

**CARACTERIZACIÓN DEL AMBIENTE DE SEDIMENTACIÓN
DE LAS ARENISCAS COLUMNARES DEL CERRO KOI DE
AREGUA, PARAGUAY ORIENTAL.**

MARIA LOURDES GENEZ MORINIGO

Orientador: Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín

Co-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 del título
de Licenciatura en Ciencias Mención Geología, Departamento de Geología.

**San Lorenzo - Paraguay
Noviembre - 2014**

**CARACTERIZACIÓN DEL AMBIENTE DE SEDIMENTACIÓN
DE LAS ARENISCAS COLUMNARES DEL CERRO KOI DE
AREGUA, PARAGUAY ORIENTAL.**

MARIA LOURDES GENEZ MORINIGO

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.

Aprobado en fecha 28 de Noviembre de 2014.

Comité Asesor de trabajo de grado:

1. Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín.....
2. Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba
3. Prof. MSc. Maria Mercedes Arias.....

.....
Prof. MSc. **HIGINIO MORENO RESQUIN**
Orientador

A mis padres, *Miguel y Beatriz*
A mis hermanos, *María Rossana y Miguel José*.

A mi esposo, *Raúl*.

DEDICO

AGRADECIMIENTO

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que han estado a mi lado de alguna u otra forma a lo largo de estos años y con su ayuda han colaborado a la finalización de mis estudios universitarios.

A mi co-orientador, el MSc. Narciso Cubas, quien me ha transmitido conocimientos con incomparable voluntad, me ha guiado no solo a lo largo de este complicado proceso sino que ha estado siempre presente con sus recomendaciones y su apoyo constante.

A mi orientador, el MSc. Higinio Moreno, por el acompañamiento a este proceso.

A mis profesores de la Carrera de Geología, por las horas de formación y experiencia compartida.

A mis compañeros de carrera, gracias por ese apoyo silencioso y las fuerzas de seguir adelante.

A mi amiga, Yennifer Sarubbi, por su voz de aliento, por haber estado conmigo siempre.

A mi esposo, por su paciencia y comprensión permanente, sin su estímulo no podría ser posible este logro.

CARACTERIZACIÓN DEL AMBIENTE DE SEDIMENTACIÓN DE LAS ARENISCAS COLUMNARES DEL CERRO KOI DE AREGUA, PARAGUAY ORIENTAL.

Autor: María Lourdes GénezMorínigo
Orientador: Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín
Co-Orientador: Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba

RESUMEN

El Cerro Kói, Monumento Nacional del Paraguay, está formado por areniscas que representan gran interés para la comunidad científica, debido a las disyunciones columnares que presentan, estas estructuras se suelen observar en rocas ígneas volcánicas y no en rocas sedimentarias. La finalidad del trabajo es contribuir con datos acerca de estas areniscas, debido a la escasez de información existente, y para ello se caracterizó el ambiente de sedimentación por medio de trabajos de gabinete, campo y de laboratorio. Se determinó que la deposición de las areniscas corresponde a un ambiente fluvial, avalado por las características mineralógicas y texturales de las rocas estudiadas. Las areniscas que presentan disyunción columnar, están compuestas principalmente por minerales de cuarzos de formas irregulares debido a la corrosión de los granos por fluidos hidrotermales, evidenciada por la precipitación de sílice amorfa. La presencia de feldespato alcalino, como granos clásticos indica también que la arenisca que dio origen a las columnas se trata de una roca relativamente inmadura. Los afloramientos de areniscas próximos a las columnares, no presentan estructura alguna siendo generalmente masivas y poseen minerales de cuarzo con formas subredondeadas a subangulosas y con selección regular a mala indicando que la deposición de los sedimentos se dieron en medio de sedimentación fluvial.

Palabras claves: 1. Areniscas Columnares 2. Cerro Kói 3. Ambiente de Sedimentación

SEDIMENTATION ENVIRONMENT CHARACTERIZATION OF COLUMNAR SANDSTONE OF KOI HILL FROM AREGUA, EASTERN PARAGUAY.

Author: María Lourdes GénezMorínigo
Advisor: Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín
Co-Advisor: Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba

ABSTRACT

The Koi Hill, Paraguay National Monument, consists of sandstones that represent great interest to the scientific community, due to the columnar disjunctions that arise, these structures are usually observed on volcanic igneous rocks and not in sedimentary rocks. The purpose of this paper is to contribute data about these sandstones, due to the scarcity of data, and for that the sedimentary environment characterized by desk, field and laboratory work. It was found that the deposition of the sandstones corresponds to a fluvial environment, supported by mineralogical and textural features of the rocks studied. Sandstones having columnar jointing, mainly composed of quartz minerals irregularly shaped due to corrosion of the grains by hydrothermal fluids, as evidenced by the precipitation of amorphous silica. The presence of alkali feldspar, as clastic grains also indicates that the sandstone that gave rise to the columns is a relatively immature rock. Outcrops near the columnar sandstones do not show any structure, being generally massive and have minerals quartz sub-rounded to sub-angular, and regular to bad selection, indicating that deposition of sediments occurred in the middle of fluvial sedimentation.

Keywords: 1. Columnar Sandstone 2. Cerro Koi 3. Sedimentation Environment

CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE SEDIMENTAÇÃO DE ARENITOS COLUNAR DO CERRO KOI, AREGUA, PARAGUAI ORIENTAL

Autor: María Lourdes GénezMorínigo

Orientador: Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín

Co-Orientador: Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba

RESUMO

O Cerro Koi, Monumento Nacional no Paraguai, é composta por arenitos que representam grande interesse para a comunidade científica, devido às disjunções colunares que surgem, estas estruturas são geralmente observadas em rochas ígneas vulcânicas e não em rochas sedimentares. O objetivo deste trabalho é contribuir com dados sobre esses arenitos, devido à escassez de informações, e para isso o ambiente de sedimentação foi caracterizada por trabalho de gabinete, de campo e de laboratório. Verificou-se que a deposição dos arenitos corresponde a um ambiente fluvial, suportada pelas características mineralógicas e texturais das rochas estudadas. Arenitos possuindo disjunção colunar, principalmente compostos de minerais de quartzo de forma irregular, devido à corrosão dos grãos por fluidos hidrotermais, como evidenciado pela precipitação de sílica amorfa. A presença de feldspato alcalino, como grãos clásticos também indica que o arenito que deu origem às colunas é uma rocha relativamente imaturo. Afloramentos perto dos arenitos colunar não mostram nenhuma estrutura sendo geralmente maciço e têm formas minerais de quartzo subredondeadas para subangulosas e com seleção justa a pobre indicando que a deposição de sedimentos ocorreu no meio da sedimentação fluvial.

