terciaria del ciclo Andino son observadas en fracturas, como también en suaves basculamientos de bloques.

Las areniscas son de formación típica terrestre, de deposición de derrumbe caótico en su base, rellenando depresiones morfológicas y evolucionando para arriba hacia ambientes fluviales a eólicos cada vez más tranquilos.

8.2. Magmatitas básicas, nefeliníticas-fonolíticas (Paleoceno inferior - Eoceno superior)

El reajuste/acomodación estructural final registrado en la cuenca del Paraná y la cuenca del Chaco relacionado al ciclo termo-tectónico Andino (Paleogeno; máximo 49-40 ma), se observa como un arceamiento termal en fosas/aulacógenos tectónicos marginales, que es constatado por reajustes tectónicos relativamente intensos a lo largo de lineamientos estructurales establecidos durante el Mesozoico. Los bloques de Asunción y de San Ignacio en el Paraguay oriental registran un levantamiento estructural pronunciado, acompañado por un fuerte basculamiento en bloques (inversión morfológica; ej. Cordillera del Ybytyruzú), mientras que otros bloques mesozoicos se hunden (ej.

valle de Acahay) o permanecen estables (ej. Serranía de Ybytymí). Un magmatismo básico, nefelinítico-fonolítico (Fig. 64) acompaña al evento tectónico, formando conos, diques, prioclastitas y vetas álcali - basálticas locales. Las magmatitas son caracterizadas por microfenocristales de nefelina y sodalita en una matriz gris. La aparente laminación macroscópica se debe a la alineación de fenocristales oscuros (egirina).

Dataciones absolutas de K/Ar para las magmatitas concluyeron en 66 a 38 ma, dando como apogeo magmático el periodo de 48,9 a 40,6 ma (Eoceno; Fig. 65). El magma original sería ultra-alcalino de afinidad sódica perteneciendo a un manto peridotítico/gránate equilibrado.

Los reajustes estructurales del Paleogeno se notan igualmente hacia el interior de la cuenca del Paraná, observados como gentiles acomodaciones sedimentarias y la fracturación de los extensos derrames basálticos, a lo largo de predominantes lineamientos al noroeste y noreste.

El evento del ciclo Andino define claramente la discordancia entre secuencias mesozoicas/paleogenas y unidades del Eoceno superior al Cuaternario/Presente.

Las magmatitas terciarias con una predominancia sódica ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = > 1 \text{ wt}\%$) forman centros asilados en el área desde Benjamín Aceval al noroeste hasta La Colmena al sureste, cortando areniscas de la Formación Palacios y unidades meso-paleozoicas (Cerro Verde, Cerro Confuso, Cerro Ñemby, Cerro Lambaré, Cerro Patiño, Jardín Botánico, Nueva Tablada, Villa Hayes, San Jorge, Tacumbú, Limpio, Piquete-cué, Surubi-y, Cerro Gimenez, Cerro Medina, Cerro Doña Lili, Cerrito González, Cerro Yarigua-á, etc.). Petrológicamente forman ankartritas, nefelinitas, basanitas, tefritas nefeliníticas, fonotefritas, y fonolitas. Típicas son abundantes inclusiones de nódulos o xenolitas de Iherzolitas-dunitas peridotíticas (indicio de material magmático del manto).

Las magmatitas se emplazaron en fracturas profundas de dilatación, orientadas preferentemente hacia el noroeste en el bloque de Asunción y en el valle de Acahay.

El efecto térmico de las magmatitas a las sedimentitas adyacentes causara localmente la formación de areniscas columnares.

VI. CUENCA CENOZOICA

1. Grupo Pirty superior (Eoceno superior - Pleistoceno inferior)

Relacionado al ciclo Andino (Fig. 66) y reflejando una suave discordancia hacia el Grupo Pirty inferior, llega a deposición en la subcuenca de Pirty en el Chaco paraguayo un ciclo sedimentario contiguo. Ya que su formación se concentra hacia el mismo depocentro que la secuencia anterior, se denomina el Grupo Pirty superior o Formación Chaco (Fig. 54).

La secuencia de sedimentos refleja una extensión más amplia que el Grupo Pirty inferior, principalmente hacia el noreste y el sureste.

1.1. Formación Chaco inferior (Eoceno superior - Plioceno superior)

La reactivación tectónica del ciclo Andino inicia en la subcuenca de Pirty un nuevo período de subsidencia.

En una secuencia basal se depositan areniscas oxidadas, conglomeráticas a gruesas hacia zonas proximales (pozos Nazareth #1, Tte. Acosta #1, Gloria #1 y Berta #1), en un ambiente aluvial a eólico. Mientras que fangolitas oxidadas y a veces calcáreas interdigitan hacia zonas distales (pozos Carmen #1, Palo Santo #1, Pirizal #1 y Anita #1), indicando ambientes lacustres.

