

# **Caracterización de las ocurrencias de caolín en afloramientos de la Formación Vargas Peña al Este y al Oeste de la Falla de Ypacarai**

**NÉSTOR DAMIAN SALINAS FRANCO**

Orientador: Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín

Co-Orientador: Prof. MSc. Ángel María Spinzi Mendonca

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.

Universidad Nacional de Asunción

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

San Lorenzo - Paraguay

Noviembre - 2014

# **Caracterización de las ocurrencias de caolín en afloramientos de la Formación Vargas Peña al Este y al Oeste de la Falla de Ypacaraí**

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.

**NESTOR DAMIAN SALINAS FRANCO**

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. María Mercedes Arias.....

Prof. MSc. **HIGINIO MORENO RESQUIN**

Orientador

A mis Padres Sergio Salinas y María Elena Franco de Salinas

A mis Hermanos Ricardo, Cristián, Fátima, Ilse y Romina.

**DEDICO**

## **AGRADECIMIENTO**

A mi padre Sergio Salinas y a mi madre María Elena Franco de Salinas, me dieron las herramientas, el apoyo incondicional durante todo mi emprendimiento, en los momentos difíciles estuvieron firmes en su apoyo y siempre creyeron en mi capacidad para sortear obstáculos en la vida.

Al Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín por la orientación, motivación, paciencia y fuerza brindada durante la confección de este trabajo.

Al Prof. MSc. Ángel María Spinzi Mendonca por su paciente orientación y por brindarme valiosa información para encontrar el rumbo en esta investigación.

Al Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba por sus enseñanzas durante el desarrollo de mis estudios, por ser un modelo a seguir y por sus conocimientos que me influenciaron en gran manera.

Al Prof. Lic. Moisés Alejandro Gadea Villalba por su apoyo y aporte de gran valía en el transcurso de mis estudios.

A los Profesores Prof. Lic. Darío Gómez Duarte, Prof. Lic. Luis García, Prof. Lic. Alfredo Garcete, Prof. Dra. Ana María Castillo y a todo el plantel docente que tuve como profesores y a los que de alguna manera influenciaron en mi durante todo el transcurso de mis estudios aportando en mi crecimiento académico.

A mis compañeros, más que compañeros fueron amigos Gabriel Rótela, Sebastián Mayer, Federico Arguello, Ana Sofía Arguello, Liz Maidana y Liz Patiño que siempre me brindaron su apoyo en todo momento, y con los que compartí gratos momentos dentro y fuera de la facultad.

A mis compañeras en esta última materia Yennifer Sarubí y Lourdes Genez, por compartir momentos de charla, experiencias y apoyo en la realización del Trabajo de Grado.

Y por último agradezco a todos los compañeros de la carrera, que de alguna u otra manera forma aportaron para mi desenvolvimiento académico y como persona.

**Caracterización de las ocurrencias de caolín en  
afloramientos de la Formación Vargas Peña al Este y al  
Oeste de la Falla de Ypacaraí**

Autor: Néstor Damian Salinas Franco

Orientador: Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín

Co-Orientador: Prof. MSc. Ángel María Spinzi Mendonca

# **Caracterización de las ocurrencias de caolín en afloramientos de la Formación Vargas Peña al Este y al Oeste de la Falla de Ypacarai**

Autor: Néstor Damian Salinas Franco

Orientador: Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín

Co-Orientador: Prof. MSc. Ángel María Spinzi Mendonca

## **RESUMEN**

Las ocurrencias de caolín tanto al Este y al Oeste de la Falla de Ypacarai son grandes afloramientos de capas arcillosas interestratificados que pertenecen a la Formación Vargas Peña, del Periodo Silúrico Inferior (Llandoveryano 435 M.a), son lutitas caoliniticas fosilíferas de colores variados blanco, gris, amarillo y rojizo debido a los óxidos que presentan. La investigación se divide en dos zonas de estudio tanto al Este y al Oeste tomando como referencia la Falla de Ypacarai, contrastando que, la Zona Oeste presenta mejores afloramientos, pero restringidos por el buzamiento que presentan, tanto las dos zonas de estudio presentan mineralizaciones de hierro que reducirían gradualmente su punto de fusión a pesar del alto contenido en caolinita que la eleva potencialmente, no obstante los afloramientos de Cerro Guy y Toro-py Loma presentan mayor interés desde el punto de vista refractario.