Palavras-chave: 1. Arenito colunar. 2. Cerro Koi. 3. Ambiente de Sedimentação.

CONTENIDO

1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA.	3
2.1 Naturaleza y origen de las rocas sedimentarias	3
2.2 Importancia del estudio de rocas sedimentarias	4
2.3 Influencia climática en los procesos sedimentarios.....	5
2.4 Disyunciones Columnares	6
2.5 Análisis de las informaciones relacionadas a las areniscas de Aregua	8
2.5.1 Características texturales y mineralógicas	10
2.6 Geología Regional y Tectónica	11
2.7 Consideraciones sobre la Formación Patiño	11
3. METODOLOGIA	13
3.1 Ubicación y descripción del área de Estudio.....	13
3.1.1 Localización y delimitación.....	13
3.1.2 Geomorfología y Vegetación.....	14
3.2 Etapas de Metodología	14
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1 Láminas delgadas de areniscas columnares.	17
4.2 Muestras de mano de afloramiento de areniscas próximas a las columnizaciones	20
5. CONCLUSIÓN.....	21
ANEXOS	22
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	28

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Elementos dimensionales de disyunciones columnares
- Figura 2. Localización de Cerro Kó iAregua.
- Figura 3. (a) (b) Afloramiento de areniscas masivas.
- Figura 4. (a) (b) Proceso de montaje para la observación y microfotografía de muestras de afloramiento de areniscas.
- Figura 5. (a) Minerales de cuarzo con bordes corroídos en luz polarizada.
Aumento 4X
- Figura 5. (b) Mineral de cuarzo con bordes corroídos en luz polarizada.
Aumento 10X
- Figura 6. Mineral de cuarzo con bordes corroídos en luz paralela.
- Figura 7. Feldespato alcalino con macla de Carlsbad en luz polarizada.
- Figura 8. Minerales de cuarzo en matriz arcillo-ferruginosa en luz paralela.
- Figura 9. (a) (b) Minerales de cuarzo con cemento de sílice amorfa.
- Figura 10. Microfotografía en estereomicroscópio de arenisca masiva.
- Figura 11. Microfotografía en luz no polarizada en microscopio petrográfico de arenisca masiva.

1. INTRODUCCION

En el área que abarca el Distrito de Aregua, se encuentra el Cerro Kói, constituido por areniscas que no presentan una estructura común de las rocas sedimentarias como son las estratificaciones, sino que su particularidad es la presencia de disyunción columnar, que es un fenómeno que se suele observar en rocas ígneas volcánicas.

Debido a estas características, las areniscas columnares son de gran interés para la comunidad científica, debido a las condiciones geológicas de sus estructuras, el estudio de su origen y especialmente el patrón prismático presentado por estas rocas.

Este trabajo se enfocará en el estudio de los sedimentos, para la caracterización del ambiente de sedimentación que posteriormente formaron las areniscas, a fin de contribuir con la determinación del ambiente deposicional y su ubicación en la columna estratigráfica del Paraguay Oriental.

Investigaciones anteriores, como Spinzi (1996) resalta la importancia de las areniscas columnares por la singularidad que presentan y la actuación de procesos geodinámicos de la corteza terrestre; el mismo autor señala que además de Aregúa existen otras ocurrencias de areniscas columnares dentro del Paraguay, como ser en Villa Hayes, Luque, San Lorenzo, Itauguá, Cordillera del Ybyturuzú, Norte del Paraguay Oriental, en el lecho del Río Paraguay cerca de Cerro Verde y Limpio; pero ninguno tan espectacular como en los Cerros Koi y Chorori.

Las rocas sedimentarias se forman a partir de rocas preexistentes, pudiendo ser estas ígneas, metamórficas y sedimentarias, que se meteorizan, sufren transporte y se acumulan, este proceso se da bajo la acción de agentes geológicos externos, como ser el agua, el aire o la gravedad que actúan sobre las rocas. (Muller,1974)

Todos los materiales sedimentarios una vez depositados, tienden a mantenerse estables en las condiciones físicas y químicas en las que se acumularon, sin embargo, si dichos materiales son sujetos a cambios en sus condiciones originales de depositación, estas partículas tienden a reaccionar y cambiar para originar nuevos productos, más estables en esas nuevas condiciones. (Sandoval, 2000).

González (2005), menciona que la textura corresponde a las características individuales y/o las relaciones que tienen entre sí las partículas y la estructura son los rasgos mayores que caracterizan al depósito, entre ellas se encuentra la estratificación que es una propiedad que tienen las rocas sedimentarias de disponerse en bancos o estratos con cierto paralelismo. Sin embargo las areniscas de Cerro Kói presentan una particularidad, las disposiciones que siguen un patrón en el que desarrollan caras pentagonales y en algunos casos hasta octogonales.

La principal dificultad con respecto al desarrollo es la escasez de literatura y trabajos publicados que sirvan de referencia en razón de estos factores o debilidades se presenta el objetivo de caracterizar el ambiente de sedimentación en el área de ocurrencia de las areniscas columnares de Cerro Kói de Aregua, teniendo como específicos delimitar el área de estudio; estudio petrográfico de areniscas columnares y muestras de afloramiento de areniscas próximas y la descripción las características texturales y mineralógicas de las muestras de afloramiento.

2. REVISION DE LITERATURA.

2.1 Naturaleza y origen de las rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias son aquellas formadas por sedimentos consolidados o litificados, a partir de sedimentos que se acumulan y pueden consistir en fragmentos de rocas de diferentes tamaños, restos de animales o vegetales, sustancias producidas por estos, y minerales resultantes de la evaporación de soluciones o de la precipitación química. (Mendoza, *et al.*, 2013)

La formación de las rocas sedimentarias envuelve numerosos procesos como cementación y compactación de sedimentos no consolidados, que se denominan diagénesis. (Pettijohn, 1980)

De acuerdo a su origen las rocas sedimentarias se clasifican en clásticas, no clásticas y orgánicas.

Las rocas sedimentarias clásticas también llamadas detriticas, provienen de la litificación de sedimentos clásticos, son clasificadas de acuerdo a su tamaño e incluyen las gravas, arenas, limos y arcillas entre otros. Los sedimentos proceden de otras rocas, son arrastrados y depositados por sedimentación física en otro lugar por los agentes geológicos cuando termina el transporte del material, debido a una disminución de la energía de los agentes de transporte, por disminución de la fuerza del viento, culminación del movimiento de una masa de hielo o disminución de la energía de un río (Muller, 1974).