La sección basal pasa gradacionalmente hacia arcillitas grises-verdosas con horizontes de yeso y halita en el sureste (pozo Palo Santo #1). Los sedimentos en esta región contienen palinomorfos marinos de ambientes playos y calmos. *Acritarcas*, *flagelatas* y *foraminíferos* han sido reportados en el pozo Palo Santo #1. Los niveles correlacionan con la Formación Paraná en Argentina; una incursión marina desde el Océano Atlántico del sur durante el Mioceno superior al Plioceno inferior (Fig. 54).

Los sedimentos marinos se interdigitan hacia el noroeste de la subcuenca de Pirty con sedimentos continentales aluviales y lacustres oxidados.

Luego del corto intervalo marino continúa el dominio deposicional continental en un ambiente caluroso y de humedad relativamente alta. Análisis de pollen revelados en el pozo Palo Santo #1 sugieren edades del Plioceno. Las areniscas, arcillitas y esporádicos conglomerados oxidados son diferenciados litológicamente de la unidad basal apenas por sus coloraciones más claras. La deposición se correlaciona con ambientes fluviales-lacustres.

El contenido palinológico de *malvacea*, *chenopodiacea-amaranthacea*, *tricolporites* y *gymnospermia* indicara más bien sedimentos miocenos-pliocenos en niveles continentales medios a superiores de la formación.

La Formación Chaco inferior se define solamente en la depresión de la subcuenca de Pirity propiamente dicha. Espesores perforados oscilan entre 250 m y 355 m (pozos Berta #1 y Palo Santo #1).

1.2. Formación Chaco superior (Plioceno superior - Pleistoceno inferior)

La estabilización tectónica luego del apogeo del ciclo Andino lleva a un relleno sedimentario rápido de la subcuenca de Pirity; recubriendo la sedimentación durante este período igualmente a amplias zonas aledañas, señalando una suave subsidencia regional, incluyendo asimismo los altos estructurales de la región sur chaqueña.

La formación constituye una secuencia íntimamente alternada de areniscas finas, siltitas y arcillitas multicolores. Nódulos de yeso y carbonatos son frecuentes. El ambiente deposicional indica una calma sedimentación en una amplia depresión regional, con ríos trezados, abanicos aluviales, lagunas fangolíticas y salinas, acompañadas por alguna influencia eólica, en un clima subtropical y un régimen de lluvias estacionales, con una vegetación de bosques en galería.

Análisis palinológicos del pozo Palo Santo #1 reflejan pollen de *mimosoidea*, *compositea* y *graminea*, acompañados de *pelicípodos* del Plioceno tardío al Pleistoceno inferior (Fig. 54).

Los sedimentos alcanzan espesores muy variados, reflejando una extensión amplia en la parte central y suroeste en la cuenca del Chaco. Así, en el pozo La

Paz #1 se documentan apenas 40 m de espesor, en el pozo López #1 son registrados 140 m, mientras que en la subcuenca de Purity se observan espesores entre 390 m hasta 670 m (pozos Nazareth #1 y Anita #1).

2. Terciario/Cuaternario indiferenciado (Eoceno medio/superior - Pleistoceno inferior)

Concluido el ciclo termo-tectónico Andino, igual que en la cuenca del Chaco, la cuenca del Paraná en el Paraguay oriental se estabiliza estructuralmente (Fig. 66). Apenas reajustes neotectónicos son evidenciados: tipos de paleosuelos y distribución de drenajes, algunos terrenos terrazados y bien suaves manifestaciones sísmicas.

Los ambientes sedimentarios continentales son bastante heterogéneos, registrándose depósitos fluviales, lacustres, eólicos y evaporíticos; los cuales son referidos en el Paraguay oriental como Terciario/Cuaternario indiferenciado. Amplias secuencias en forma de pedregullos y cantos rodados, arenas, limos, arcillas, materia orgánica, caliches y nódulos/concreciones de yeso - halita caracterizan sedimentos formados por ríos mayores y/o trezados, abanicos aluviales, áreas de inundaciones, lagos y lagunas.

- 2.1. Una breve incursión marina desde el sur, de baja energía y condiciones someras, alcanza el Paraguay suroriental durante el Mioceno medio y es reportada por concentraciones de evaporitas y relacionada con raros micro-organismos marinos.
- 2.2. Hacia el Paraguay nororiental (área del Grupo Itapucumí) se constituye una formación de calcáreos secundarios (travertinos, sinters y tufos), acompañando a breccias y conglomerados carbonáticos, de origen coluvial-aluvial y bajo influencia evaporítica; y que cubre la planicie calcárea de Tagatiyá, al oeste del subcratón Río Apa. Los sedimentos conglomeráticos son macizos, de matriz fina, sin estratificación y de color gris oscuro a marrón, con una matriz de color crema a gris. Los fragmentos calcáreos sedimentados son uniformemente calcáreos; calcáreos arenosos son raros. Acompañan tufos calcáreos, de color crema a gris, de granulación heterogénea y de aspecto esponjoso. Travertinos y sinters calcáreos son menos representados y van generalmente asociándose a los conglomerados calcáreos.