Palabras claves: Caolín, Formación Vargas Peña, afloramiento.

# **Characterization of the occurrences of kaolin outcrops Vargas Peña Formation East and West of the fault Ypacarai**

Author: Néstor Damian Salinas Franco

Advisor: Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín

Co-Advisor: Prof. MSc Ángel María Spinzi Mendonca

## **ABSTRACT**

The occurrences of kaolin both east and west of the fault Ypacarai are large outcrops of interbedded clay layers belonging to the Vargas Peña Formation, Lower Silurian Period (435 M.a. to Llandovery), kaolinitic shales are fossiliferous in various colors white, gray, yellow and red oxides because they present. The research was divided into two study areas both east and west by reference Ypacarai Fault, contrasting that Westside has better outcrops, but restricted by the dip having both the two study areas have mineralization gradually reduced iron melting point despite the high kaolinite content that potentially raises nevertheless outcrops Cerro Guy and Toro - py Loma greater interest from the point of view of the refractory.

Keywords: Kaolin, Vargas Peña Formation, outcrop.

# **Caracterização das ocorrências de caulim em afloramentos da Formação Vargas Peña Leste e Oeste da falha de Ypacarai**

Autor: Néstor Damian Salinas Franco

Orientador: Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín

Co-Orientador: Prof. MSc Ángel María Spinzi Mendonca

## **RESUMO**

As ocorrências de caulim tanto a leste e oeste da falha de Ypacarai são grandes afloramentos de camadas de argila intercalados pertencentes à Formação Vargas Peña, Lower Período Siluriano (435 M.a. para Llandovery), xistos caulínicas são fossilífero em várias cores branco, cinza, amarelo e vermelho, devido a óxidos ter. A pesquisa foi dividida em duas áreas de estudo, tanto leste e oeste por referência Ypacarai Fault, contrastando que Westside tem melhores afloramentos, mas limitada pelo mergulho com ambas as duas áreas de estudo têm mineralização gradualmente reduzido ponto de fusão de ferro, apesar do alto teor de caulinita que potencialmente aumenta, no entanto, afloramentos do Cerro Guy e Toro-py Loma maior interesse do ponto de vista do refratário.

Palavras-chave: caulim, Formação Vargas Peña, afloramento.

## TABLA DE CONTENIDO

1) INTRODUCCION.....	1
2) REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 Arcilla.....	3
2.2 Grupo de las Arcillas .....	4
2.2.1 Caolin.....	4
2.2.2 Subgrupo del Caolin .....	4
2.2.3 Mineralogía de la caolinita .....	5
2.2.3.1 Propiedades físicas .....	5
2.2.3.2 Composición química .....	5
2.2.3.3 Yacimiento y origen .....	5
2.2.3.4 Características distintivas .....	6
2.3 Usos del Caolin .....	6
2.4 Tipos de Arcillas caoliniticas o caolin ( <i>sensu lato</i> ) .....	7
2.4.1 Caolin ( <i>sensu stricto</i> ) .....	7
2.4.2 Arcillas Caoliniticas Plasticas .....	8
2.4.3 Arcillas Caoliniticas Refractarias .....	8
2.5 Marco geológico .....	9
2.5.1 Tectónica .....	9