Los sedimentos formados exclusivamente por la acumulación de partículas de minerales y rocas, denominados también detritos, se clasifican como sedimentos siliclásticos, debido a su composición predominantemente silicatada, y son diferenciados entre sí por el tamaño de los detritos. Aquellos sedimentos formados

por la acumulación de restos orgánicos variados se denominan sedimentos bioclásticos, e incluyen restos de organismos tales como corales, bivalvos, foraminíferos, algas, etc. (Muller, 1974)

El ambiente sedimentario es el lugar donde se depositan los sedimentos, es un conjunto de condiciones físicas, químicas y ecológicas, bajo las cuales ocurre la depositación de un sedimento. El ambiente determina en gran parte, la naturaleza y propiedades del sedimento depositado. Los ambientes se clasifican en continentales, costeros o transiciones y marinos. Entre los ambientes continentales se hallan dos ambientes en tierra: eólico y glacial; y tres en agua: fluvial, lacustre y paludal. Los ambientes costeros o transicionales incluyen deltas, playas y barras, entre otros. Los ambientes marinos van de someros o plataformales, con llanuras y arrecifes de barrera, a profundos, caracterizados por abanicos submarinos y planos abisales. (Mendoza, *et al.*, 2013)

Para estudiar las rocas sedimentarias, se hace de suma importancia observar sus propiedades fisico-químicas y texturales, con ello lograremos una buena identificación e incluso explicar el origen de esta y los procesos de la formación de la roca. A partir de ello podemos modo reconstruir su historia e interpretar sus posibles ambientes depositacionales.

2.2 Importancia del estudio de rocas sedimentarias

El estudio detallado de las rocas sedimentarias incluye la descripción macroscópica por medio de la observación y medición de sus características texturales, composición mineralógica y estructuras sedimentarias, que son necesarias para poder comprender y llegar a conclusiones sobre el origen y los procesos geológicos que dieron lugar a su formación. (Sandoval, 2000)

Los cambios y modificaciones que ocurren en los sedimentos durante la diagénesis, están gobernados en parte por la mineralogía y textura original detrítica, composición u características del fluido de poro, los cuales a su vez, son producto de otros factores que se interrelacionan como el ambiente tectónico pre-soterramiento, composición de la roca fuente y del ambiente depositacional de la cuenca.(Mendoza, *et al.*, 2013)

En la descripción de las rocas sedimentarias debe considerarse la forma de los granos, el grado de redondez, la esfericidad y a partir de esto discutir la textura sedimentaria (Adams, *et al.*, 1995).

Para juzgar cómo fue depositada una roca sedimentaria, deben estudiarse conjuntamente la composición mineralógica y las relaciones texturales entre los componentes individuales de la misma (Williams, *et al.*, 1968).

El tamaño y la uniformidad de la selección revelan la competencia y eficiencia del agente de transporte, los depósitos de grano muy grueso indican poco transporte. Los distintos agentes y modos de transporte conducen a depósitos que difieren en selección y capacidad de transporte. Las corrientes de turbidez son capaces de conducir materiales gruesos a largas distancias sin mayor selección, mientras que las corrientes de aire depositan sedimentos con mejor selección. (Pettijohn, 1980)

Cuando la forma es menos indicativa de la historia del sedimento es más importante estudiar la selección del depósito.

Pethijon (1980), considera que el alto contenido de cuarzo, la selección y redondeamiento excelente presentan las areniscas que indican un alto grado de madurez textural y mineralógica y Williams, *et al.*, (1957) refieren que una arenisca totalmente estable o madura, consiste en granos bien clasificados subredondeados o redondeados y compuestos esencialmente de sílice, como cuarzo o pedernal.

La composición mineral de las rocas sedimentarias es una de las características más importantes, debido a que la presencia o ausencia de determinado mineral es un inicio importante de la historia de la roca.

2.3 Influencia climática en los procesos sedimentarios

El clima es el factor condicionante para los procesos físicos y biológicos. Los procesos meteorológicos de épocas pasadas fueron muy diferentes a los actuales, especialmente en intensidad y frecuencia, pero sus procesos fundamentales, como temperatura, vientos y precipitaciones siempre han sido el resultado combinado de la radiación recibida del Sol, la velocidad de rotación de la Tierra y la distribución de

los mares y continentes. Las variaciones climáticas ocurridas a lo largo de la historia geológica de la tierra pueden ser utilizadas como guías en predicciones de la evolución climática en el futuro más próximo (Arche, 2010).

Hayes (1979), sostiene que la evolución que sigue la diagénesis de areniscas en una cuenca sedimentaria está controlada por factores como la procedencia de los componentes, el ambiente deposicional y el asentamiento tectónico, y que estos están relacionados con la composición y textura de las areniscas, y estos últimos gobiernan las reacciones minerales y la velocidad de flujo de los fluidos.

2.4 Disyunciones Columnares

Es de suma importancia entender cómo se desarrollaron los prismas columnares, y por ser una estructura más frecuente en rocas ígneas que en rocas sedimentarias, se realizó una recopilación bibliográfica sobre estas estructuras, pero la mayoría de los trabajos consultados se enfocan en la génesis de los magmas y depósitos volcánicos y sólo hacen una descripción de las estructuras sin tocar los mecanismos de desarrollo.

El origen de estas estructuras está relacionado al cambio de volumen denotado por el enfriamiento rápido pero dentro de un cuerpo de magma confinado, en donde la contracción de volumen no puede darse por aplastamiento o compactación del cuerpo magmático al enfriarse, como sucede en superficie con una corriente de lava, un lahar o un flujo plástico.

En cambio Weinberger (2001), menciona que los prismas son desarrollados por basaltos en depósitos magmáticos como sills, diques y pequeñas intrusiones, así como en depósitos de caída subacuosa en ignimbritas y también en areniscas, dependiendo de si el gradiente de contracción es generado por un proceso de enfriamiento o por desecación.

Las disyunciones columnares son redes tridimensionales de fracturas planares y a veces cóncavas que desarrollan prismas, cuya sección suele ser hexagonal y a veces de hasta ocho lados.

Goehring y Morris (2004), definieron que cuando más alto sea el gradiente de enfriamiento la forma preferida de la columna es un pentágono, mientras que en un gradiente más bajo la forma desarrollada es un hexágono.

Según Mallet (1874) el nivel de esfuerzo y energía necesarios para que se genere una diaclasa entre dos puntos es inversamente proporcional al número de caras del prisma, es decir, que cuanto menos sea el número de caras que tenga un prisma, el área de la cara de la columna a formarse es menor y requiere de menor de esfuerzo, esta razón podría explicar porque las areniscas columnares presentan en su mayoría prismas de cinco y seis caras.