La posición estratigráfica se caracteriza por restos vegetales de *myrtaceae*, *lauraceae* y *melastomaceae*, acompañados por gastropodos de los géneros *stenogyra misera*, *zonitoides*, *bulimulus* y *ampullaria* (identificados en el lado brasileño correlativo); definiéndose una edad inicial desde el Eoceno medio/superior, pero claramente desde el Plioceno al Pleistoceno inferior.

- 2.3. Predominan en el Paraguay oriental sedimentos fluvio-lacustres. Son constituidos por sedimentos no-consolidados, areno-arcillosos, de color rojo, parcialmente lateritizados. Localmente ocurren areniscas amarillentas, medianas a gruesas, arcillosas a conglomeráticas.

Se observa la formación de terrazas en superficies generalmente planas, recubriendo unidades variados (basamento cristalino - secuencias mesozoicas). Los sedimentos son definidos litoestratigráficamente desde el Eoceno medio al Pleistoceno inferior.

3. Cuaternario (Pleistoceno inferior - Presente)

Hasta el Pleistoceno inferior el Paraguay se encuentra bajo condiciones de sedimentación más bien localizadas hacia depresiones estructurales establecidas.

Durante el Cuaternario los depósitos de la cuenca del Chaco continúan aún bajo la influencia del régimen sedimentario establecido en el Terciario (Fig. 67), orientado desde el noreste hacia la subcuenca de Pirity; modificándose luego hacia términos típicos de una planicie de piedemonte con predominancia de una sedimentación desde la Cordillera de los Andes en el oeste y zonas de afloramientos de unidades estratigráficas pre-cuaternarias en el norte, noreste y este del Chaco, hacia zonas bajas en el sureste.

De esta manera se diferencia la distribución de depósitos cuaternarios en el Chaco con espesores máximos hasta 965 m (pozo Carmen #1) llegando a acumulaciones mínimas de 100 m a 10 m respectivamente (pozos Toro #1 y Cerro León #1) e inclusive exponiendo unidades pre-cuaternarias (áreas norte, noreste y sureste). Se establece

así la actual planicie morfológica chaqueña de suave inclinación desde 360 m NM de altura en el noroeste y 300 m NM en el norte, hacia 60 m NM en el sureste.

La vasta extensión, la relativa homogeneidad geológica y geomorfológica, el relieve casi plano y los sedimentos en general muy finos en la planicie cuaternaria chaqueña, no obstante, son importantes para la caracterización de cambios formacionales y ambientales durante el período geológico más joven. Una subdivisión del Cuaternario es entonces enfocado principalmente por los cambios climáticos registrados (Fig. 68 y Fig. 69). Son sobre todo las variaciones en la precipitación que expresan las diferencias y en menor escala los cambios de temperatura.

Recientes resultados de análisis de isótopos radioactivos ¹⁴C y de luminiscencia natural permiten mediante la obtención de edades absolutas una clasificación más concreta de sedimentos, suelos y aguas en el Chaco.

El Cuaternario en el Chaco paraguayo es generado por el sistema fluvial-aluvial del Río Paraguay, el sistema fluvial-lacustre de Adrián Jara, el sistema del abanico aluvial del Río Pilcomayo, el sistema del abanico del Río Parapití y el sistema eólico de Nueva Asunción.

El Cuaternario en el Paraguay oriental es mucho más localizado (Fig. 67), más heterogéneo y de ambientes deposicionales mucho más variables que las formaciones correlativas en el Chaco paraguayo.

El clima desarrolla en el Paraguay oriental durante el Holoceno hacia condiciones húmedas y tropicales. Drenajes trenzados y ríos/arroyos meándricos transportan sedimentos aluviales hacia regiones de inundaciones en el sur y oeste, generando amplios terrenos arenoso-arcillosos. Extensas áreas de inundaciones con abundantes depósitos aluviales y materia orgánica se formaron a lo largo de los ríos Paraguay y Paraná, e igualmente en zonas de sus tributarios.

Por otra parte el contacto de sistemas deposicionales cuaternarios de la región del Paraguay oriental hacia el Chaco y los países vecinos es gradual y transicional.

Considerando la interacción dinámica de los sistemas formacionales la sedimentación cuaternaria en el territorio paraguayo es presentada en cuatro unidades estratigráficas.

3.1. Cuaternario inferior (Pleistoceno inferior - Holoceno inferior)

La distribución de sedimentos cuaternarios en el Chaco señala una deposición aumentada desde el noreste hacia el suroeste. El fenómeno refleja la importancia del sistema del Río Paraguay, al menos durante el periodo del Cuaternario inferior (Fig. 70). Arenas finas claras y menos arcillas siltíticas son transportadas desde el borde suroccidental del escudo cratónico de Guaporé, del planalto Mato Grossense y del subcratón Río Apa hacia el Chaco paraguayo en una amplia faja fluvial desde Bahía Negra hasta Pto. Pinasco. La sedimentación sigue la mayor depresión morfológica en el Chaco desde Bahía Negra en el noreste hacia Gral. Díaz en el suroeste, generando sistemas de canales fluviales con avulsiones e inundaciones periódicas (subcuenca de Pirity).

