

**COSMOGENESIS DE LA TIERRA Y SINTESIS GEOLOGICA DEL
PRECAMBRICO EN EL PARAGUAY**

MATIAS JOAQUIN TONDO OTAZU

Trabajo de grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención de título de Licenciatura en Ciencias Mención Geología, Departamento de Geología.

Universidad Nacional de Asunción.
Facultad de ciencias Exactas y Naturales

San Lorenzo – Paraguay
Diciembre 2016

**COSMOGENESIS DE LA TIERRA Y SINTESIS GEOLOGICA DEL
PRECAMBRICO EN EL PARAGUAY**

MATIAS JOQUIN TONDO OTAZU

Orientador: PROF. MSC. NARCISO CUBAS VILLALBA.

Trabajo de grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención de título de Licenciatura en Ciencias Mención Geología, Departamento de Geología.

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

San Lorenzo – Paraguay
Diciembre - 2016

COSMOGENESIS DE LA TIERRA Y SINTESIS GEOLOGICA DEL PRECAMBRICO EN EL PARAGUAY

Este trabajo de Grado fue aprobado por la Mesa Examinadora como requisito parcial para optar por el título de licenciatura, otorgado por la Facultad de ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Asunción.

MATIAS JOAQUIN TONDO OTAZU

Aprobado en la fecha 29 de diciembre del 2016.

Comité Asesor de Trabajo de Grado:

1. Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín.....
2. Lic. Diego López.....

.....

Prof. MSc. NARCISO CUBAS VILLALBA

Orientador

*A mis padres, por su paciencia y
dedicación*

DEDICO

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Geología y sus respectivos profesores por acompañarme en el magnífico derrotero de la Ciencia.

COSMOGENESIS DE LA TIERRA Y SINTESIS GEOLOGICA DEL PRECAMBRICO EN EL PARAGUAY

Autor. Matías Joaquín Tondo Otazú

Orientador. Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba

RESUMEN

La Tierra se formó por procesos de colisión de materia luego del colapso gravitacional de una Nebulosa, este mismo evento dio origen al sistema solar y alojó en nuestro planeta las fuerzas que gobiernan la geodinámica.

El Eón Hádico es el primer capítulo del Precámbrico, donde el origen del agua se realiza por procesos endógenos que debido a emanaciones formaron nubes densas para luego condensar y precipitar en la superficie generando así los enormes océanos antiguos también en este intervalo de tiempo la luna se forma debido al impacto de la Tierra con Theia, un protoplaneta que se desplazaba en su misma órbita.

En el Arqueano el intenso vulcanismo genera la corteza sílica, de esta manera se formaron los protocontinentes bordeados por los océanos antiguos, donde en las costas de los mares poco profundos habitan los primeros seres unicelulares, que se originaron en las profundidades antiguas anexas a las fisuras donde las emanaciones volcánicas submarinas les proporcionaban el calor necesario para proliferar. La consolidación de las primeras plataformas se realiza al final del ciclo tectónico Jequié en el límite del NeoArcaico con el Proterozoico inferior (Petri, 1986).

El Eón Proterozoico está marcado en América del Sur por lineamientos NW-SE que atraviesan el Paraguay Oriental, alguno de estos son coincidentes con el bajo de San Pedro marcando una zona de inestabilidad en la corteza según (Kutina, 1978), estos alineamientos separan los terrenos precámbricos en dos áreas;

Al Norte; el Bloque Rio Apa, que es la prolongación del Cratón Amazónico ,formado por gneises y esquistos biotíticos afectados por un metamorfismo medio a alto durante el ciclo Transamazónico con laminación con dirección principal NE en el Proterozoico inferior, estos se encuentran intruidos por granitos, riolitas y pórfidos de la Suite Centurión al NNW del complejo que es donde se encuentran estructuras planares con orientación al NNE, estos se encuentran cubiertos parcialmente por los metasedimentos del Grupo San Luis pertenecientes al Proterozoico medio metamorfizados levemente por el ciclo Uruacuano. Simultáneamente al proceso de rifting de Rodinia y al fin de la glaciación del Criogénico se produce la deposición de los sedimentos del Grupo Itapucumí y luego la intrusión intrusiva/extrusiva de la Suite San Ramón formando aureolas de metamorfismo en la mitad del límite occidental del Complejo Rio Apa.

Al Sur; el Bloque Tebicuary es una prolongación del Cratón del Rio de la Plata y está compuesto por la Suite Metamórfica Villa Florida, afectada por metamorfismo de medio a alto grado durante el Ciclo Transamazónico con esquistosidad principal de dirección NE-SW, estas rocas son intruidas por el plutón granodiorítico Centu Cué que en sus márgenes también sufre deformación (Cubas, 1998),posterior a la consolidación del Complejo Rio Tebicuary, ocurre la transgresión de los sedimentos del Grupo Paso Pindó en una fase pre tectónica del Ciclo Brasiliano y su posterior plegamiento en el clímax del mismo ciclo con dirección principal NW-SE casi horizontales.

COSMOGENESIS DE LA TIERRA Y SINTESIS GEOLOGICA DEL PRECAMBRICO EN EL PARAGUAY

Author. Matías Joaquín Tondo Otazú

Advisor. Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba

SUMMARY

The Earth was formed by processes of matter collision after the gravitational collapse of a Nebula, this same event gave rise to the Solar System and lodge on our planet the forces that govern the geodynamics.

The Eon Hadico is the first chapter of the Precambrian, where the origin of the water is made by endogenous processes that due to emanations formed dense clouds and then condense and precipitate on the surface generating the huge ancient oceans also in this time interval the moon is Form due to the impact of the Earth with Theia, a protoplanet that moved in its own orbit.

In the Archaean the intense volcanism generates the sialic crust, in this way formed the protocontinents bordered by the ancient oceans, where on the coasts of the shallow seas the first unicellular beings inhabit, that originated in the ancient depths attached to the fissures Where the underwater volcanic emanations provided the necessary heat to proliferate. The consolidation of the first platforms takes place at the end of the Jequié tectonic cycle at the boundary of the NeoArcaico with the lower Proterozoic (Petri, 1986).

The Proterozoic Eon is marked in South America by NW-SE alignments that cross East Paraguay, some of these are coincident with the San Pedro basin marking a zone of instability in the crust according to (Kutina, 1978), these alignments separate the Precambrian lands in two areas;

To the north; The Rio Apa Block, which is the prolongation of the Amazonian Craton, formed by biotite gneisses and schists affected by a medium to high metamorphism during the Transamazonian cycle with lamination with NE direction in the lower Proterozoic, these are intricate by granites, rhyolites and Porphyries of the Centurion Suite to the NNW of the complex that is where planar structures with NNE orientation are found, these are partially covered by the metasediments of the San Luis Group belonging to the Proterozoic medium metamorphized slightly by the Uruacuano cycle. Simultaneously to the rifting process of Rodhinia and at the end of the glaciation in the upper Proterozoic the deposition of the sediments of the Itapucumí Group occurs and then the intrusive / extrusive intrusion of the San Ramón Suite forming metamorphism auras in the middle of the western limit of the Rio Apa complex.

To the south; The Tebicuary Block is an extension of the Rio de la Plata Craton and is composed of the Villa Florida Metamorphic Suite, affected by medium to high-grade metamorphism during the Transamazonian Cycle with NE-SW main direction schistosity, these rocks are intruded by the Centu Cué pluton that in its margins also undergoes deformation (Cubas, 1998), after the consolidation of the Rio Tebicuary Complex, the transgression of the sediments of the Paso Pindó Group occurs in a pre-tectonic phase of the Brazilian Cycle and its subsequent folding in the Climax of the same cycle with NW-SE main direction almost horizontal.