Investigadores como Grossenbacher y MacDuffie (1995), desarrollaron modelos y algoritmos matemáticos para representar y entender el modelo, donde relacionaron el desarrollo de las formas prismáticas con el proceso de nucleación de vértices polinominales, a partir de un centroide, denominado *Voponce*, que desarrollan al contraerse un frente de crujido o fractura de distensión por encogimiento en el punto más alejado de un centro de calor.

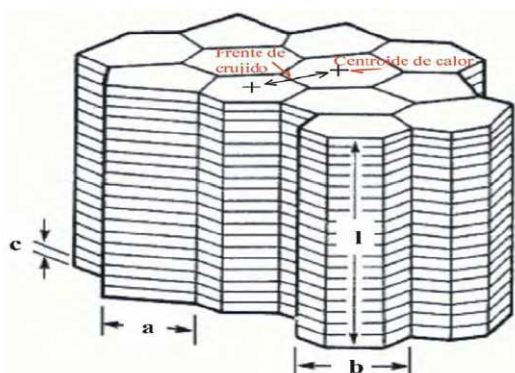


Figura 1. Elementos dimensionales de disyunciones columnares: a= cara de la columna, b=diámetro, c=fractura de tensión, l= longitud del prisma. Fuente. Sánchez y Osorio (2008)

Fernandez *et al.*, (2008), menciona una interacción dinámica entre la intrusión de diques, disolución de cuarzo y fracturas inducidas por enfriamiento como origen de las disyunciones, la similitud morfológica entre las columnas de arenisca y las que se encuentran en algunos flujos basálticos permite inferir para la ocurrencia, los mismos procesos generales utilizados para explicar la formación de dicha estructura en las rocas ígneas: enfriamiento rápido y la contracción termomecánica severa,

conduciendo a la nucleación y propagación de las grietas. Explican que el aumento de las tensiones internas en las areniscas, habría sido responsable de la nucleación de polígonos, que condujo a la individualización de los prismas, que están interconectados por un sistema de articulaciones, formados primero por isotermas de bajas temperaturas y luego en sucesivos planos adyacentes hacia la fuente de calor del dique.

2.5 Análisis de las informaciones relacionadas a las areniscas de Aregua

Eckel (1959), fue el primer autor en referirse al área y menciona a las areniscas columnares en colinas al sur y oeste de Areguá, como cuerpos pequeños de areniscas arcósicas, que por su apariencia externa y relaciones geológicas se parecían más a rocas ígneas traquíticas; pero no pudo explicar su origen y las consideró depósitos inusuales, señalando la existencia de canteras pequeñas a 2 km al Sur de la ciudad, que por su descripción se presume se trata de los Cerro Kói y Chorori, de donde se extraían para uso como material de construcción “*pseudotraquitas*” como finalmente las denominó.

Miraglia (1965), atribuye la “*metamorfosis*” de las areniscas al volcanismo que denomina postpliocénico y menciona que se trata de estratos de primas de areniscas, inclinados 45° hacia el levante y poniente, convergiendo en la cumbre del cerro como planos inclinados de un techo; los describe con formas regulares, generalmente pentagonales, que al quebrarlas se presentan de color rosa o gris claro. Llamó la atención que estaban siendo explotados desde la cumbre hasta la base del cerro y que estos se utilizan para empedrado y para construcción de muros; hace énfasis a que las areniscas estarían metamorfizadas y no serían de naturaleza volcánica.

Palmieri y Velazquez (1982), incluyen como ejemplo en sus gráficos una fotografía de las areniscas columnares del Cerro Kói de Aregua y mencionan la manifestación de las areniscas rojas de la Formación Misiones en el departamento Central, al Sur de la falla de Ypacaraí hasta las cercanías de Paraguari, en una franja de dirección NW-SE de 15 a 20 km. de ancho. Litológicamente describen a esta formación en facies sedimentarias, en la base fluvial, con areniscas arcillosas de color rojizo de grano grueso a fino con estratificación plano-paralela a cruzadas, y en

la parte superior, a facies eólico-dunar de deposición, atribuyéndolas con edad desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Inferior.

Arribas y Latorre (1992), explicaron el origen de la disyunción en las areniscas, como el resultado de la modificación de las areniscas Piribebuy pertenecientes a la Serie Caacupe; mencionan que las rocas en algún momento estuvieron constituidas por ópalo, y que desde el punto de vista mecánico se comportó como una sustancia amorfa, explicando así la fracturación de las areniscas citando a Frondel 1962 que dice “la deshidratación de grandes masas de ópalo va acompañada por una gran contracción”, demostrando así que las fracturas se deben a efectos tensionales y no tectónicos, que se desarrollaron alrededor de centros de contracción, por enfriamiento o desecación, dando lugar a una fracturación más regular cuanto más homogéneo es el material, y más uniforme el enfriamiento, y cuando los centros están ordenadamente distribuidos, las tensiones resultantes dan origen a hexágonos regulares que en sentido vertical, están rodeados por superficies curvas. En su trabajo resumen el proceso de formación de estas disyunciones en cinco acontecimientos:

1. Deposición de los sedimentos silíceos, que consideraron pertenecientes a la Serie Caacupe.
2. Diagénesis de las areniscas Piribebuy, con cristalización de cemento silíceo en continuidad óptica con los granos de cuarzo y deposición de calcedonia en la superficie de los mismos.
3. Circulación de aguas hidrotermales a través de las fracturas y niveles porosos de las areniscas Piribebuy. Dichas aguas químicamente activas, habían dado lugar, primero, a la disolución, y al reemplazamiento por sílice coloidal, después, del cemento, la matriz y parte de los granos de cuarzo.
4. Enfriamiento de la roca y cristalización del ópalo una vez finalizada la actividad geotérmica, lo que dio lugar a una marcada disminución de volumen.

5. Poligonización de la roca como consecuencia de las tensiones creadas durante el proceso de contracción.

Martins Sallun (1996), identifica a las areniscas que presentan disyunciones columnares como eólicas de la Formación Patiño, señalado un origen relacionado con hidrotermalismo derivado de la colocación sin sedimentar de diques de rocas ultra-alcalinas de dirección NW-SE; menciona que existen dos tipos de depósitos de sistemas de abanicos aluviales, generados por procesos de flujos gravitacionales inducidos por tectonismo y de lluvias de corta duración, con contribución piroclástica y posterior retrabajamiento y deposición eólica.