2.5.2	Estratigrafía .....	10
2.5.2.1	Grupo Caacupe .....	10
2.5.2.2	Grupo Itacurubi .....	11
3)	MATERIALES Y METODOS .....	12
3.1	Descripción del área de estudio .....	12
3.1.1	Ubicación .....	12
3.1.2	Morfología .....	13
3.1.3	Climatología .....	13
3.2	Trabajo de Gabinete.....	13
3.3	Trabajo de Campo .....	13
3.4	Geología Regional .....	14
3.5	Geología Local .....	14
4)	RESULTADO Y DISCUSION .....	17
4.1	Zona de interés I: Afloramientos al oeste de la falla de Ypacarai.....	17
4.1.1	Cantera de Pirayu .....	17
4.1.2	Cantera de Ypacarai .....	18
4.1.3	Cantera en Itaugua .....	19
4.1.4	Cantera en Aregua .....	20
4.2	Zona de interés II: Afloramientos al este de la falla de Ypacarai ....	21
4.2.1	Cantera en Santa Elena .....	21
4.2.2	Afloramiento Tacuara Oviedo.....	23
4.2.3	Cantera Minas Cue .....	25

5)CONCLUSION .....	27
6)ANEXO .....	29
7)BIBLIOGRAFIA .....	36

## 1. INTRODUCCION

El caolín o caolinita mineralógicamente hablando es uno de los principales constituyentes de la lutita en la Formación Vargas Peña de edad Silúrica (Llando-veriano 435 Ma). Buenas exposiciones de caolín se encuentran en los sedimentos silúricos de esta Formación, que quedan muy bien expuestas a ambos lados de la falla de Ypacarai, en las localidades de Aregua, Itauguá, Ypacarai, Pirayú, Isla Pucu, Itacurubi, Santa Elena y Valenzuela. Las lutitas caoliniticas están bien estratificadas, son de color blanco grisáceo, pudiendo ocasionalmente estar teñidas de amarillo a rojizo debido a impregnaciones de óxidos de hierro (Palmieri, *et al.*, 1982).

Las comprendidas entre las edades ordovícico-silúricas, específicamente a los Grupos Caacupé e Itacurubi, en algunos casos en capas de pocos centímetros en zonas transicionales de las Formaciones Cerro Jhu y Tobatí, o en otros casos capas de buen espesor de hasta 3 m en límites de estratos entre las Formaciones Tobatí y Eusebio Ayala. Estas arcillas también ocurren en capas transicionales entre los Grupos Caacupé e Itacurubi, es decir entre las Formaciones Tobatí y Eusebio Ayala, respectivamente, en la compañía Ita Morotí, son arcillas caolinicas blancas, plásticas, aflorantes en el arroyo Tobatingua, el estrato mineralizado tiene poca inclinación y está asociado a las areniscas sacaroidales. Las comprendidas en el Grupo Itacurubi (Silurico inferior), son capas potentes interestratificados en las cuales no todas las capas son niveles de quema blanca, son lutitas caoliniticas con abundante fauna fosilífera corresponden a la Formación Vargas Peña, localizadas tanto al oeste como al este de la valle de Ypacarai. (Spinzi, 2002)

Paraguay con un enorme potencial geológico, la minería no metálica es una alternativa importante para el desarrollo de la economía, existe un sistema económico basado en el libre comercio, régimen de cambio libre, libre importación y exportación, liberación de impuestos a las inversiones mineras y libre movimiento de capitales. El propietario minero esta amparado por la Constitución y las leyes. Su propiedad esta registrada y controlada por mecanismos administrativos y

cartográficos confiables, que garanticen los límites de su propiedad. Los contratos de concesión están amparados por leyes y reglamentos bien claros que establecen mecanismos administrativos y judiciales confiables para solucionar los conflictos que pudieran estar relacionadas a las actividades mineras. (Gómez 1999, MOPC, DRM).

El primer informe sobre materiales arcillosos data de 1952, realizados por Eckel y Mazó, para la Dirección de Recursos Minerales del MOPC, dicho informe decía: “El Paraguay posee depósitos abundantes de arcilla apropiada para la mayoría de los tipos de cerámica y sin embargo importa una gran porción de sus necesidades”. La realización de este estudio, parte de la necesidad de caracterizar las ocurrencias del caolín material muy explotado en la cerámica de construcción, y no así para otras alternativas de utilización, que puedan ser más beneficioso desde el punto de vista socioeconómico y tecnológico del país, al ir ahondando más en el tema un mejor conocimiento de los recursos que posee un país determinara una adecuada utilización de los mismos.