INDICE

1. Introducción	1
2. Planteamiento del problema	3
3. Justificación.....	4
4. Objetivos	5
4.1 Objetivo general	5
4.2 Objetivos específicos	5
5. Hipótesis	6
6. Marco teórico	7
6.1 El Super Eón Precámbrico.....	7
6.2 Los Supercontinentes del Precámbrico	8
6.3 El Tiempo Profundo	9
6.4 El Hádico	10
6.5 El Origen de la Luna.....	11
6.6 El Arcáico	15
6.7 El Proterozoico	15
7. Metodología	19
8 Resultados	20
8.1 El Proterozoico en el Paraguay, región norte	20
8.2 El Proterozoico en el Paraguay, región sur.....	26
9. Conclusión.....	31
10. Bibliografía.....	32
11. Glosario	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localización de los Bloques cratónicos en el Paraguay Oriental	2
Figura 2 Representación de la protosuperficie de la Tierra	9
Figura 3: Paleogeografía de la Tierra en el Hádico	10
Figura 4: Modelos de colisión de Theia con la Tierra.....	12
Figura 5: Representación del impacto de la Tierra con Theia.....	12
Figura 6: Paleogeografía de la Tierra en el Arqueano	13
Figura 7: Paleogeografía de la Tierra en el Proterozoico.....	15
Figura 8: Bosquejo Estructural de la Plataforma Sudamericana.....	23
Figura 9: Mapa geológico del cratón del Rio Apa	24
Figura 10: Trombolitos del Grupo Itapucumí	26
Figura 11: Representación Estructural del Cratón Rio de la Plata.....	28
Figura 12: Mapa geológico del Cratón del Rio Tebicuary.....	29

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: División del Precámbrico.....	7
Tabla 2: Los Supercontinentes del Precámbrico.....	8
Tabla 3: División del Hádico.	11
Tabla 4: División del Arqueano	15
Tabla 5: División del Proterozoico.....	18
Tabla 6: Columna Estratigráfica del Complejo Basal Rio Apa.	25
Tabla 7: Columna Estratigráfica del Complejo Rio Tebicuary.....	30

1. INTRODUCCION

Para una verdadera comprensión de la estructura e historia de la Tierra se debe conocer cómo se formó el planeta y como era el estado primitivo de su existencia.

Para hablar de la génesis de la Tierra es necesario conocer el horizonte cósmico. La Tierra está dentro del Sistema Solar, este se encuentra dentro de la Vía Láctea que es nuestra Galaxia, esta se encuentra a la vez en un conjunto de galaxias llamada Grupo Local, y estos están a la vez en el Super-Cúmulo de Virgo donde existen millones de galaxias, así constituyen el Universo donde a su vez podemos imaginar un conjunto de universos llamado Multiverso y tener una idea del espacio inconmensurable.

Es necesario comprender la etapa cósmica por la cual paso nuestro planeta para entender como el calor emplazado en el núcleo de la Tierra está relacionado con la tectónica, esta a su vez, con el transitorio equilibrio que en su superficie permite la evolución cortical, es necesario aclarar que sin la existencia de las fuerzas endógenas en la Tierra sería imposible cualquier tipo de vida. Un hecho trascendente en este periodo de formación del planeta es su colisión con el Protoplaneta Theia y en consecuencia el origen de su único satélite natural la Luna.

Desde el más amplio punto de vista filosófico, la estratigrafía proporciona la base para la comprensión del pasado geológico, por este motivo se adjuntan las dos columnas estratigráficas del Precámbrico del Paraguay Oriental. El área de estudio se divide en; la región norte, el Bloque Rio Apa ubicado entre las longitudes $56^{\circ} 50' W$ y $57^{\circ} 40' W$ desde el río Apa se extiende hacia el sur hasta el paralelo $22^{\circ} 50' S$ en forma de triángulo, en el Dpto. de Concepción (Hutchinson, 1979). En la región sur, el Bloque Rio Tebicuary, se localiza entre los meridianos $56^{\circ} 55' W$ - $57^{\circ} 30' W$ y los paralelos $25^{\circ} 50' S$ - $26^{\circ} 35' S$ entre los departamentos de Paraguari y Misiones (Cubas, 1998). También se especificaron los eventos termo-tectónicos que sufrieron estos terrenos y sobre todo se hizo hincapié en diferenciar que ambos fragmentos cratónicos se desprendieron de diferentes cratones.

También cabe destacar, que el presente trabajo es un requisito para obtener el título de grado de licenciado en ciencias Mención Geología.

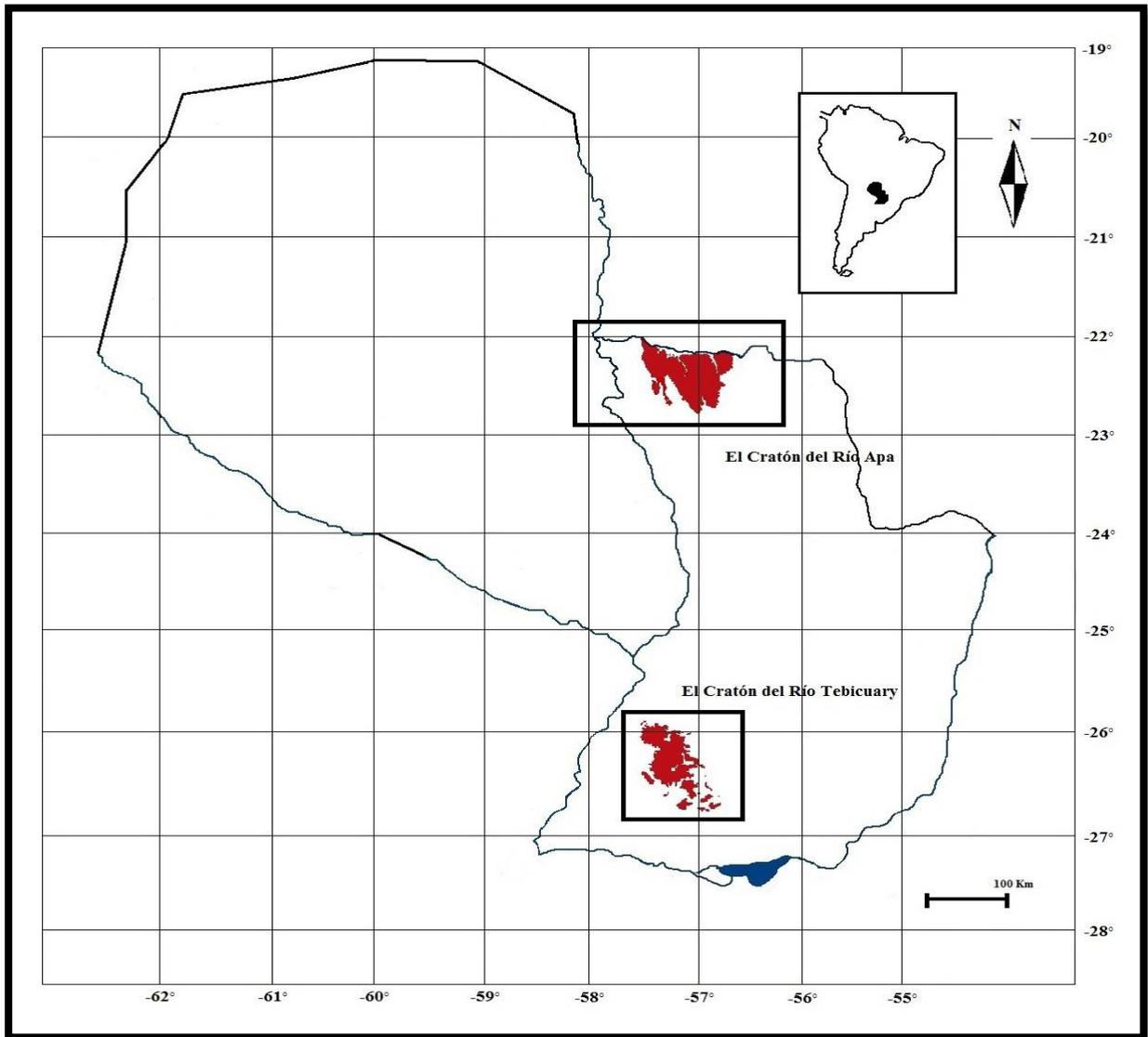


Figura 1: Localización de los Bloques cratónicos Río Apa y Río Tebicuary en el Paraguay Oriental.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cuál es la relación entre el origen cósmico de la Tierra y la Tectónica? Es una de las incógnitas que surge cuando hablamos de las fuerzas que impulsan la geodinámica.

Ordenar cronológicamente los eventos geológicos más importantes que fueron parte de la evolución precámbrica de la Tierra, es una tarea compleja debido a que hay que obtener una secuencia correcta de estos para comprenderlos.

Inferir la procedencia de los fragmentos cratónicos y explicar la evolución de las rocas precámbricas en el Paraguay oriental es una tarea compleja a causa del metamorfismo que afectaron estas rocas y las intrusiones que sufrieron estos complejos, debido a los ciclos termo-tectónicos que actuaron en estos.

3. JUSTIFICACIÓN

La realización del presente estudio trata del origen cósmico de la Tierra, su desarrollo y evolución a través del tiempo en una sucesión de eventos ordenados cronológicamente hasta el final del Precámbrico.

Surge como alternativa sintetizar y facilitar la comprensión de los procesos geológicos que actuaron en las áreas precámbricas del Paraguay, especificando de qué masas cratónicas se desprendieron tanto el bloque Rio Apa como el bloque Tebicuary, y como influyeron los eventos termo-tectónicos en ellas, considerando el grado de metamorfismo y las intrusiones que tuvieron lugar en estas.