Fernandez, *et al.*, (2008), identifican a las areniscas columnares, como areniscas eólicas rojizas de la Formación Patiño y que son resultado de una interacción dinámica entre la intrusión de diques nefeléníticos, que tiene como alta proporción de sobrecrecimiento de cuarzo sintaxial y una porosidad originada inicialmente por disolución y más tarde por relleno parcial y fracturamiento. Mencionan que los depósitos eólicos están representados moderadamente por una clasificación de areniscas rojizas sin matriz intersticial, que muestran conjuntos métricos de estratificación cruzada.

2.5.1 Características texturales y mineralógicas

Fernandez, *et al.*, (2008), se refieren a las areniscas que no sufrieron modificaciones, como arenisca Tipo I, y hacen mención de su madurez mineralógica como madura, clasificándola como cuarzo arenita, con textura de grano fino a medio, de clasificación granulométrica pobre a moderada, con granos redondeados, con cemento de minerales filosilicatados con textura criptocristalina, cuyo color naranja que es debido a la asociación de óxidos de hierro coloidales e hidróxidos, con caolinita como mineral cementante dominante y con arreglos alargados que indican un origen autigénico. Con respecto a las areniscas columnares, las denominan areniscas Tipo II, con granos de cuarzo de formas subredondeados, casi esferoidales, con más del 95% de cemento rico en cuarzo y material arcillo-ferruginoso con crecimiento sintaxial con límite externo suturado en contacto con los clastos, con textura de superficie con pequeños poros y entradas, que representan la transición suave, pero corroída superficie del grano a la textura porosa del cemento de cuarzo,

consideran la ausencia de constituyentes metaestables, con existencia de sustancias coloidales de baja cristalinidad.

2.6 Geología Regional y Tectónica

El Graben de Ypacarai ha sido considerado como una estructura muy importante del Paraguay. El valle tectónico de Ypacaraí, posee flancos empinados que se extiende desde el NW a SE, desde Be

njamin Aceval y Paraguari, formando el segmento occidental del Rift de Asunción de edad Cretácico. Un tercio de la porción norte del graben está cubierto por el lago Ypacaraí, 15 a 20 km de largo, de 5 a 8 km de ancho y una profundidad media de 3 m, ubicado a unos 47 km de Asunción. (Fernandez *et al.*, 2008)

El relieve regional ha sido generado por dos eventos tectónicos en donde Comin-Chiaramonti, *et al.*, (1997) y Velázquez, *et al.*, (1998), consideran que el magmatismo potásico alcalino del Cretácico, ampliamente distribuido en el segmento central, se relaciona con el régimen tectónico extensional responsable para la instalación del Rift de Asunción y este lo caracteriza.

Berrocal y Fernandes (1996), mencionan que el segundo evento tectónico se inició en el Paleógeno y hasta el día de hoy, sigue provocando movimientos sísmicos discretos de baja amplitud en la región. En el trabajo publicado por Comin-Chiaramonti, *et al.*, (2007) se menciona que la fase de deformación ha estado acompañada por la intrusión de diques, taponés y necks de rocas ultra-alcalinas sódicas de edad del Paleoceno, perteneciente a la Provincia de Asunción.

Según Riccomini, *et al.*, (2001), el segundo evento fue de intensidad más fuerte que el primero, generando profundas fallas y cambios regionales del gradiente geotérmico y también ejerce alguna influencia sobre el control de la sedimentación terrígeno de la Formación Patiño.

2.7 Consideraciones sobre la Formación Patiño

La denominación Patiño, se debe a Spinzi (1983), que llamó conglomerado Patiño a sedimentos estudiados en un levantamiento geológico del Cerro Patiño en Areguá y sus alrededores.

Gómez (1985) también menciona que se presenta al W del Río Paraguay, en Benjamín Aceval y Villa Hayes. El Proyecto PAR 85/003 (1986), atribuye el inicio de la sedimentación de la Formación Patiño al Cretácico Superior, pero descrito como de edad Cenozoica Inferior teniendo en cuenta la finalización de su deposición. Esta unidad está constituida por sedimentos conglomeráticos en la base y arenosos hacia el techo, con fuerte coloración roja, aflorando desde Asunción, hacia el Sureste hasta Caballero, en la depresión de Ypacaraí, asociada al Alto de Asunción. Menciona además, que los afloramientos más arenosos están alrededor de Asunción y a lo largo de la depresión de Ypacaraí y que fueron por mucho tiempo confundidas con las areniscas de la Formación Misiones y así presentadas en varios mapas geológicos del Paraguay (H. Harrington, 1950 y 1956; Putzer, 1962; y Wiens, 1982) y en ese trabajo presento como propuesta formal la denominación de una nueva unidad litoestratigráfica con la denominación de Grupo Patiño.

El Cerro Kóí, dista a 1 km. del área urbana de la ciudad de Areguá, y se puede acceder a él por medio del ramal que une a esta ciudad con Capiatá, también se puede llegar al sitio siguiendo la Ruta N°2, girando a la izquierda en la ciudad de Capiatá, a la altura de la Escuela Militar “Francisco Solano López”, siguiendo la carretera por uno 5 km. aproximadamente; cabe resaltar que ambas vías de acceso son transitables en todo tiempo.

3.3 Vegetación

En cuanto a vegetación se refiere se distingue principalmente tres tipos vegetación del valle constituyen campos donde predominan las gramíneas y marcan una transición entre los bosques de ladera y la vegetación de cumbre con Sabanas arbolada de *Acronomia aculeata* Mart “mbocaja”, la vegetación de ladera constituida por sabanas y un bosque degradado y la vegetación de cumbre constituida formaciones de *Anadenanthera colubrinavar*, cebil “kapukutu”, entremezclada con matorral de vegetación ruderal. (Soria y Basualdo, 2004)

3.4 Etapas de Metodología

Primero se realizó un trabajo de gabinete, que consistió en recopilar la mayor cantidad de informaciones disponibles referentes al área de estudio, vías de acceso, geomorfología, topografía, redes hídricas, utilizando mapas topográficos y geológicos, estudios previos, y cualquier información básica relacionada al tema.

Para el desarrollo de segunda etapa se realizaron dos visitas al área de estudio, donde se corroboraron los datos preexistentes y se tomaron datos in situ, como ser litología, características de los afloramientos de las areniscas próximas a las areniscas columnares y toma de muestras de estos afloramientos, marcando las coordenadas UTM.

Se tomaron muestras de afloramiento de las areniscas próximas al emplazamiento de las areniscas columnares con el fin de analizar su textura y madurez; es importante resaltar que estas se presentan en forma masiva, sin estratificaciones cruzadas que son características de areniscas de ambiente de sedimentación eólico, como se puede observar en la figura.



Figura 3. a) y b) Afloramiento de areniscas masivas de color rojo.