Desde la Cordillera de los Andes en el oeste el Río Pilcomayo desarrolla un sistema de abanicos aluviales importantes (Fig. 70). El río se origina en la región de Sucre, en una cuenca montañosa de la Cordillera Oriental y las Sierras Subandinas en Bolivia. El río cruza las montañas hacia el oeste en una clara relación antecedente. Por lo tanto, el Río Pilcomayo se habría originado ya en el Plioceno, formando un curso permanente hacia el Chaco. Al alcanzar la planicie en Villa Montes forma el ápice de un abanico aluvial, compuesto por bloques y grava en una matriz arenosa roja. Ya en la zona del Chaco central se conecta con el sistema del Río Paraguay rellenando la depresión morfológica de la subcuenca de Pirity. Contribuye arenas muy finas y siltitas arenosas marrón amarillentas mediante numerosos canales efímeros.

El Río Parapití por su parte se origina en la región de Camiri en las Sierras Subandinas (Bolivia), formando un sistema aluvial joven, periódico y menos desarrollado. Sus depósitos más antiguos generan entre Charagua y la frontera paraguaya-boliviana numerosos canales fluviales dentro de un abanico aluvial de escasa pendiente, transportando a consecuencia sedimentos arenosos a arcillosos finos hacia la planicie. El sistema aluvial del Río Parapití (Fig. 70) se desarrolla en el Cuaternario inferior bajo condiciones similares que el Río

Pilcomayo, interconectándose a la altura de Tte. Picco-Madrejón con los sistemas del Río Paraguay - Río Pilcomayo. No obstante, cabe resaltar algunas características que controlan el desarrollo del sistema del Río Parapití: Desde el Terciario se manifiesta un pronunciado levantamiento estructural del alto de Lagerenza desde el Cerro León hacia el Cerro Cabrera al noroeste, influenciando a manera de una barrera transversal al abanico aluvial del Río Parapití. En consecuencia los canales fluviales se encuentran frenados en su curso y corren la suerte de una fácil colmatación. Las aguas son desviadas formando nuevos canales fluviales.

Además la naturaleza intermitente del Río Parapití permite que en los inviernos secos se generarían sombras y dunas arenosas en el banco sur del río; causadas por los vientos estacionales de norte a sur, obstruyendo de esta manera el desarrollo del abanico aluvial hacia el este y sur. En consecuencia, el Río Parapití es desviado al norte, perdiendo así muy pronto una participación importante en la sedimentación fluvial cuaternaria del Chaco paraguayo.

El sistema deposicional de Adrián Jara (Fig. 70) aporta mediante pequeños abanicos fluviales periódicos arenas medianas a finas de pequeño volumen hacia el sistema del Río Paraguay, erosionando unidades sedimentarias paleozoicas-mesozoicas aflorantes. De mayor importancia es la planicie de inundación formada entre Agua Dulce y Bahía Negra, concentrando arcillas arenosas pardo oscuras.

Litoestratigráficamente se resumen en el Chaco para el Cuaternario inferior limos arenosos, arenas finas a muy finas y arcillas siltíticas de coloraciones pardo rojizo a verdoso. Característicamente se observa un enriquecimiento de carbonatos de calcio formando toscas macizas a laminares. Acompañan abundantes concreciones y nódulos de yeso y manganeso. Localmente aparecen en depresiones cerradas de evaporación arcillas verde grisáceas plásticas con mayores concentraciones de yeso (canteras de yeso en Lagerenza).

Aunque los registros son aún insuficientes, es posible indicar algunos parámetros acerca del ambiente formacional del Cuaternario inferior. Se manifiesta un

período global de intensos cambios climáticos con épocas glaciales e interglaciales. La planicie del Chaco revela igualmente oscilaciones periódicas en un ambiente periglacial seco, templado a caluroso. Períodos de mayor glaciación en las regiones altas de la Cordillera de los Andes originan mayores volúmenes de agua en épocas de deshielo, que son despachados por los sistemas de drenaje hacia la planicie chaqueña seca y de mayor temperatura, formando extensos depósitos fluviales. Durante períodos interglaciales se reducen los volúmenes de agua transportada hacia la planicie; aquí, condiciones más secas y más calurosas facilitan una intensa evaporación, originando bancos y concreciones de minerales evaporíticos y favoreciendo una amplia actividad eólica, depositando loess y arenas eólicas de vasta extensión.

Se puede señalar hacia el Pleistoceno superior tardío y el Holoceno inferior inicial un clima templado y seco (Fig. 68), de un sistema periglacial con abundante actividad eólica (loess y probablemente dunas) y menos influencia fluvial (20% del flujo actual). La tasa de evaporación está en desequilibrio con las precipitaciones. A consecuencia, las aguas acumuladas son salobres a saladas de una conductividad eléctrica que oscila entre 2.890 a 12.160 micro Siemens; mediciones radiométricas de ¹⁴C señalan para el Chaco centro-oeste edades entre 33.740 y 26.650 años BP. Toscas analizadas en la región argentina adyacente revelan 42.000 a 27.500 años BP. La influencia de vientos predominantes del norte causa una continua redeposición de sedimentos fluviales, lacustres o eólicas (edades hacia 16.900 años BP); Fig. 69.