El carácter formativo de las Ciencias Geológicas, posee una aproximación evolutiva y actualizada, elementos considerados indispensables para una correcta visualización de las causas, procesos y consecuencias que han generado la modelación del planeta tal cual lo conocemos hoy.

El presente trabajo aparte de remarcar la importancia del estudio y la comprensión de la Cosmogénesis y de la Geología en el Precámbrico del Paraguay, es porque es un requisito del trabajo de grado de la carrera de Geología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNA.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Explicar los eventos geológicos más importantes y las consecuencias que tuvieron los mismos durante el Precámbrico, formando una secuencia geocronológica de estos y relacionarlos con los bloques cratónicos del Paraguay.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Analizar de forma sintética la procedencia del bloque Rio Apa, los eventos termotectónicos que lo afectaron, y su posición estratigráfica en el norte del Paraguay oriental.

Analizar de forma sintética la procedencia del Bloque Tebicuary, los eventos termotectónicos que lo afectaron y su posición estratigráfica en el centro sur del Paraguay oriental.

5. HIPOTESIS

HI: El modelo propuesto de la Cosmogénesis de la Tierra explica el origen de las fuerzas internas y establece una relación con la Tectónica, esta posibilita la evolución de procesos dinámicos externos, estableciendo una secuencia geocronológica de los eventos, desde los primeros millones de años de la formación de la Tierra hasta el final del Eón Precámbrico.

HO: El modelo propuesto de la Cosmogénesis de la Tierra no explica el origen de las fuerzas internas y no se relaciona con la tectónica, esta no posibilita la evolución de procesos dinámicos externos, no pudiendo establecer una secuencia geocronológica de los eventos, desde los primeros años de la formación de la Tierra hasta el final del Eón Precámbrico.

6. MARCO TEORICO

6.1 El Súper Eón Precámbrico.

Se trata de una división de la historia de la Tierra, abarca todo el tiempo transcurrido hasta la diversificación biológica producida en el Proterozoico, que da paso al eón Fanerozoico constituye el 87% aproximadamente de la historia terrestre y en el suceden hechos trascendentes para nuestro planeta como su formación, la aparición de la vida y la génesis de los continentes, se formaron también la atmósfera, la hidrósfera y la litósfera y la mayoría de las rocas son ígneas y metamórficas. Su clima fue cambiante, se alternaron periodos desérticos con épocas frías y húmedas, e incluso periodos glaciales muy intensos. (Melendez-Fuster.1980).

El Precámbrico se organiza en tres divisiones cronológicas, variando el valor de las mismas según los diferentes autores:

Súper Eón	Eón	M.a
Precámbrico	Proterozoico	2.500
	Arcaico	3.800
	Hádico	4.570

Tabla 1. División del Precámbrico (Stratigraphy.org.2016)

6.2 Los súper continentes del Precámbrico:

Súper continente	Observaciones
Pannotia	600m.a-540m.a
Rodinnia	1.100m.a-750m.a
Columbia	1.800m.a-1.500m.a
Kenorland	2.500m.a-2.100m.a
Ur	Surge hace 3.000m.a
Vaalbará	Surge hace 4.000m.a

Tabla 2. Supercontinentes del precámbrico y su respectiva duración (Murphy et.al.2004)

6.3 EL TIEMPO PROFUNDO

“La historia de la Tierra es un drama en el cual todos los actores son reales y el mundo un inmenso escenario” (Dumbar, 1960)

La génesis de la historia de la Tierra es ígnea, en la actualidad se cree que la Tierra se formó por la colisión de materia motivada, por fuerzas gravitativas de atracción y repulsivas de presión, las mismas fuerzas también formaron el sistema solar luego del “Big Bang” hace 13.800 millones de años. Hace aproximadamente 4600 millones de años luego del colapso gravitacional de materia dentro de una nebulosa, la mayor parte de esa materia se acumuló en el centro siendo cada vez más densa y caliente, el resto de la materia terminó siguiendo órbitas elípticas a su alrededor formando el sistema solar, formando parte de esta materia, la Tierra. (Schmidt, 1950)

Para ese entonces la Tierra era uno de estos cuerpos en órbita, su superficie era más como un océano de roca fundida de varios kilómetros de profundidad, su temperatura superaba los 4000°C, similar a la superficie del sol, innumerables meteoritos alcanzaban la Tierra de forma incesante.

Desde el principio la Tierra tendía a enfriarse pero las partículas radioactivas de Uranio, Torio y Potasio que abundaban en la Tierra generaban tanto calor debido a su desintegración, que impedían que esta bajara su temperatura, paradójicamente serian estas partículas las que se utilizarían para datar la verdadera edad de la misma. A esta etapa de la evolución de nuestro planeta se llama Tiempo Profundo. (Schmidt, 1950)



Figura 2: Representación de la protosuperficie de la Tierra en el Tiempo Profundo (Murphy et al, 2004)

6.4 EL HADICO

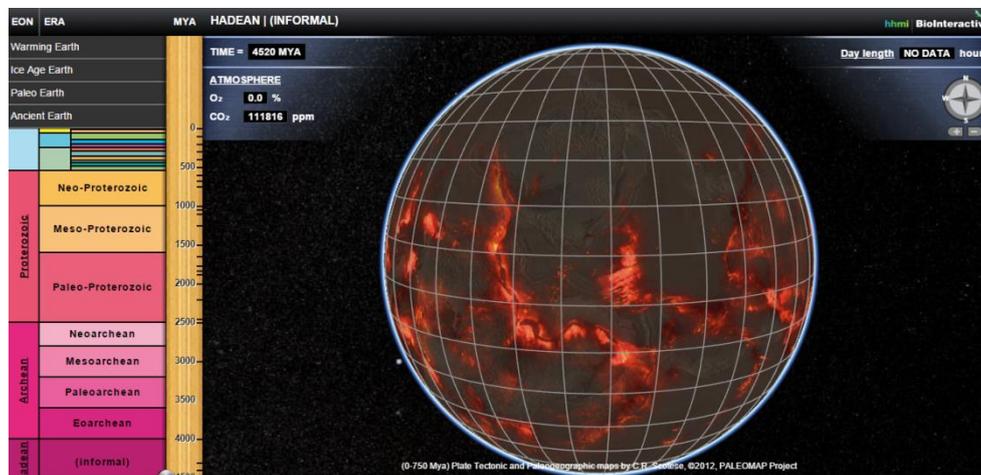


Figura 3: Paleogeografía de la Tierra en el Hádico (Earthviewer.2012)

Los meteoritos impactaban, pero el enfriamiento gradual del núcleo había hecho que en gran parte de la superficie se solidificaran las primeras rocas, e incluso entonces el agua ya se formaba en la superficie.

Existen teorías de que el agua es de origen extraterrestre, según esta, se cree que el agua de los océanos de la Tierra proviene del espacio, que llegaron formando parte de asteroides y cometas, estos en su composición estarían formado por 5% de agua.

Otra teoría propone que el agua proviene del interior de la Tierra al evaporarse de la superficie, el vapor de agua ascendió en cantidades inmensas uniéndose al dióxido de carbono que abundaba formando nubes extensas cubriendo toda la atmósfera primigenia, esto desencadenaría un diluvio que duraría millones de años. Cuando el agua llegó transformo el planeta por completo, se convertiría en un mundo acuático, más del 90% de su superficie se habría convertido en un inmenso océano, hace 4.000 millones de años. (BBC Gallery, Oxford, 2007)

Pequeñas islas volcánicas asomaban entre las olas, y estos mares inmensos eran ricos en hierro dándole una tonalidad verduzca, el dióxido de carbono abundaba tanto en la atmósfera que esta era rojiza, conteniendo otros gases como metano, amoníaco e hidrogeno. Extremadamente reductora, esta ejercía tanta presión que podría aplastar a cualquier ser humano, el calor era tan alto que superaba los 90°C. Este mundo acuático y toxico duraría hasta finalizar el término del Hádico. (Schmidt, 1950)

Eón	Era	M.a	Eventos Principales
Hádico	Imbrico	~3.850	Fin del Bombardeo de meteoritos.
	Nectárico	~3.920	Grandes impactos en la luna
	Grupos Basin	~4.150	Primeras moléculas auto-replicantes
	Críptico	~4.570	Formación de la Tierra

Tabla 3: División del eón Hádico (Stratigrphy.org.2016)

6.5 El Origen de la Luna.

El único satélite terrestre natural se remonta a hace aproximadamente 3500 millones de años cuando la Tierra joven era acompañada en su órbita por un protoplaneta llamado Theia (Tea) que poseía 1/10 de la masa de la Tierra, la colisión entre la Tierra y Theia dio origen a 20.000 millones de m³ de roca, que se dispersaron para luego ensamblarse y formar la Luna que en un principio distaba de la Tierra unos 30.000kms. A consecuencia de esto la fuerza que ejercía la Luna sobre la Tierra era 1000 veces mayor a la actual, esto hizo posible que nuestro planeta cambiara su velocidad para disminuirla e inclinándose formando un ángulo conocido como Eclíptica y teniendo gran influencia sobre los océanos que sirvieron de cuna a la vida. (Hartman y Davis, Teoría del Gran Impacto, 1974).