En Laboratorio de Petrografía del Departamento de Geología, de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, de la Universidad Nacional de Asunción, se estudiaron láminas delgadas de las areniscas columnares y también se realizó el estudio petrográfico de las muestras de afloramiento, se describió todo lo observado, se tomaron registros fotográficos; con estos resultados y junto con los datos obtenidos en campo se formularon las discusiones y conclusiones respectivas.



Figura 4. (a) y (b) Proceso de montaje para la observación y microfotografía de muestras de mano de afloramiento de areniscas.

La última etapa del trabajo, consistió en la elaboración de un informe, en el cual el contenido incluye los resultados de todas las interpretaciones realizadas, de las observaciones en el campo, con los datos recopilados desde el punto de vista geológico, se presentó el informe y finalmente se defendió.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Láminas delgadas de areniscas columnares.

De acuerdo al estudio petrográfico por medio de láminas delgadas se pudieron determinar las características mineralógicas y texturales de una roca sedimentaria clástica, de grano medio, constituida por componentes clásticos principales de cuarzo, con formas irregulares, con bordes de corrosión como se muestra en la figura 5.



Figura 5. (a) Minerales de cuarzo con bordes corroídos en luz polarizada, Aumento 4x.

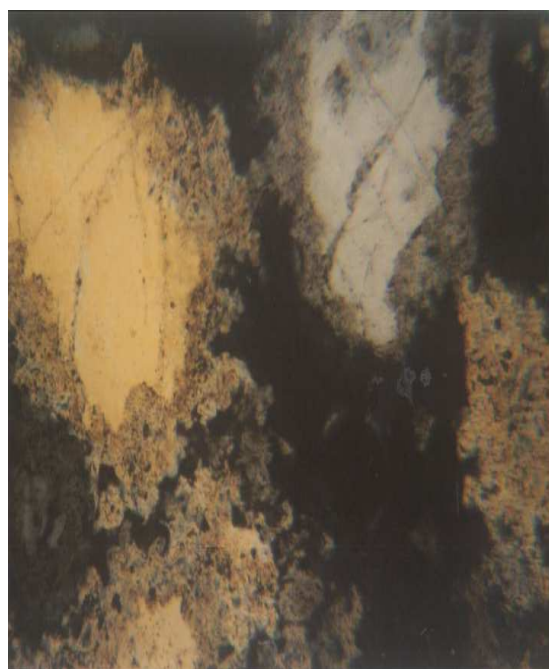


Figura 5. (b) Minerales de cuarzo con bordes corroídos en luz polarizada, Aumento 10x

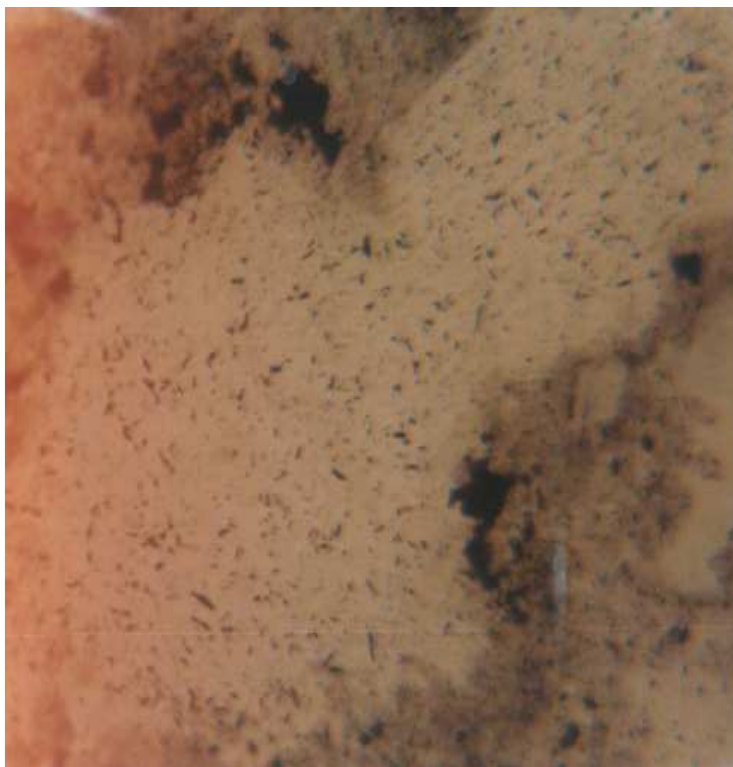


Figura 6. Mineral de cuarzo con bordes corroídos en luz paralela, con abundante inclusiones de minerales opacos. Aumento 10X

Además, ocurre feldespato alcalino como componente clástico secundario que es debido a su escasa proporción, puede observarse en la figura 7, es posible identificarlo por su característica macla de Carlsbad



Figura 7. Feldespato alcalino con macla de Carlsbad en luz polarizada.

En la siguiente figura, se observa la presencia de arcilla ferruginosa, como componente de la matriz.

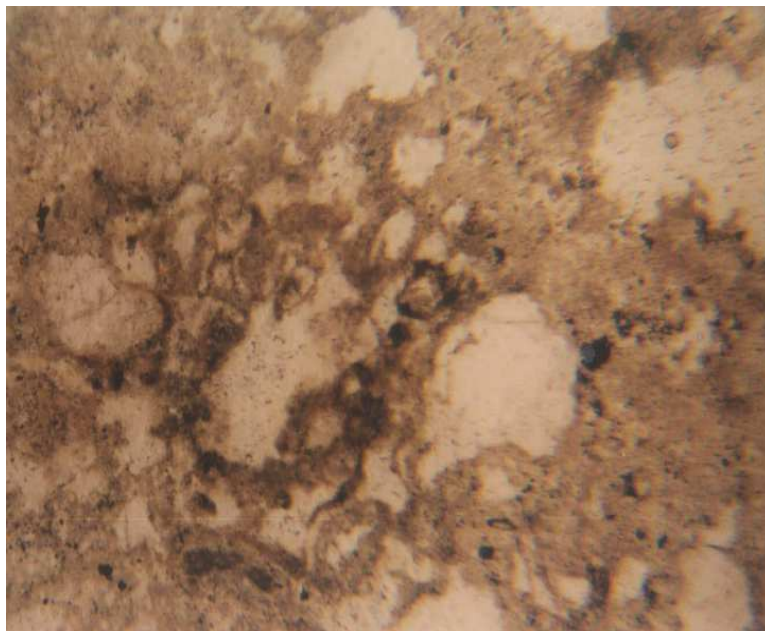


Figura 8. Minerales de cuarzo en matriz arcillo-ferruginosa en luz paralela.