Las condiciones climáticas secas y templadas terminan en el Holoceno inferior alrededor de 8.500 años BP. El evento se caracteriza por la extinción masiva de la megafauna pleistocénica, la interrupción de la extensa sedimentación eólica y la ocupación del hombre de zonas anteriormente inhabitadas. Llega a dominar en el Chaco paraguayo un clima subhúmedo a seco, con temperaturas templadas y lluvias estacionales. Aumenta la actividad fluvial y lacustre. Suaves variaciones

en las precipitaciones y la temperatura resultan hacia condiciones palustres o eólicas respectivamente.

En el Paraguay oriental se describen para el Cuaternario inferior depósitos de planicies aluviales de origen fluvial-lacustre. Son arenas, siltitas arcillosas y arcillas, de coloración desde gris, crema hasta rojiza. Son sedimentos friables con intercalaciones carbonáticas, concreciones de yeso y material puzolánico. El contacto con el substrato (basamento cristalino - secuencias terciarias) es siempre discordante.

Generalmente se identifica un conjunto inferior, marcado por arenas amarillentas a rojizas, de granulación y estratificación variable, con bancos de conglomerados y horizontes calcáreos. En un conjunto superior predominan siltitas arcillosas y arcillas uniformes, con abundante materia orgánica, concreciones yesíferas y bancos puzolánicos. Se evidencian fenómenos de redeposición y selección. Normalmente representa el relleno de paleocanales o meandros abandonados.

El contenido paleontológico del Cuaternario inferior resalta los hallazgos de fósiles mamíferos que permiten la ubicación de esta secuencia desde el Pleistoceno inferior al Holoceno inferior. Así desde que Vellard describe en 1934 sistemáticamente los primeros restos de mamalias fosilíferas encontradas en el Río Pilcomayo hasta los estudios más recientes realizados en el Chaco central, el Alto Paraguay y el bloque de Asunción se identificaron *Glyptodontidae*, *Dasypodidae*, *Megatheridae*, *Myodontidae*, *Toxodontidae*, *Macrauchenidae*, *Gamphotheridae*, *Camelidae*, *Cerridae*, *Equus* y *Mastodontidae*.

3.2. Cuaternario medio (Holoceno inferior - Holoceno medio)

Se inicia un período pos-glacial con temperaturas más elevadas y condiciones subtropicales en la planicie chaqueña. Cobran predominancia el desarrollo de amplios sistemas fluviales, asociados con ciertas formaciones de suelo.

El sistema del Río Paraguay continua de principal importancia en el noreste del Chaco (Fig. 71). El volumen de sedimentos finos transportados es casi igual que durante el Cuaternario inferior, señalando condiciones relativamente estables en el sistema fluvial. Se observa en esta época un acentuamiento del sistema sedimentario del Río Pilcomayo desde el oeste, reflejado en un desvío del Río Paraguay hacia el este y la formación de amplias zonas de inundaciones periódicas y lagunas en el área entre Pto. Pinasco y Bahía Negra.

El sistema aluvial del Río Pilcomayo se acentúa durante el Cuaternario medio en un avance acelerado del abanico aluvial hacia el este (Fig. 71). Debido al calentamiento global pos-glacial, el sistema permanente y extenso del Río Pilcomayo transporta importantes volúmenes de agua desde los Andes hacia la planicie chaqueña acompañados por una carga sedimentaria de alrededor de 800 m³/s. A causa de la pronunciada energía de relieve, el sistema del Río Pilcomayo se transforma en el Cuaternario medio en el sistema deposicional más importante de la planicie chaqueña. Amplias y complejas fajas fluviales compuestas por anchos canales mal definidos y limitados por albornos surcan la planicie del oeste en un abanico hacia el este y sureste. Hacia el Chaco suroriental se han formado las primeras zonas inundables con sedimentos arcillosos y de ambiente lacustre-palustre. Mientras que hacia el Chaco central y occidental se depositan limos y arcillas arenosas llegando a arenas finas en la zona fronteriza paraguayo-boliviana con coloraciones castaño amarillentas.

La imponente del sistema del Río Pilcomayo en el Cuaternario medio se ve señalado igualmente en la redeposición de sedimentos más antiguos, principalmente en la franja subandina y de unidades formadas en el Cuaternario inferior en la planicie chaqueña.