Etapas de la trayectoria del Impacto de Theia:

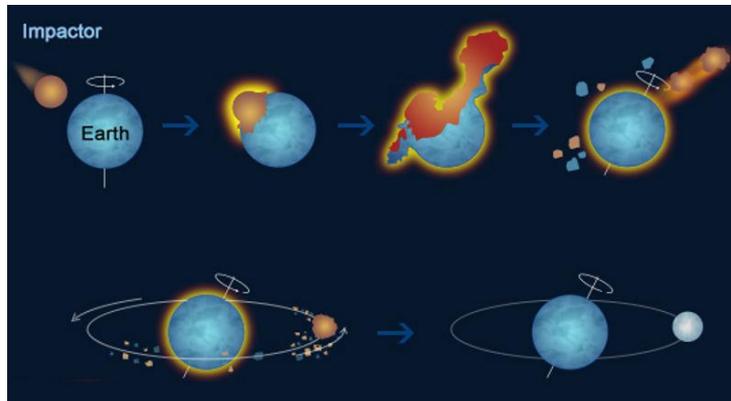


Figura 4: Modelo de colisión de Theia con la Tierra. Extraído (Murphy et al.2004)

Impacto de Theia con la Tierra Joven



Figura 5: Representación del momento de impacto de Theia con la Tierra. (Murphy et.al.2004)

6.6 El Arcaico

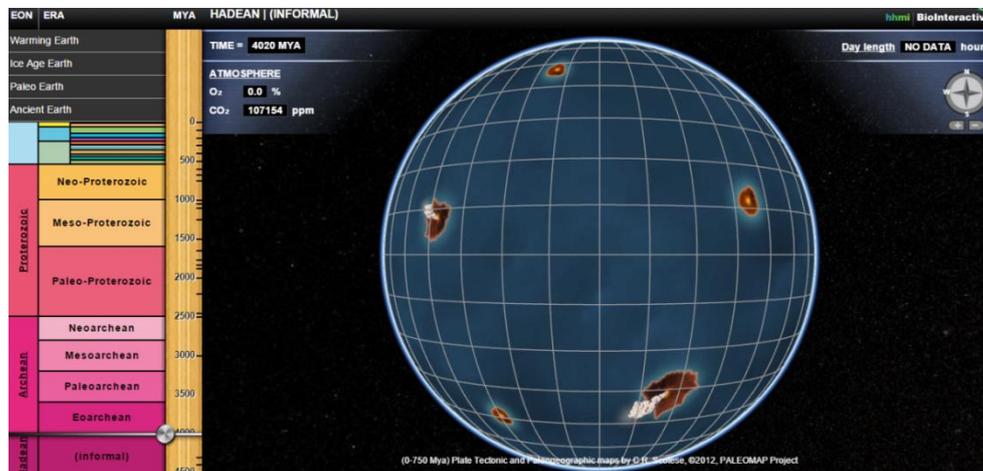


Figura 6: Paleogeografía de la Tierra en el inicio del Arcaico

Es la segunda división geológica del Precámbrico, tiene una duración de 1.300m.a, con hechos trascendentes, es el eón en el cual comienza la granitización y se forman los primeros protocontinentes, la intensa actividad volcánica formó el granito, una roca más resistente y ligera que generó la más antigua corteza continental resistente al poder abrasivo de los mares. El granito comenzó a formarse en toda la Tierra debido a los intensos fenómenos volcánicos que habían fracturado toda la protocorteza bajo los inmensos océanos permitiendo que el agua entrase en las grietas de donde emergía magma fundido, esta mezcla de aguas a alta temperatura y magma basáltico dio origen al granito, este difiere del basalto en densidad más que el agua y el aire. (Belousov, 1971)

Con la formación de la primera corteza continental granítica el dominio de los mares llegó a su fin, en diferentes partes del globo emergieron importantes masas de tierra que no solo cambiaron el aspecto del planeta sino que también sirvieron de cuna para los primeros seres vivos.

Las costas poco profundas llenaron de vida la superficie bañada por el sol y ayudaron a desencadenar la producción de oxígeno, se cree que el origen de la vida primitiva unicelular se remonta al origen de los primeros océanos, a mucha profundidad, viviendo del calor

producido por las emanaciones volcánicas submarinas que debido a las fisuras tenían protagonismo.

En las costas continentales apareció un organismo que transformó el planeta, los “Estromatolitos” crecieron en todas las bahías de la Tierra, estos se nutrieron de luz solar y llenaron la atmósfera de oxígeno, son de aguas someras y miden aproximadamente 0.30m de alto por 0.60m de largo en promedio, son algas poco comunes que forman una película que cubrió montículos y era causante de los mismos, son laminas muy finas de organismos que se forman lentamente capa tras capa año tras año y utilizan la energía solar para nutrirse, sus restos forman las rocas que hoy en día encontramos. Generaciones de estromatolitos produjeron oxígeno, que en un principio este se disolvía en los océanos donde oxidó millones de toneladas de hierro, pero con el tiempo ocuparía las aguas superficiales y llenaría también la atmósfera, cambiando el aspecto del planeta, cuando el hierro desaparece de las aguas oceánicas antiguas, estos pasaron a tener un color azul, y la atmósfera llena de oxígeno comenzó a parecerse a el aspecto que hoy en día conocemos.

Todavía se pueden encontrar indicios de estos periodos de transformación en las capas de sedimentos ricas en hierro, procedentes de los antiguos fondos oceánicos (BIF), estas se encuentran por todo el planeta y son cruciales para la economía actual. (BBC Gallery, Oxford, 2007)

Eón	Era	M.a	Eventos Principales
Arcaico	Neoarcaico	2.800	Fotosíntesis oxigénica, cratones más antiguos
	Mesoarcaico	3.200	Primera glaciación
	Paleoarcaico	3.600	Comienzo de la fotosíntesis anoxigenica, primeros posibles estromatolitos
	Eoarcaico	3.800	Primeras células procariotas

Tabla 4: División del Arqueano (Stratigraphy.org.2016)

6.7 El Proterozoico



Figura 7: Paleogeografía de la Tierra en el Inicio del Proterozoico (Earthviewer.2012)

La Tierra comenzó a parecerse a lo que hoy es, los continentes ocupaban la cuarta parte de la superficie, y bajo los océanos existen fuerzas endógenas que fragmentan y mueven los continentes, para explicar este fenómeno es necesario recurrir a teoría de la “Tectónica de Placas”.

A gran profundidad el manto rocoso se mueve continuamente en círculos siguiendo las corrientes de convección de calor generadas en el interior de la Tierra, donde estas corrientes ascienden se forman grietas y las placas se alejan, en el espacio que dejan se forma nueva corteza oceánica.

Donde las corrientes del manto descienden arrastra la vieja placa oceánica con ellos hacia el interior de la Tierra, cuando la placa oceánica se mueve también se mueven los continentes, a aproximadamente una velocidad de 2.5cm por año, en millones de años esta velocidad fue suficiente para separar los continentes miles de kilómetros. (Belousov, 1971)

Las márgenes continentales se aproximaron hasta un periodo de colisión, conforme los océanos que los separaban disminuían las enormes masas de Tierra, estos se unieron en un supercontinente llamado “Rodinia”, se cree que Canadá y EEUU formaban el centro del supercontinente y los demás continentes se agrupaban a su alrededor, este no era igual a lo que conocemos, en las aguas de los océanos crecían formas primitivas junto con los Estromatolitos.

En Rodinia se desencadenaría la mayor glaciación que se conocería, debido a que la posición que ocupaba bloqueaba las corrientes cálidas que llevaba el agua del ecuador a los polos, sin ese calor las regiones polares se helaron, el hielo que surgió reflejaba la mayor parte de los rayos solares y en un catastrófico efecto de bola de nieve (Snow Ball Theory) las temperaturas cayeron aún más.

Los océanos estaban cubiertos por una capa de 1.5km de hielo, las temperaturas eran aproximadamente de -40°C, las únicas criaturas vivas de la Tierra las bacterias quedaron atrapadas, todos los organismos vivos se extinguieron, el planeta entero se estaba muriendo.

Bajo el hielo estaban las fuerzas endógenas heredadas del cosmos, la tectónica, fragmentaría Rodinia, y el calor acumulado en la base del súper continente sería la causa

de su destrucción, debido a las corrientes de convección que genera la Tierra. Fue tanta la cantidad de dióxido de carbono expulsado por las erupciones que creó un efecto invernadero temporal e hizo retroceder el hielo, Rodhinia se había fragmentaba, marcando el fin del supercontinente y el fin de la glaciación.