La sílice amorfa, que es la causante de la modificación de las características texturales de las areniscas se encuentra como cemento, esto se observa en las figuras 9(a) y (b).



Figura 9. (a) y (b) Minerales de cuarzo con cemento de sílice amorfa, en luz polarizada. Aumento 10x

4.2 Muestras de mano de afloramiento de areniscas próximas a las columnizaciones

Las muestras de afloramiento de rocas emplazadas en el área circundante a las areniscas columnares, fueron estudiadas con lupa y corresponden a una arenisca, roca sedimentaria, detrítica de grano medio, cuarzosa, con granos subredondeados y subangulosos, algunos pocos granos redondeados, presentando una mala selección, en una matriz arcillosa con cemento ferruginoso, que puede observarse en la figura 10, por medio la microfotografía tomada en el Laboratorio de Petrografía de la FaCEN y también por la microfotografía extraída de Fernandez et al., (2008) mediante la figura 11.



Figura 10. Microfotografía en estereomicroscopio de la muestra de mano de la arenisca del Cerro Koi, sin disyunción columnar.

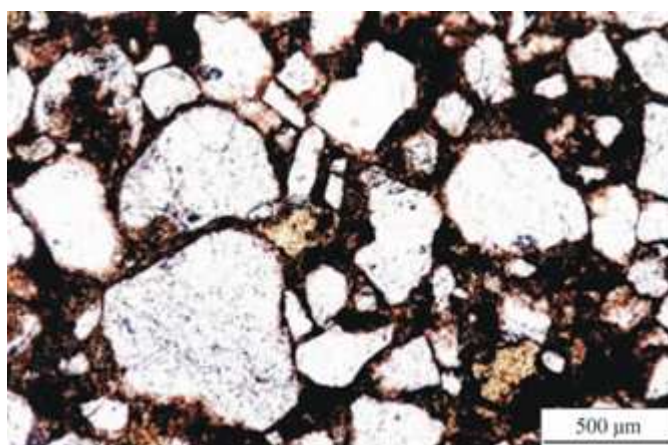


Figura 11. Microfotografía en luz no polarizada en microscopio petrográfico de la muestra de mano de la arenisca del Cerro Koi, sin disyunción columnar. Extraído de Fernandez et al (2008)

5. CONCLUSIÓN

Con los resultados obtenidos por medio de estudios petrográficos de láminas delgadas de areniscas columnares de Cerro Kói, no se puede determinar el ambiente de sedimentación, esto debido a que en las láminas delgadas no se aprecian las formas de los clastos de cuarzo, ya que estos se encuentran completamente corroídos.

Esto se debe a las modificaciones sufridas por la roca al momento de la formación de las estructuras columnares, entonces no es posible el reconocimiento de las características texturales originales de la roca, y por lo tanto no aportan toda la información necesaria para poder determinar el ambiente de deposición de los sedimentos.

Sin embargo, los estudios realizados a las láminas delgadas de areniscas columnares, aportan datos de características de madurez mineralógica de la roca, puesto que se reconocieron clastos de feldespatos alcalinos con su característica macla de Carlsbad, indicador de que no se trata de una roca completamente madura.

A partir de los estudios petrográficos de muestras afloramientos de areniscas próximas a las columnizaciones junto con datos obtenidos en el área de estudio, se pudo determinar el ambiente de sedimentación las areniscas presentes en Cerro Kói, tratándose de un ambiente fluvial. Esto se ve fundamentado en la disposición masiva de los afloramientos de las areniscas, y por las características texturales de las rocas observadas a la lupa, como ser la forma subredondeada y subangulosa de los clastos y la mala selección que indican una deposición de en ambiente fluvial.

ANEXOS

Anexo 1**LEY N° 179/93****QUE DECLARA MONUMENTOS NATURALES AL CERRO KOI Y AL
CERRO CHORORI****EL CONGRESO DE LA NACIÓN PARAGUAYA SANCIONA CON FUERZA
DE LEY**

Artículo 1°.- Declárese de interés público la protección, conservación y manejo de los Cerros de Areniscas Columnares, y sus áreas adyacentes, denominados Cerro Koi de 12 (doce) hectáreas y el Cerro Chorori de 5 (hectáreas), ubicados en el Distrito de Aregua, Departamento Central. El ejercicio de los derechos sobre los citados Cerros, sean estos de propiedad privada o pública, quedan sometidos a las restricciones y limitaciones establecidas en esta Ley y las reglamentaciones que de ella deriven.

Artículo 2°.- Son objetivos fundamentales de esta Ley:

Declarar monumentos a los Cerros Koi y Chorori, ubicados en el distrito de Aregua, Departamento Central.

Prohibir todo tipo de explotación de las Areniscas Columnares de los Cerro Koi y Chorori

Proteger y conservar los Cerros Koi y Chorori en su estado natural; y,

Promover ante las organizaciones comunales locales, regionales y nacionales, formas alternativas de uso de las Areniscas Columnares, como ser el turismo ecológico, la formación de guía turismo ecológico, el hermoseamiento y mejoramiento de las adyacencias de las citadas formaciones ecológicas y cualquier otra actividad de promoción de los recursos naturales biológicos y geológicos de los alrededores de los Cerros que no afecten a la integridad geológica de los Monumentos Naturales declarados en el inciso a) de este artículo.

Artículo 3°.- El Ministerio de Agricultura y Ganadería, a través de la Dirección de Parques Nacionales y Vida Silvestre, efectuara la delimitación de las áreas que corresponderán a los Monumentos Naturales mencionados en el Artículo 1° de esta

Ley, en coordinación con otras dependencias del Estado, cuya participación se considere pertinente.

El Ministerio de Agricultura y Ganadería, igualmente, se encargara del manejo técnico y administrativo de los mismos.

Artículo 4°.- El Ministerio de Agricultura y Ganadería velara por el cumplimiento de la prohibición establecida en el inciso b) del Artículo 2° de esta Ley.

Artículo 5°.- Facultase al Ministerio de Agricultura y Ganadería a iniciar los trámites pertinentes para la compra de las fracciones restantes de los Cerros Koi y Chorori, a objeto de incorporarlos al patrimonio del Estado, juntamente con la fracción donada y aceptada por Decreto N° 18.123 del 21 de octubre de 1986.

Artículo 6°.- Comuníquese al Poder Ejecutivo.

Aprobada por la H. Cámara de Diputados a los veinticinco días del mes de marzo del año un mil novecientos noventa y tres y por la H. Cámara de Senadores, sancionándose la Ley, a los tres días del mes de junio del año un mil novecientos noventa y tres.