Este trabajo no pretende resolver toda la problemática en sí del uso del caolín, más bien exponer a grandes rasgos alternativas válidas de su utilización, sacando un mayor provecho del mismo. Al ir recopilando trabajos anteriores y sus análisis, traerá consigo resultados desde el punto de vista de su contenido químico-mineralógico, en cada área que se ha estudiado anteriormente.

El interés de conocer mejor las ocurrencias de arcillas caoliniticas en la Formación Vargas Peña, específicamente parte de que es la mejor expresión en cuanto a potencia y conocimiento que ellas tiene, el interés de esta Formación no solo es económico y tecnológico si no desde el punto de vista de su riqueza cultural y científica, dado que posee una rica fauna fosilífera impregnada en estas lutitas del Periodo Silurico. Conocer más acabadamente las actuales explotaciones y/o extracciones, en esta formación, determinaría el grado de vulnerabilidad en algunas zonas y en otras que aun no están sometidas a explotación. Recomendar estas zonas vulnerables para su protección es uno de los objetivos propuestos.

## 2. REVISION DE LITERATURA.

### 2.1 Arcilla:

La palabra arcilla proviene del latín “*argilla*” y ésta del griego “*argos*” o “*argilos*” (=blanco), por el color del material usado en cerámica.

El termino arcilla, que se considera y define de muchas maneras, es variable y difícil de precisar. En edafología y sedimentología frecuentemente se usa como un tamaño ( $<2\mu$ ) que identifica un material heterogéneo, compuesto de minerales propios de la arcilla y otras sustancias, incluyendo fragmentos de roca, óxidos hidratados, geles y sustancias orgánicas. Petrográficamente se llama arcilla a una gran cantidad de materiales sedimentarios, de granulometría fina y mineralógicamente poco definidos. Desde un punto de vista tecnológico, los ceramistas llaman arcilla a materiales de textura fina que exhiben, cuando húmedos, propiedades plásticas, esto es, que pueden ser deformados permanentemente por acción de una presión, y que son refractarios. Químicamente por arcilla se designa una serie de sustancias que con frecuencia se identifican con el caolín y son de composición muy variable, incluyendo Si, Al, Fe, elementos alcalinos y alcalinotérreos. Arcilla designa también un producto de meteorización (Besoain, 1985).

Desde el punto de vista de su origen, la arcilla no tiene significado genético unitario ya que puede ser un depósito sedimentario, un producto de meteorización, un producto hidrotermal o ser el resultado de una síntesis. La imprecisión del termino arcilla radica en que conceptualmente es diferente para el ceramista, el geólogo, el edafólogo o el fabricante de ladrillos (Besoain, 1985)

El término arcilla se puede definir según el profesional que lo utiliza; para el industrial y el ceramista, las arcillas se refieren a toda masa que con cierto grado de humedad es sustentable a ser modelada que con porcentajes de agua adquieren plasticidad y moldeabilidad. Anónimo 1986, citado por (Dionisi, 1999)

Wiegner (1934) mencionado por Hoyos (1949) expuso que las arcillas son el resultado de la erosión física y química de una roca originaria, que produce un conjunto de partículas materiales de distintos tamaños. La presencia, además, de una fase líquida, necesaria para la existencia de un ataque químico, permite considerar a este conjunto como un sistema disperso.