Durante este tiempo se formaron mares someros y el nivel de oxígeno aumentó, fomentando la aparición de organismos vivos y una nueva oportunidad al desarrollo de la vida. Los organismos se harían más complejos y peligrosos, se estarían preparando para la explosión de vida cámbrica. (BBC Gallery, Oxford, 2007)

Eon	Era	Periodo	M.a	Eventos Principales
Precámbrico	Neoproterozoico	Ediacárico	630+-30	Formación de Pannotia Fósiles metazoarios
		Criogénico	850	Snow ball
		Tónico	1.000	Fósiles acritarcos
	Mesoproterozoico	Esténico	1.200	Formación de Rodinnia
		Ectásico	1.400	Posibles fósiles de algas rojas
		Calímnico	1.600	Expansión de los depósitos continentales
	Paleoproterozoico	Estatérico	1.800	Posible primer eucariota
		Orosírico	2.050	Atmósfera oxigénica
		Riásico	2.300	Glaciación Huroniana
		Sidérico	2.500	Gran oxidación

Tabla 5: Division del eon Proterozoico (Stratigraphy.org.2016)

7. METODOLOGIA

La metodología seguida se constituyó de la siguiente manera:

7.1 Trabajos de Gabinete:

Esta etapa consistió en la compilación y análisis de informaciones bibliográficas, todo lo relativo al Super Eon Precámbricos en general, sus subdivisiones y la etapa de formación de la Tierra, con la ayuda del programa Earthviewer se descargaron imágenes paleogeográficas de cada subdivisión del Precámbrico y se hicieron tablas de cada periodo.

Posteriormente se delimitó el área de estudio, para facilitar su observación a través de mapas, bosquejos estructurales.

7.2 Procesamiento de las informaciones:

Una vez realizada toda la etapa preliminar, en esta se analizaron las informaciones, recogidas en gabinete, continuando con la siguiente etapa del trabajo:

Las imágenes del programa Earthviewer se utilizaron para tener una idea del desplazamiento de las masas continentales en cada subdivisión del precámbrico.

7.3 Interpretación de las informaciones:

Una vez realizado el tratamiento previo de las informaciones, en esta fase se clasificó el periodo geológico al que pertenecen los terrenos precámbricos del Paraguay adjuntando los ciclos tectónicos, estratigrafía y litología en dos tablas una para el Bloque Apa y otra para el Bloque Tebicuary, para una mejor interpretación

8. RESULTADOS

8.1 El Proterozoico en el Paraguay, Región Norte:

El fragmento cratónico Rio Apa, localizado en la parte central de Sudamérica mide 220km de largo por 60km ancho, esta pobremente expuesto siendo cubierto por una secuencia sedimentaria Fanerozoica. Aflora en el límite de Brasil, Bolivia y Paraguay y se extiende hasta el sur del territorio paraguayo, es parte de un dominio cratónico estable tectónicamente del cinturón paraguayo que fue foliado y regionalmente metamorfozado durante el Neoproterozoico en la orogenia Brasiliana, sobre yacido principalmente por una cubierta carbonatada de los Grupos Corumba e Itapucumi (Almeida, 1965, 1967) (Alvarenga et al, 2000). (Boggiani y Alvarenga, 2004)

Almeida, (1967) fue el primero en sugerir que la región del Rio Apa esta enlazada al Cratón de Guaporé que es la parte más Sur de lo que hoy es llamado el Cratón Amazónico.

Existen dos teorías: La primera Dell Arco (1982); Alvarenga y Saes (1992), Kroner y Cordani, (2003). Describen el cratón del Apa con características alóctonas que durante el aglutinamiento de Gondwana fue adjunto al cratón amazónico durante el Neoproterozoico y se consideraba el cinturón de Tucavaca una sutura.

La segunda teoría propuesta por Ruiz (2005) y seguida por Cordani (2009) describe al fragmento del cratón del Rio Apa como la prolongación del cratón Amazónico, en este caso el cinturón de Tucavaca tendría características alaucogénicas. (Avila y Salinas, 1992) Fue desarrollándose sobre la corteza continental como un reflejo de episodios de compresión tectónica de la orogenia Paraguai- Araguaia/Tocantins.

El alineamiento Transbrasiliano (Schobbermaus et al. 1975) que se cree como de origen profundo, fue propuesto por Jones (1982) como el limite original de los escudos de San Francisco y de Guaporé durante el Proterozoico Inferior o lo mismo desde el Arqueano está constituido por una serie de alineamientos que atraviesan gran parte del Brasil y siguen hasta la Argentina cruzando por el Paraguay.

La división del precámbrico Paraguayo en dos áreas separadas por el bajo de San Pedro puede ser explicado por la presencia de mega alineamientos NW-SE que atraviesan América del Sur como menciona (Kutina et al. 1978). En la zona fracturada en el Paraguay representada por el Bajo de San Pedro. Esta dirección estructural es también coincidente con el alineamiento del río Yguazú de (Fulfaro et al. 1982). Este cuadro estructural controla la evolución de los ciclos geológicos presentes en el Precámbrico del Paraguay.

Remanentes del cratón Amazónico Sunsas y de la faja Paraguay-Araguaia son reconocibles en la zona del Río Apa en el Paraguay oriental a lo largo de su límite con el Brasil de manera que rocas del basamento cristalino más antiguo están expuestas, estos terrenos antiguos están compuestos de rocas metamórficas de alto grado, metasedimentos y sedimentos calcáreos Eocámbricos intruidos por rocas ácidas de edad Cámbrica (Alvarenga & Trompette, 1993)

En el Norte del país, en discordancia con el Complejo Basal del Río Apa (Ciclos Tectónicos Jequié y Transamazónico 1.800-2.500 m.a) se instaló la faja móvil geosinclinal que produjo los metasedimentos y cuarcitas del Grupo San Luis, asociadas a las riolitas de la fase volcánica intermedia y granitos intrusivos, en el Ciclo Uruacuano con más de 1.000 m.a. (Wiens, 1986)

Los granitos, riolitas, pórfidos, metavolcánicas y rocas piroclásticas de la Suite Centurión localizadas al NNW de San Luis de la Sierra ya fueron definidos por Hutchinson (1979) y se encuentran intruidas en el Complejo Apa, presentan una configuración en anfiteatro distribuido en un padrón semicircular abierto hacia el Oeste (Proyecto PAR 83/005, 1986), están cubiertas parcialmente por los sedimentos calcáreos del grupo Itapucumí, su contacto es intrusivo y tectónico con el Grupo San Luis y la Suite San Ramón. Su edad es distribuida por Wiens (1986) al Proterozoico medio (Ciclo Uruacuano).

Las direcciones N-S se produjeron durante la evolución y consolidación de las fajas plegadas de edad Brasiliana (1.000 a 450 m.a), sobre el basamento más antiguo representado por los complejos basales de edad Transamazónica, (2.000 \pm 200 m.a).

Las intrusivas y efusivas graníticas/riolíticas del grupo San Ramón de edad Cámbrica (450 m.a), son controladas por estas direcciones estructurales. El magmatismo granítico/riolítico del grupo San Ramón está ubicado en la parte central del anticlinal constituido por rocas del Grupo San Luis, con dirección norte y buzamiento para el oeste y este.

En la misma área, sobre la secuencia de edad Uruacuana, tiene inicios en el Proterozoico Superior, la entrada del mar de Itapucumi con la disposición de conglomerados basales y arcosas seguidas por calcáreos.