El sistema del Río Parapetí se ve limitado por la existencia de antiguos depósitos eólicos en la frontera paraguayo-boliviana y la barrera estructural del alto de Lagerenza (Fig. 71). La naturaleza periódica del sistema fluvial sigue vigente, siguiendo los parámetros de inviernos secos con predominancia de vientos del sector norte y la subsiguiente formación de depósitos eólicos hacia el sur, causando cada vez más un desvío del Río Parapetí hacia el norte. No obstante,

se registra una transfluencia de agua durante las estaciones lluviosas hacia el sureste, transportando arenas finas y arcillas hacia la región de Tte. Picco-Madrejón. Se observan fajas fluviales con canales mal definidos con raros albardones. Los sedimentos son principalmente margas arenosas a arcillosas. En la cercanía de unidades pre-cuaternarias aflorantes al norte se observan gravas y rodados con una matriz arenosa gruesa, dispuestos en lentes y estratos mal definidos. Los clastos alcanzan diámetros de 2 cm a 4 cm y forman taludes locales. En depresiones cerradas se generan a efectos de la elevada evaporación concreciones y horizontes de yeso.

El sistema deposicional de Adrián Jara mantiene su reducida influencia, observándose pequeños abanicos fluviales y formaciones lacustres (Fig. 71).

Las condiciones subtropicales abarcan un período entre 8.500 a 5.000 años BP. Sedimentos arenosos de paleocanales fluviales de la zona de Gral. Díaz señalan edades obtenidas por luminiscencia natural de 6.380 años BP (Fig. 69) y reflejan la extensión del abanico aluvial del Río Pilcomayo durante el Cuaternario medio. Hacia el Holoceno medio tardío y Holoceno superior inicial se establecen condiciones más secas (Fig. 68) iniciándose un retroceso de la actividad fluvial. La marcada diferencia estacional entre veranos húmedos e inviernos secos con vientos fuertes del norte causan en el sistema aluvial periódico del Río Parapití en particular situaciones de pronunciada sequía, originando en consecuencia extensas dunas, cubriendo ampliamente sedimentos más antiguos en el área de la frontera paraguayo-boliviana. Dataciones por luminiscencia natural en estas arenas finas documentan 4.770 años BP, integrando niveles inferiores del así denominado sistema deposicional de Nueva Asunción.

Mientras tanto, los sistemas permanentes y más húmedos del Río Pilcomayo y del Río Paraguay continúan bajo un régimen fluvial variado y reducido. Sedimentos arenosos en paleocauces de Campo Aroma revelaron 4.630 años BP por métodos de luminiscencia natural.

En el Paraguay oriental continua la sedimentación fluvial-lacustre local, iniciada durante el Cuaternario inferior. Predominan sedimentos arenosos, siltíticos a

arcillosos y materia orgánica. Los parámetros de estos depósitos siguen básicamente la misma extensión como durante el Cuaternario inicial.

3.3. Cuaternario tardío (Holoceno medio - Holoceno superior)

Hacia el Cuaternario tardío se acentúan condiciones climáticas calurosas semiáridas a subhúmedas en la región del Chaco paraguayo (Fig. 68). La reconstrucción climática señala parámetros con precipitaciones estacionales de 300-400 mm/año, temperaturas elevadas, bajos niveles del agua subterránea, escasa a muy reducida vegetación y la eliminación de los humedales en el Chaco suroriental. Consecuencia inmediata es una disminución significativa de sedimentos fluviales y un aumento considerable de formaciones eólicas.

El sistema del Río Pilcomayo es durante el Cuaternario tardío la unidad formacional dominante (Fig. 72). La red fluvial permanente se concentra hacia un abanico reducido en el Chaco central, formando sistemas de ríos trenzados con cambios permanentes de sus cursos. La sedimentación se produce generalmente por derrames o avalanchas durante los períodos lluviosos, transportando sobre todo arenas siltíticas finas. Mediciones por luminiscencia natural señalan edades entre 3.450 a 3.350 años BP para sedimentos en paleocanales del Chaco central (Fig. 69).

El sistema del Río Parapití sufre durante el Cuaternario tardío otro retroceso pronunciado (Fig. 72). Las condiciones secas y el reducido área de influencia de la red fluvial, transforma al sistema del Río Parapití a una unidad de descarga muy periódica, transportando apenas en períodos lluviosos un reducido volumen de sedimentos hacia la planicie chaqueña. Solamente en forma esporádica alguna transfluencia de agua llega hacia el sureste; la mayor descarga se dirige hacia el norte.

A consecuencia de las condiciones secas y de fuertes vientos invernales del norte se pronuncia la erosión y sedimentación eólica desde el sistema del Río Parapití

hacia el sur, formando los depósitos eólicos superiores del sistema de Nueva Asunción (Fig. 72). La sedimentación eólica con la formación de extensas dunas cierra casi por completo la posibilidad de una descarga del Río Parapití hacia el Chaco paraguayo.

Las arenas eólicas amarillas a pardos se originan de los sedimentos del Río Parapití y de sedimentos anteriores removilizados. Forman extensos campos de dunas (cerca de 25.000 km²) en la frontera paraguayo-boliviana, construyendo formas parabólicas de hasta 10 km de largo en dirección norte-sur. Cubren de manera discontinua y en amplia disposición a unidades estratigráficas previas; apenas se frenan hacia el sur por el contacto con la red fluvial permanente del Río Pilcomayo. Aislados datos de luminiscencia natural de los campos de dunas en la región de Nueva Asunción registran 2.900 a 3.110 años BP, ubicando la unidad hacia el Holoceno superior.