## 2.2 Grupo de las Arcillas

### 2.2.1 Caolín:

Su nombre viene del término chino Kao: alta y Ling: colina, que indicaba en la provincia de Kiangsi, cerca de Jauchu Fa, el lugar donde los chinos encontraron por primera vez este tipo de arcilla al natural, su uso como pigmento está documentado en distintos pueblos (Galán, 2003)

### 2.2.2 Subgrupo del caolín:

El grupo de las arcillas puede ser subdividido en varios subgrupos o series con sus especies principales según (Heinrich, 1965):

#### Subgrupo de la caolinita (kaolinita)

Caolinita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

Anauxita,  $\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_7(\text{OH})_4$

Dickita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

Nacrita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

Halloysita

Halloysita hidratada,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Meta-halloysita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

Allofana,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (1-2) \text{SiO}_2 - n\text{H}_2\text{O}$

#### Montmorillonoides (esmectitas)

Montmorillonita,  $(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_2(\text{Si}_{4.3-5}, \text{Al}_{0-0.5})\text{O}_{10}(\text{OH})_2[\text{Ca}, \text{Na}, \text{Ca}]$

Beidellita,  $(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_2(\text{Si}_{3.5-3}, \text{Al}_{0.5-1})\text{O}_{10}(\text{OH})_2[\text{Ca}, \text{Na}, \text{K}]$

Nontronita,  $(\text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Mg})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2[\text{Ca}, \text{Na}]$

Saponita,  $(\text{Mg}, \text{Al})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

#### Subgrupo de la illita

Hidromoscovita,  $(\text{K}, \text{Na}, \text{H}_3\text{O})_2(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+})(\text{Si}_7, \text{Al})\text{O}_{20}(\text{OH})_4$

### **2.2.3. Mineralogía de la caolinita:**

#### **2. 2.3.1 Propiedades físicas de la Caolinita:**

Exfoliación basal perfecta {001}, dureza 2 en la escala de MOHS, peso específico 2,6. Brillo generalmente terroso mate; las laminas de cristal perlado Color blanco. A menudo se presenta con diversos colores, debido a las impurezas, generalmente untuoso plástico. Óptica (-);  $\alpha=1,553-1,565$ ,  $\beta=1,559-1,569$ ,  $\gamma=1,560-1,570$ ;  $2V = 24^\circ -50^\circ$ ,  $r > v$ . (Cornelis, 1997)

#### **2.2.3.2. Composición química de la caolinita:**

Es un silicato de aluminio hidratado cuya fórmula química es  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  la relación Al-Si varía desde 2: 2 hasta cerca de 2: 3. Los minerales con el contenido en Si más elevado se llaman anauxita. Forma, triclinico pseudomonoclinico, típicamente en escamas aplastadas u ovillos finos, de grano fino y/o contorno irregular. El material molido puede o no estar orientado según la exfoliación, dependiendo de la relación entre el tamaño del grano y tamaño de las partículas (Heinrich, 1965)

#### **2.2.3.3. Yacimiento y origen de la Caolinita:**

Es un producto de la meteorización de rocas ígneas y metamórficas, principalmente por alteración de los feldespatos ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ). También sustituye a los feldespatoides, cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), moscovita ( $\text{K}_2\text{Al}_4(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ ), berilo  $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$  y otros silicatos aluminicos. Es el principal mineral de la mayoría de las arcillas transportadas o residuales, en las que se encuentra asociada con la halloysita  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , cuarzo, ortoclasa, sericita, limonita, leucoxeno y materia carbonosa. Componente importante de algunas arcillositas, juntamente con illita, clorita y cuarzo. En cantidades variables de los suelos, bauxitas y algunas arcillas de alfarero (con diáspora). Puede originarse también como mineral hidrotermal por alteración arcillosa de rocas encajantes en yacimientos de sulfuros en filones y sustituciones, junto con halloysita y dickita. (Heinrich, 1965)

#### **2.2.3.4. Características distintivas de la caolinita:**

No se puede diferenciar de la anauxita por métodos ópticos, espaciados de rayos x o curvas térmicas; por lo tanto se necesita el análisis químico. La sericita, illita, talco y pirofilita tienen todas birrefringencias más elevadas. La dickita es ópticamente (+) y tiene un ángulo de extinción mayor; la nacrita tiene también un ángulo de extinción mayor. Los montmorillonoides tienen 2v pequeños y birrefringencia mucho más elevada. La misma montmorillonita tiene índices de refracción considerablemente menores. (Heinrich, 1965)