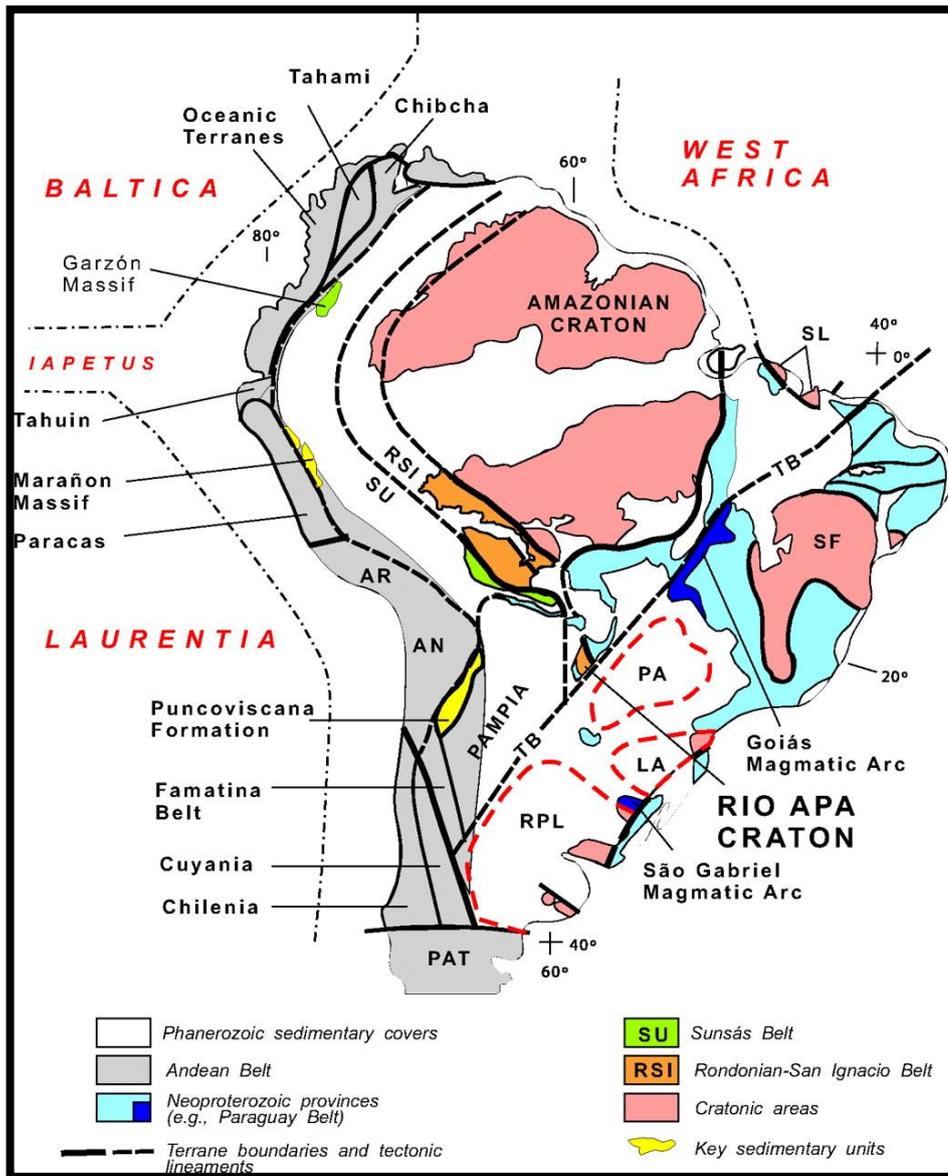


Figura 8: Bosquejo estructural de la plataforma Sudamericana donde se evidencia el Lineamiento Transbrasiliano y los desplazamientos relativos de los fragmentos Cratónicos Apa y Tebicuary (Cordani et al, 2010)

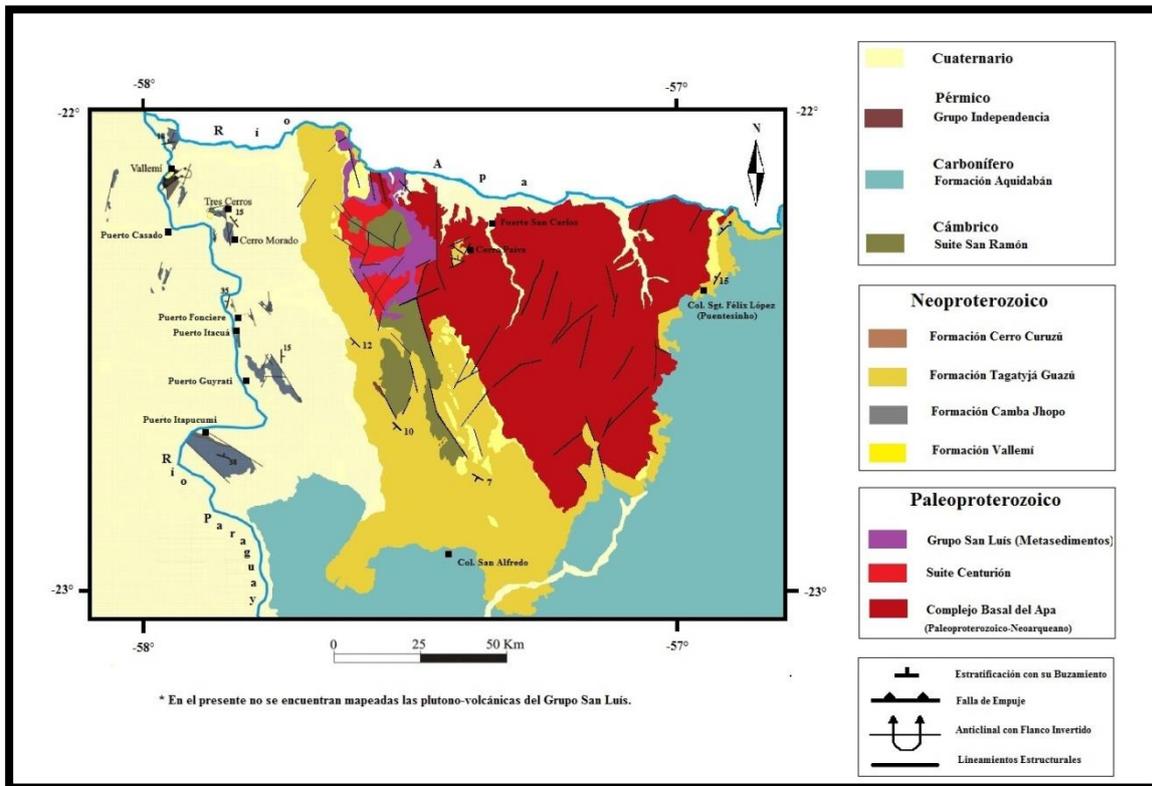


Figura 9: Mapa geológico del cratón del Rio Apa. (Warren, 2011)

Estratigrafía	Ciclo Tectónico	Era	M.a.	Litotipos
Grupo Itapucumi	Brasiliano	Eopaleozoico	~570	Calcáreos con Oolitos, capas finamente laminadas, bancos arcillosos, niveles estromatolíticos y mármol.
		Proterozoico superior	~1000	Conglomerado Basal, de poco espesor, pasando a una secuencia arcósica y arenosa (Wiens, 1986)
Grupo San Luis	Uruacuano	Proterozoico Medio	~1800	Vulcano-sedimentos, de bajo metamorfismo, meta-areniscas arcósicas, meta-areniscas, meta-conglomerados, Esquistos cuarzo-sericiticos, Filitas, Esquistos filíticos, Areniscas Cuaríferas y Cuarcitas muscovíticas (Wiens, 1986)
Suite Centurion				Granitos biotíticos, muscovíticos, riolitas, pórfidos de cuarzo y feldespato, riolacitas metavolcanicas y piroclastos.
Complejo Basal del Apa	Transamazónico	Proterozoico Inferior	~2500	Complejo Gnéisico/Máfico.
	Jequie	Neoarqueano	~2800	Complejo Granitoide/metasedimentario 3)Una unidad Pegmatítica Granitóidea Intrusiva (Wiens, 1986)

Tabla 6: Columna estratigráfica del Complejo Basal del Apa. (Wiens, 1986)



Figura 10: Trombolitos del Grupo Itapucumí. (Warren, 2011)

Durante el Neoproterozóico, concomitantemente con el proceso de “rifting” del supercontinente Rodinia importantes eventos de subsidencia ocurrieron en las márgenes del Cratón del Amazonas, Pampaia y el Bloque Rio Apa, resultando en la formación de cuencas y la deposición de secuencias siliciclásticas y carbonáticas. En este contexto se formaron varias unidades Ediacarianas tales como los grupos Corumbá, (Brasil), Murciélagos en (Bolivia) y otros. Tales unidades se caracterizan por presentar un importante contenido fosilífero, principalmente constituido por el organismo esquelético del género *Cloudina* (Warren, 2011)

8.2 El Proterozoico en el Paraguay Región Sur:

El Complejo Tebicuary del Precámbrico Sur del Paraguay se compone de rocas cristalinas de la Suite Metamórfica Villa Florida, afectadas por un metamorfismo de alto grado. Ellas son foliadas y plegadas, con ejes de plegamiento de dirección NE-SW que. Corresponden al Ciclo Transamazónico del Proterozoico Inferior (2000m.a) y pertenecen al Cratón del Rio de la Plata.