Relacionado a la actividad eólica se observa la formación de mantos de sedimentación loésica en vasta zonas del Chaco paraguayo. La cobertura se ve interrumpida por los canales fluviales del Río Pilcomayo. La descomposición de los sedimentos bajo la influencia de las lluvias estacionales periódicas, originaría la formación de suelos grises a amarillentos sin mayor estructura interna, revelando edades radiométricas de 14-C entre 2.780 a 2.325 años BP (Fig. 69).

El sistema del Río Paraguay aporta relativamente poco a la sedimentación durante el Cuaternario tardío (Fig. 72). Los parámetros se mantienen constantes, siguiendo un control estacional establecido. Apenas el desvío hacia el este se hace cada vez más evidente, a causa del continuo relleno del Chaco desde el oeste y noroeste, pronunciando de esta manera un relieve morfológico hacia el sureste.

Asimismo, se ve reducido el sistema formacional de Adrián Jara hacia pequeños derrames de arenas fluviales y algunas depresiones lacustres cerradas con la típica concentración local de evaporitas yesíferas y carbonáticas (Fig. 72).

Hacia el Paraguay central y suroriental continúan condiciones climáticas subhúmedas a subtropicales, generando amplios depósitos fluviales y lacustres

relacionados principalmente a los ríos Manduvirá y Jejuí Guazú (Dpto. San Pedro). Amplias franjas fluviales acompañadas por planicies lacustres y limitadas por pronunciados albordones se forman relacionados al sistema deposicional del Río Paraná (Dpto. Ñeembucú). Los sedimentos son predominantemente arenas finas a gruesas, de color amarillento; arcillas y materia orgánica acompañan. El sistema del Río Paraná es altamente cambiante, generando así el amplio abánico aluvial en la región de la confluencia con el Río Paraguay.

3.4. Presente (procesos actuales)

El inicio de la formación de suelos en el Holoceno superior señala el final de las condiciones semiáridas y la instalación de ambientes más húmedos en el Chaco paraguayo (Fig. 68). Desde los 1.400 a 1.000 años BP se establecen parámetros climáticos que persisten hasta hoy día. Mientras que en el Chaco suroriental se registran lluvias de 800 a 1.200 mm/año y condiciones subtropicales típicas, hacia el noroeste disminuyen las precipitaciones estacionales a 400 mm/año y se impone un régimen subhúmedo a semiárido. Procesos eólicos mantienen cierta importancia hacia el noroeste; los sistemas del Río Pilcomayo y del Río Paraguay imponen un ambiente fluvial al sur y este, mientras que adquieren importancia extensas áreas de inundación periódica en el Chaco suroriental (Fig. 73).

La dinámica actual está caracterizada por una morfología poco expresiva de la planicie chaqueña (Fig. 74), una deflación eólica invernal en el centro-oeste, la alta carga sedimentaria periódica del Río Pilcomayo, las amplias inundaciones estacionales del Río Paraguay y ríos alóctonos en el Chaco suroriental, como así también la formación de suelos y sedimentos palustres en la región central y suroriental.

Las condiciones actuales son documentadas por análisis radiométricos de 14-C, caracterizando 1.210 a 695 años BP para suelos y 860 a 365 años BP para lentes de agua dulce subterránea de infiltración reciente (Fig. 69).

El sistema del Río Pilcomayo sigue siendo de suma influencia dinámica formacional en el Chaco oeste y suroriental (Fig. 73). Los sedimentos

transportados son arenas siltíticas muy finas que se acumulan en grandes barras. En épocas de estiaje y de reducida energía fluvial enormes volúmenes de siltita y arena muy fina causan la colmatación de los canales fluviales. Además se producen barreras por escombras vegetales en períodos de aguas altas, construyendo trampas sedimentarias, causando tapones por siltitas, arenas y de coloidales en suspensión. Así se producirán rellenos de cauces fluviales, ocasionando avulsiones y cambios de canales en forma continua. Morfológicamente resultan complejas fajas fluviales, canales y meandros abandonados, albordones y pantanos en una complicada disposición.

Hacia el Chaco suroriental el sistema del Río Pilcomayo es caracterizado por fajas fluviales de ríos alóctonos en un ambiente básicamente pantanoso. El clima más húmedo causa temporarias a permanentes inundaciones. Son depositadas casi exclusivamente arcillas siltíticas, materia orgánica fina y coloidales, que prohíben una infiltración del agua superficial al subsuelo. Además la baja pendiente no favorece el escurrimiento del exceso de agua. Característica es la pronunciada acumulación de materia orgánica en el fondo de los pantanos bajo un ambiente anaeróbico, originando horizontes de turba.

Los grandes pantanos son las cabeceras de los ríos chaqueños surorientales (desde el Río Montelindo hasta el Río Pilcomayo inferior). Se observa la formación de cauces estrechos y bien definidos, que ocasionalmente fluyen dentro de canales mayores abandonados y que son limitados por albordones. Caso así, en épocas de inundaciones permanecen solo los albordones sobre el nivel del agua.