#### **2.3. Usos del caolín:**

El caolín o caolinita, es una arcilla blanca muy pura que se utiliza para la fabricación de porcelanas y refractarios. También es utilizada en ciertos medicamentos y como agentes absorbentes y de aprestos para almidonar. Cuando la materia no es muy pura, se utiliza en fabricación de papel. Conserva su color blanco durante la cocción. Las arcillas de quema blanca y semiblanca de los Grupos Caacupé e Itacurubi, pueden ser utilizadas para la producción de cerámica fina, sanitarios, vajillas (Tabla 1), base de esmaltes, cerámica artesanal, revestimientos, caños sanitarios, carga industrial y farmacéutica, refractarios y otros. (Dionisi, 1999)

Tabla 1. Composición y uso de la porcelana

Componentes	Masa fina %	Masa de 2da para platos %	Masa para aisladores%	Masa para vajillas	Masa de 2da para vajillas	Masa para pasta
Caolín de Halle	77	55	50,4	60	22,4	—
Arcilla de Halle	—	27,5	31,5	—	44,8	50
Caolín de Zettlitz	—	—	—	18	16,2	10
Feldespató	23	17,5	18,1	22	16,6	10
Pasta de porcelana cocida equivalente al						
Materia arcillosa	49	54	53	55	60	—
Cuarzo	28	28	29	22,5	22,5	—
Feldespató	23	18	18	22,5	17,5	—

Fuente: MOPC-DRM

#### 2.4 Tipos de arcillas caoliniticas o caolin (*sensu lato*):

Según Spinzi, *et al.*(1995), estas arcillas se pueden clasificar en tres tipos desde el punto de vista tecnológico y económico:

##### 2.4.1 Caolin (*sensu stricto*):

Corresponde a la variedad más pura de las arcillas caoliniticas en cuanto a porcentaje de caolinita presente en el recurso, y al mejor grado de ordenamiento cristalográfico, factores que influyen en las propiedades y permiten su amplia gama de aplicaciones tecnológicas.

El caolin es el producto de alteración, caolinización de rocas ricas en feldespató (Deer, *et al.*, 1992), como granitos, gneis y arcosas, por proceso de meteorización y/o

hidrotermal. Depósitos residuales “*in situ*” de caolín, pueden ser erosionados, transportados y depositados a cierta distancia del origen, formando un yacimiento sedimentario secundario, constituido por capas de caolín, de diverso espesor y pureza, normalmente interestratificado en secuencias sedimentarias. Los yacimientos de meteorización y los sedimentarios, son los de mayor interés, debido a su yacencia estratiforme, regular, que facilita la explotación mecanizada y por la reconcentración que ha ocurrido con el material transportado, en el caso de los yacimientos secundarios. Pueden contar 10 hasta 95 % de caolinita.

#### **2.4.2 Arcillas Caoliniticas plásticas:**

Es un material que se caracteriza por su alta plasticidad, color variable (gris claro, azul, pardo o negro) alta cohesión en seco, amplio rango de vitrificación y elevada refractabilidad. Se trata de una arcilla secundaria, compuesta en un 70% por caolinita desordenada, además illita, cuarzo, montmorrillonita, clorita y materia orgánica en forma de turba, lignito o como materia coloidal alcanzando promedios entre un 2% y 3% del total. Se utiliza en la elaboración de productos cerámicos que no tengan obligadamente que ser blancos. Son en su mayoría de origen sedimentario y asociados comúnmente con materia carbonosa que sugiere ambiente de depositación del tipo palustre. Los depósitos se presentan como cuerpos estratiformes lenticulares que varían considerablemente en dimensiones y propiedades de un depósito a otro y hasta en un mismo depósito.