Discordantemente sobrepuestas al complejo Tebicuary, se encuentran rocas metasedimentarias clásticas. Pertenecientes al Grupo Paso Pindó: dichas rocas están suavemente Plegadas, con sus ejes de dirección NW-SE y fueron afectadas por metamorfismo

de bajo grado durante el Ciclo Brasileño del Proterozoico Superior (600 m.a.). Ambas series de rocas metamórficas fueron intruidas, en una fase post-tectónica al final del Ciclo Brasileño, por rocas magmáticas ácidas de edad Eocámbrica (531 m.a) pertenecientes a la Suite magmática Caapucú. Las rocas del Grupo Paso Pindó y de la Suite Magmática Caapucú son Parte del Cinturón Paraguai-Araguaia (Meinhold et. Al. 2011).

La Faja de Plegamiento Paraguay- Araguaia desarrollada en el Proterozoico Superior, atribuyéndose su origen al ciclo Brasileño como resultado de la colisión entre los cratones del Amazonas y de San Francisco (Almeida, 1965). Esta Faja continúa al Sur del país y está representado por las rocas del Grupo Paso Pindó y la Suite Magmática Caapucú, aparentemente esta estructura termina en el río Tebicuary donde está en contacto con el Complejo Tebicuary.

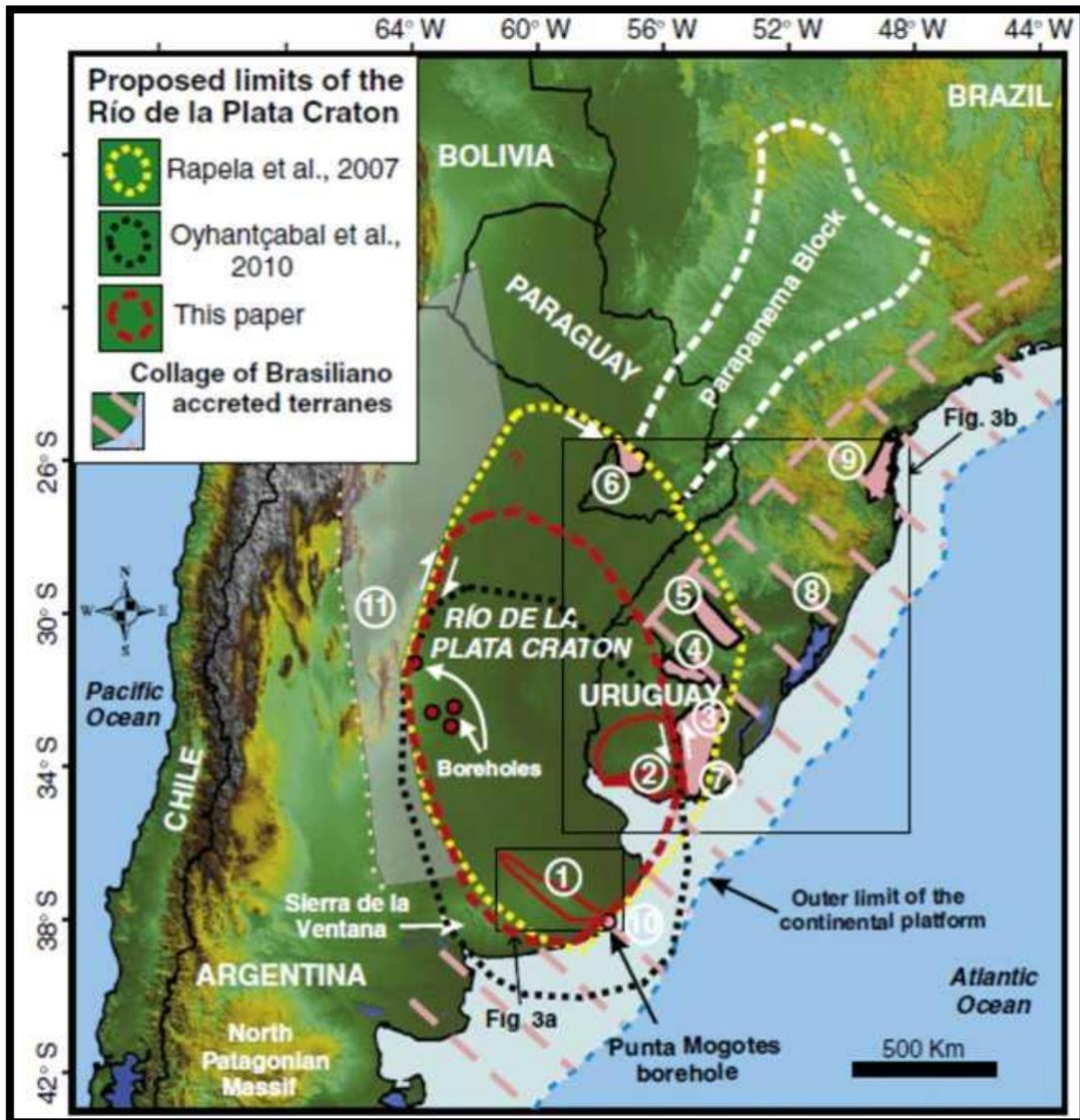


Figura 11: Imagen de la plataforma sudamericana, evidenciando el desplazamiento del fragmento del cratón del Río de la Plata (Dalla Salda et al, 1985).

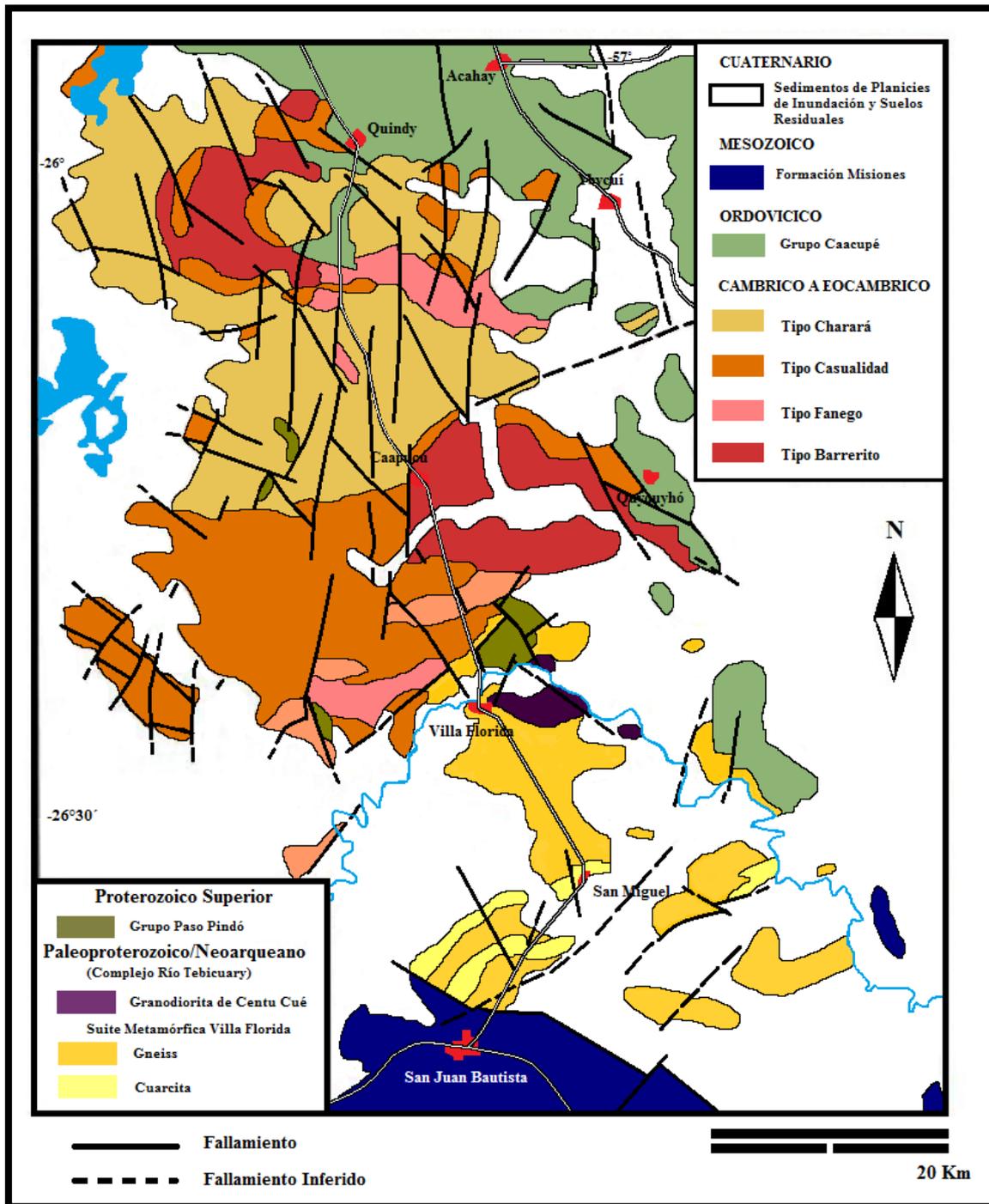


Figura 12: Mapa Geológico del Cratón del Río Tebicuary (Meinhold et al, 2011)