Mientras que la actividad del sistema del Río Pilcomayo se desplaza hacia el curso actual del río en el sur, extensas áreas en el Chaco central llegan a consolidarse. La vasta región entre Infante Rivarola, Tte. Martínez y Río Verde registra un desarrollo pronunciado de suelos. La formación de suelos es más intensa en las planicies arcillosas-limosas (montes), originadas por material lésico retrabajado por desbordes de los ríos alóctonos cuaternarios. En áreas

arenosas hacia el oeste y en la región central de paleocanales (campos) el desarrollo de suelos es muy reducido. Hacia el este se generó una franja de lagunas dulces a salobres en clara relación con el paleodrenaje del sistema del Río Pilcomayo (meandros y lagos remanentes). Ya llegando hacia el límite con la plataforma Bahía Negra en el este se forman riachos drenando agua salada surgente de acuíferos salados, asociados a la formación de lagunas salobres e inundaciones estacionales. La sedimentación es siltítica-arcillosa y limosa, formando niveles impermeables y facilitando la evaporación en las estaciones secas.

El sistema de Nueva Asunción se encuentra estacionado y consolidado. La humedad relativamente elevada ha favorecido la cobertura por una vegetación xerófitica, de cactus y pastos resistentes, prohibiendo el movimiento eólico de los campos de dunas.

Asimismo el sistema del Río Parapetí forma una faja aluvial, fluyendo hacia los Bañados de Yzozog en Bolivia. Apenas durante algunas estaciones muy lluviosas ocurre una transfluencia de agua hacia el sureste, aprovechando canales abandonados por avulsión y formando el Río Timane en el Chaco noroccidental paraguayo (Fig. 73).

El sistema de Adrián Jara pierde su importancia (Fig. 73). Los periódicos flujos fluviales se infiltran fácilmente en los extensos arenales del Holoceno superior. Permanecen apenas algunas depresiones anegadas de ambientes lacustres-palustres.

En el borde oriental del Chaco y en el borde occidental del Paraguay oriental se ha consolidado el sistema del Río Paraguay (Fig. 73). Mientras que desde el Pte. Colón hasta Asunción y Paso de Patria forma una faja fluvial bien definida; hacia Bahía Negra desborda fácilmente hacia el oeste, definiendo así una planicie de inundación periódica. Esta diferenciación resulta a causa del bajo de San Pedro y de la subcuenca de Pilar (al sur) con un relleno paleozoico-mesozoico y de fácil erosión. Mientras que sobre la plataforma de Bahía Negra hacia el norte no

evolució una secuencia sedimentaria importante, a causa de la cercanía del subcratón Río Apa al este. Consecuentemente los canales fluviales se establecieron de forma esporádica, definiendo actualmente un canal de poca profundidad, aprovechando las estructuras del subsuelo, permitiendo al mismo tiempo desbordes fáciles.

La componente primaria de los sedimentos en el sector sur es de arenas limpias, finamente granuladas, formando gruesas capas de arena de canales fluviales. Lentas y horizontes de arcillas siltíticas son comunes y se relacionan a niveles de arenas canguíferas. Arcillas orgánicas gris verdosas se depositan comúnmente en meandros abandonados.

En el sector medio sedimentos muy variados componen la reciente formación del Río Paraguay. En el canal del río son observados conglomerados gruesos mal seleccionados derivados del basamento cristalino y de magmatitas mesozoicas-cenozoicas adyacentes. Se intercalan con horizontes esencialmente arenosos gruesos a finos, con niveles siltíticos. Estos sedimentos son identificados como bancos aluviales, albornos y como material de colmatación, causando desvíos del río, formando meandros abandonados y lagunas. En la región entre Pto. Sastre y Pto. Pinasco se observan costras carbonáticas al drenar calcáreos del Grupo Itapucumí. Formaciones de travertina maciza a esponjosa son comunes, de color crema a blanquecina, englobando y cementando materiales clásticos, restos vegetales y gastrópodos.

Ya hacia la planicie de inundación de la plataforma de Bahía Negra en el norte se constituyen sedimentos siltíticos-arcillosos, arcillosos, en menor escala arenosos y orgánicos. Estos sedimentos generan una planicie barrosa, cortada por inúmeras canaletas de drenaje, asociada por lagunas salobres y salitrales. La alta salinidad es resultado de la alta evaporación en épocas de estiaje.

La mayor parte del Paraguay oriental presenta actualmente procesos de consolidación, caracterizados por un drenaje muy activo, la formación de suelos y características formaciones canguíferas/lateríticas, debido al clima subtropical. Los sedimentos son en general detríticos-caóticos, de derrumbe y de

desintegración de unidades estratigráficas anteriores. En las amplias planicies se depositan arcillas y materia orgánica, asociadas a sedimentos conglomeráticos de albardones, arenas arcillosas de zonas periódicamente inundables y arenas de lecho de río.