#### **2.4.3. Arcillas Caoliniticas Refractarias:**

Corresponden a las distintas variedades de arcillas caoliniticas que se utilizan en la fabricación de productos refractarios que presentan una alta resistencia a temperaturas elevadas, sobre 1500 ° C, y a las transformaciones físico-químicas a estas condiciones. La refractariedad en estas arcillas esta dada por un alto contenido en alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) que permite su alto punto de fusión y por un bajo contenido de mica y compuestos de hierro, los que originan mezclas de bajos puntos de fusión (Kirsch, 1995). El rango de arcillas refractarias comprende, desde caolines plásticos y arcillas plásticas (*ball clay*), pasando por arcillas semiplásticas hasta arcillas de tipo *Flint clay*, duras (diageneizadas) y arcillas ricas en diásporo o bohemita ósea arcillas bauxititas.

## **2.5 Marco Geológico**

### **2.5.1. Tectónica**

Remanentes del Cartón Amazónico y de la faja Paraguai-Araguia están expuestas en la zona del Río Apa a lo largo de su límite con el Brasil, en el Área del Río Tebicuary y en el Alto de Asunción. Estos últimos contienen granitos en el área de San Bernardino y riolitas del área de Pirayú de edad brasiliana (573 m.a, K-Ar y 532 Rb-Sr) datación realizada en los trabajos de mapeamientos de la Cooperación Alemana BGR en conjunto con el MOPC-Viceministerio de Minas y Energía en 1999.

Harrington (1950), expreso que la región forma el borde occidental de la cuenca del Paraná, y todas las formaciones sedimentaria reposan sobre el sustrato precámbrico, inclinándose suavemente hacia el centro de la cuenca, esto es, que las capas paleozoicas mesozoicas se inclinan hacia el E y ENE con un ángulo promedio de 2 grados.

Ramos (1988, citado por Dionisi, 1999), el ciclo tectónico Brasiliano (700/450 Ma.) constituye el evento formador de la Cuenca del Paraná. Los primeros sedimentos depositados en la misma corresponden a edades neo-ordovícicas /eo-siluriana en su secuencia basal mas antigua.

En la evolución de la sedimentación de la Cuenca del Paraná, a partir del carbonífero superior sufre las consecuencias de la epirogénesis positiva Eohercyniana, en el interior del continente (López Gamundi, mencionado por Dionisi, 1999), estructurando las mismas condiciones del tipo rampa para la sedimentación de la secuencia permocarbonifera.

El Ciclo Tectónico Subatlántico reestructura nuevamente la cuenca a partir del triásico (Putzer 1962). Esta restructuración se realiza a consecuencia de la apertura del Atlántico Sur, dando origen en el interior del continente estructuras distensionales, que en Paraguay Oriental corresponde al Rift de Asunción.

El ciclo tectónico Andino, en el Paleógeno reactiva la estructura en general, permitiendo el emplazamiento de magmatitas y dando lugar a la morfología actual.

El Graben de Ypacaraí se presenta como un comportamiento deprimido, de orientación NW SE, encajado entre dos bloques levantados que configuran los bordes del segmento central del Rift de Asunción (Martins,1999). La Orientación del graben coincide con la dirección del principio tren estructural, obtenido a partir de lineamientos.

### **2.5.2 Estratigrafía**

La geología del Paraguay Oriental fue estudiada detalladamente por Harrington (1950), atribuyendo a parte de las unidades del Silurico como Devónicas, seguidas por Eckel (1959), pero los trabajos de Wolfart (1961) y Putzer (1962), la atribuyeron a estas unidades como del silúrico inferior (Llandoveryano). Harrington (1972) se retracto, y considero a las unidades estudiadas en un principio como del silúrico inferior.