Edad.(M.a)	Periodo	Ciclo Tectónico	Unidad Litoestratigráfica	Formación Tipo	Litología
590-470	Eocámbrico a Proterozoico Superior	Brasiliano 700-450 Ma	Suite Magmática Caapucú(531+/-5 Ma)	Tipo Charara	Lava Tobácea, Ignimbrita, Riodacita.
				Tipo Casualidad	Pórfido de Granito/Riolita con matriz idiomórfica, Granito aplítico, microgranito.
				Tipo Fanego	Porfido de granito/riolita con matriz xenomórfica.
				Tipo Barrerito	Granito Grueso en partes Porfirítico.
1000-590	Proterozoico Superior	Brasiliano	Grupo Paso Pindó (>590 Ma)	Fm. Cristo Redentor.	Meta- Lutita con con meta-tufita, corneana y meta arenisca subordinada
				Fm. Paso Lima.	Meta-arenisca, meta grauwaca, meta-arcosa
				Fm. Las Mercedes.	Meta-conglomerado, meta arenisca, y meta arcosa con meta lutita subordinada.
1800-1000	Proterozoico medio	Urucvano			
2200-1800	Proterozoico inferior	Transamazónico	Suite Metamórfica Villa Florida (Complejo Tebicuary) (2000+/-200 Ma)	Granodiorita de Centu Cué	Granodiorita migmática de biotita y hornblenda con grandes porfiroblastos de feldespatos
				Rocas Metamórficas de Villa Florida	Orto y Para-Gneis intercalado por esquisto de mica, mármol, calco-silicatada, cuarcita y cuarcita de hierro, anfíbolita, esquisto de talco y serpentinita, penetrado por diques de cuarzo, pegmatoides y granito aplítico.

Tabla 7: Unidades estratigráficas del Complejo Precámbrico sur del Paraguay (Meinhold et Al, 2011)

9. CONCLUSION

Existe una conexión entre la génesis de la Tierra y la tectónica debido a que las fuerzas endógenas provienen de este periodo primitivo, donde el planeta estaba en un estado ígneo, en el mismo intervalo ocurre la colisión con Theia dando así origen a su único satélite, la Luna, y generando una inclinación respecto a su eje llamada Eclíptica.

El Bloque Rio Apa se correlaciona con la parte más meridional del SW del cratón Amazónico y de la Faja Paraguay-Araguaia, este se aloja en el norte del Paraguay oriental y comprende un complejo gneissico-máfico, afectado por metamorfismo de grado medio durante el ciclo Transamazónico, cubierto por los metasedimentos del Grupo San Luis e intruida por los riolitas y granitos de la Suite Centurión en el ciclo Uruacuano, sobrepuestos por los sedimentos del Grupo Itapucumí.

El bloque Rio Tebicuary se desprende del cratón del Rio de la Plata y se ubica en el centro sur del Paraguay oriental, constituido por un complejo de gneises y cuarcitas afectado por metamorfismo de alto grado durante el Ciclo Transamazónico, con direcciones estructurales principales NE-SW de foliación y eje de pliegues, siendo estas intruidas por el plutón granodiorítico Centu cué sintectonicamente, y estas están sobrepuestas por el Grupo Paso Pindó (600 m.a) conformado por sedimentos levemente metamorfizados por el ciclo orogénico Brasiliano con direcciones estructurales N-S y NW-SE relacionados con la evolución y consolidación de la faja Plegada del Cinturón Paraguay – Araguaia, sobre el basamento mas antiguo.

11. BIBLIOGRAFIA

MELENDEZ, J.M. 1980. Fuster. Geología. Editorial Paraninfo S.A.

DUMBAR, C. 1960. Geología Histórica .Editorial continental

CORDANI, U. 2010. The Rio Apa Craton in Mato Grosso Do Sul and northern Paraguay, geochronological evolution, correlation and tectonics implications for Rodinnia and Gondwana- American Journal of Science, vol.310,

EARTHVIEWER. 2012. Plate tectonics and paleogeografics maps by C.R. Scotese. Paleomap Project.

FERNANDEZ REMOLAR, D.C 2005. Boletín de la Real Sociedad Española de Interés Natural.

WIENS, F. (1986): Zur lithostratigraphischen, petrographischen und strkturellen Entwicklung des Rio-Apa-Hochlandes, Nordost-Paraguay. Clausth. Geowiss. Diss., 19: 280p.; Clausthal – Zellerfeld.

MURPHY, J. 2004. La Formación de los Supercontinentes American Scientist Magazine.

PROYECTO PAR 83/005,1986. Mapa Geológico del Paraguay, Escala 1:1.000.000 Texto Explicativo.

CUBAS, N. GARCETE, A. MEINHOLD, K.D 2011. Mapa Geológico 1:250.000 del Complejo Precámbrico Sur del Paraguay – Texto explicativo. Geologisches Jahrbuch geologie ausland Reihe B, Heft 100. Hannover

SCHMIDT, O. 1951. Memorias de la Primera Conferencia Sobre Problemas de Cosmogonía.

BELOUSSOV, V. 1971. Problemas Básicos de Geotectónica. Pag. 75. Ediciones Omega

WARREN, L. 2011. Tectónica y Sedimentación del Grupo Itapucumí. Tesis doctoral.

CUBAS, N., GARCETE, A, MEINHOLD, K. D. 1998. Mapa Geológico de la República del Paraguay, Escala 1:100.000, Hoja Villa Florida – Texto Explicativo. Asunción.

DALLA SALDA, L. 1987. Cratón del Río de la Plata. Basamento Granítico-Metamórfico de Tandilia y Martín García, Geología Argentina, Instituto de Recursos Minerales.

10. GLOSARIO

Aulacógeno: Artesa tectónica sobre un cratón bordeado por fallas normales convergentes, estos tienen orientación radial hacia el cratón y abiertos hacia afuera.

Alóctono: que se originó en otro lugar.

Asteroides: cuerpo rocoso carbonáceo o metálico, más pequeño que un planeta y mayor que un meteoróide.

Bloque: unidad rocosa rígida relativamente estable.

Ciclo orogénico u orogénico: conjunto de movimientos tectónicos que llevan al surgimiento de las cadenas montañosas.

Cosmos: universo de las cosas que existen especialmente concebido como un todo ordenado por oposición al caos.

Cosmogénesis: (cosmos= universo, génesis=nacimiento o comienzo) estudio de la secuencia de eventos involucrados en el desarrollo del universo

Cometas: son cuerpos celestes constituidos por hielo, polvo y rocas que

orbitan alrededor del sol, siguiendo trayectorias elípticas.

Constelaciones: agrupación convencional de estrellas, cuya posición en el cielo nocturno es aparentemente invariable.

Cratón: son partes diferenciadas de la litosfera continental, caracterizadas por poseer espesas y antiguas raíces mantélicas, alta resistencia mecánica y comportamiento tectónico marcado por gran estabilidad.

Eclíptica: círculo máximo de la esfera celeste, que forma con el Ecuador un ángulo de $23^{\circ}27'$ y señala el curso del sol durante todo el año.

Endógeno: que se forma o engendra en el interior de algo.

Eón: mayor división del tiempo geológico.

Exógeno: que se forma o nace en el exterior, que se debe a causas externas.

Estratigrafía; rama de la geología que trata del estudio y la interpretación de las rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas, estratificadas. Su

identificación, descripción, secuencia vertical como horizontal, cartografía y correlación de unidades estratificadas de rocas.

Fanerozoico: Denominación dada al tiempo geológico que comprende al paleozoico y al mesozoico, cuando la vida comienza a aparecer y expresarse en sus variadas formas.

Geodinámica: Parte de la geología física o geomorfología que estudia los fenómenos geológicos que provocan modificaciones en la superficie terrestre por acción de los esfuerzos tectónicos internos (geodinámica interna) o esfuerzos externos (geodinámica externa)

Glaciación: formación de glaciares en grandes superficies de la corteza terrestre.

Meridional: del sur o relacionado con una región o país del sur, o con la parte de algo que está situada en el sur.

Plataforma: superficie más o menos plana con una pendiente suave, que bordea a todos los continentes hasta una profundidad de 200m.

Rift: fosas tectónicas alargadas donde la corteza terrestre está sufriendo divergencia y distensiones, producto de la separación de placas tectónicas.

Subsidencia: Proceso de hundimiento vertical de una cuenca sedimentaria como consecuencia del peso de los sedimentos que se van depositando en ella de una manera progresiva.

Supercúmulo: son grandes agrupaciones de pequeños grupos y cúmulos de galaxia, y se encuentran entre las estructuras más grandes del universo.