Asunción, 23 de junio de 1993

Téngase por Ley de la Republica, publíquese e insértese en el Registro Oficial



Anexo 2. Areniscas columnares. Cerro Kói. Aregua. Paraguay



Anexo 3. Areniscas columnares a la izquierda y dique caolinizado a la derecha.



Anexo 4. Transición de areniscas columnares y areniscas masivas sin columnizaciones cortadas por un dique.



Anexo 5. Detalle del dique de roca ígnea caolinizado.



Anexo 7. Trabajo de laboratorio y toma de microfotografías.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Adams, A.E., Guilford, C., MacKenzie, W.S. 1995. Atlas of sedimentary rocks under the microscope. 1995

Arche, A. 2010. Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria. España.

Arribas, A., Latorre C.O., 1982. El origen de la disyunción columnar en areniscas, caso de las cuarciaarenitas de Aregua (República del Paraguay). *Tecniterrae* 321.

Berrocal, J., Fernandez, C. 1996. Seismicity in Paraguay and neighbouring regions. Sao Paulo.

Comin-Chiaraminti, P., Cundari, A., Piccirillo, E., Gomes, C., Castorina, F., Censi, P., De Min A., Marzoli, A., Speziale, S., Velázquez, V. 1997. Potassic and sodic igneous rocks from Eastern Paraguay: their origin from the lithospheric mantle and genetic relationships with the associated Paraná flood tholeiites. *Journal of Petrology*. Tomo 38. Brasil.

Comin-Chiaraminti, P., Marzoli, A., Gomes, C., Milan, A., Riccomini, C., Velázquez, V., Mantovani, M., Renne, P., Tassinari, C., Vasconcelos, P., 2007. The origin of Post-Paleogenomagmatism in Eastern Paraguay. *Geological Society of America, Special Paper*.

Eckel, E., 1959. *Geology and Mineral Resources of Paraguay- A Reconnaissance*. Washington.

Fernández, V., Fonseca G. P., Ricomini C., Sallun A., Hachiro, J., De Barros Gomes, C., 2008. Columnar joints in the Patiño Formation sandstones, Eastern Paraguay: a dynamic interaction between dyke intrusion, quartz dissolution and cooling-induced fractures. San Pablo, Brasil,

Goehring, L., Morris, S., 2004. The scaling of columnar joints in basalt: *Journal of Geophysical Research*.

Gómez, D., 1986. Contribución al conocimiento de la geología del norte del Chaco paraguayo, Lagerenza, MOPC, Paraguay.

González, B., 2005. *Complemento Teórico de Rocas Sedimentarias Clásticas*. Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Nacional de Cuyo.

Grossenbacher, K., McDuffie, S., 1995. Conductive cooling of lava: columnar joint diameter and stria width as functions of cooling rate and thermal gradient: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*.

Hayes, J.B., 1979. Sandstone diagenesis. The hole truth. In: *Aspects of Diagenesis*. P.A Scholle y P.R Schluger edit.

Mallet, R., 1874. On the origin and Mechanism of production of the Prismatic (or columnar) structure of Basalt: Proceedings of the Royal Society of London.

Mendoza, A., Gargan G., Gutierrez J., 2010. Estudio geoquímico y petrográfico integrado, de las areniscas pertenecientes a la Formación Cerro Pelado (Mioceno). Cuenca de Falcón, Venezuela: implicación sobre proveniencias y procesos diagénéticos. Universidad Central de Venezuela Instituto de Ciencias de la Tierra. Caracas.

Mendoza, J., Asillo, J., Cabana E., Guiza, C., Maquera R., Cruz, C., Colana., J., 2013. Rocas Sedimentarias. Curso de Petrología. Universidad Nacional de Moquegua. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.

Miraglia, L., 1965. Volcanismo Postpliocénico del Paraguay. Revista de la Sociedad Científica del Paraguay Tomo VII. Asunción.

Montijo, A. Año 2010. Manual de Cátedra de Petrología de Rocas Detríticas. Universidad de Sonora. Departamento de Geología. México.

Muller, G., 1974. Sediments and sedimentary rocks 1. New York.

Palmieri J.H., Velázquez J.C., 1982. Geología del Paraguay. Colección Apoyo a Cátedra. Serie Ciencias Naturales. Ediciones Napa. Asunción.

Pettijohn, F.J., 1980. Rocas Sedimentarias. Eudeba Manuales. Argentina.

PROYECTO PAR 83/005., 1986. Mapa Geológico del Paraguay Texto Explicativo. Asunción. Paraguay.

Riccomini, C., Velázquez, V., Gomes, C., 2001. Cenozoic lithospheric faulting in the Asunción Rift. Journal of South American Earth Sciences, Tomo 14.

Sánchez, E., Osorio M., 2008. Geología y Petrogénesis de Primas Basálticos. Revista de GeoCiencia. Servicio Geológico Mexicano.

Sandoval, M. E., 2000. Diagénesis de Areniscas. Caracas Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.

Sallum, A. E., 1999. Relaciones entre la tectónica y la sedimentación Cenozoica en la Región del Graben de Ypacarai (Rift de Asunción, Paraguay Oriental). Trabajo de Formatura. Universidad de San Pablo, Instituto de Geociencias, Brasil.

Soria, N., Basualdo I., 2004. La vegetación de los Cerros Kói y Chorori, Dpto. Central Paraguay. Departamento de Botánica de la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay.

Spinzi, A., 1983. Consideraciones sobre una Formación de conglomerados en Aregua y alrededores. Informaciones Científicas. Asunción. Paraguay.

Spinzi, A., 1996. Meta-areniscas columnares del Cerro Coi y Chorori Aregua, Paraguay.

Velázquez, V., Riccomini, C., Gomes C., Figueredo, L., Figueredo C., 1998. Relaciones Tectónicas del magmatismo alcalino del Paraguay Oriental. Revista del Instituto Geológico. Tomo 19. Brasil.

Weinberger, R., 2001. Evolution of polygonal patterns in stratified mud Durand desiccation: The role of flaw distribution and layer boundaries: Geological Society of America Bulletin.

Williams, H., Turner F.J., Gilbert, C.M., 1953. Petrografía. Introducción al estudio de las rocas en secciones delgadas. University of California, Berkeley.

maps.google.com.py/maps?client=firefox-a&rls=org.mozilla:es-ES:official&channel=fflb&biw=1280&bih=920&noj=1&um=1&ie=UTF-8&fb=1&gl=py&cid=17210047486447403466&q=Cerro+K%C3%B5i&sa=X&ei=jzocVLviJK7hsASRi4HABg&ved=0CKQBEPwSMBA

<http://www.bacn.gov.py/OTcx&ley-n-179>