#### **2.5.2.1 Grupo Caacupé**

Sus unidades afloran al NE de Asunción, en la cordillera de los Altos, desde el Valle de Ypacarai hasta la ciudad homónima, al sur existe una extensa faja desde villeta, Nueva Italia, Carapegua, Roque Gonzáles de Santa Cruz, Quiindy, Quiquyho y Mbuyapey. El Grupo esta representado por tres formaciones: Paraguari, Cerro Jhu y Tobati y su depositación empieza probablemente en el Ordovícico Superior. La Formación Paraguari, Constituye la secuencia basal del Grupo Caacupe y esta distribuido por todo el borde de la cuenca silúrica. Aflorando en la base de la Cordillera de los Altos, en San Bernardino, Paraguari, Quiindy entre otras, esta representado por sedimentos del tipo conglomeradico que pasan gradualmente a areniscas arcósicas, no superando los 20 metros de espesor, en contacto inferior con rocas del basamento Precámbrico-Eopaleozoico. Formación Cerro Jhu, tiene un contacto concordante con la formación Paraguari a la que sobre yace, el mayor espesor de esta formación es de 450 metros en el cerro del mismo nombre, las areniscas de esta formación presentan estratificación cruzada a subparalela arcósicas. Formación Tobatí, está constituida por areniscas friables sacaroides, en capas aparentemente macizas, Alvarenga (1985) atribuye un espesor de 150 metros para esta formación, el contacto basal es concordante con la formación Cerro Jhu, lo mismo ocurre con el contacto superior con la formación Eusebio Ayala. (PROYECTO PAR, 1986).

### 2.5.2.2 Grupo Itacurubi

Esta denominación recibe de la ciudad de Itacurubi de la Cordillera, que esta a una distancia de 86 Km. de Asunción, por la ruta 2. En esta región aflora una faja sedimentaria de dirección NW es paralela a la orientación del Grupo Caacupe, al W de la falla de Ypacarai, aflora a lo largo de esta línea de falla.. El grupo esta dividido por tres formaciones: Eusebio Ayala, Vargas Peña y Cariy. La Formación Eusebio Ayala esta constituida por areniscas en capas de 10 y 15 cms de espesor y lutitas en alternancia rítmica. Las areniscas presentan granulación fina y son frecuentemente micáceas, el contacto superior con la Formación Vargas Peña es igualmente transicional, posee un espesor aproximado de 200 metros. La abundancia de micas en las arenas de grano fino, la alternancia rítmica con las capas de lutitas, los fósiles marinos y la presencia de facies fluviales intercaladas, atribuyen a esta unidad un ambiente depositacional marino cerca de la línea de la costa, en bahías y golfos. La Formación Vargas Peña, representadas por lutitas micáceas blancas teñidas de amarillo, pardos y rojos. El máximo espesor de esta formación es de 80 metros al W del valle de Ypacarai y al Este no sobrepasa los 20 metros, el contacto inferior y superior es transicional, posee una gran cantidad de fósiles marinos, según Degraff (1982), la existencia fosilífera de edad silurico inferior (Llandoveryano), esta representado entre otros por: *Eocoelia paraguayensis*, *Ctenodonta sp.*, *Nuculites Brazilianus*, *Tentaculites sp.*, *Calymene boettneri*, *Climacograptus innotatus brasiliensis*, etc. La formación Cariy, constituida por areniscas cuarzosas y feldespáticas de grano fino a mediano, con estratificación cruzada e intercalaciones de lutitas y areniscas micáceas de grano fino. Su contacto inferior es transicional con la Formación Vargas peña, la superior esta presumiblemente en discordancia erosiva con las capas carboníferas, el espesor máximo de esta unidad es de 100metros, la asociación fosilífera presente en esta unidad sugiere un ambiente de sedimentación de marino somero, nerítico proximal a orilla del mar, en ensenadas y golfos, con fuerte influencia continental. (PROYECTO PAR, 1986)

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Descripción del área de estudio

##### 3.1.1 Ubicación

El área de estudio se encuentra localizada, entre los paralelos 25°30' y 25°10' S, y los meridianos 56°45' y 57°30' W, el área de estudio comprende dos zonas, la 1° Zona localizada, al Oeste de Valle de Ypacarai comprendiendo las localidades de Aregua, Itauguá, Ypacarai y Pirayu y la 2° Zona al este del Valle, siendo estas zonas Eusebio Ayala, Santa Elena e Itacurubi. La ruta N° 2 Mcal José F. Estigarribia, es la principal vía de acceso, así también los caminos y ramales pavimentados, empedrados y terraplenados en algunos tramos de los distritos de la zona estudiada (Figura 1).

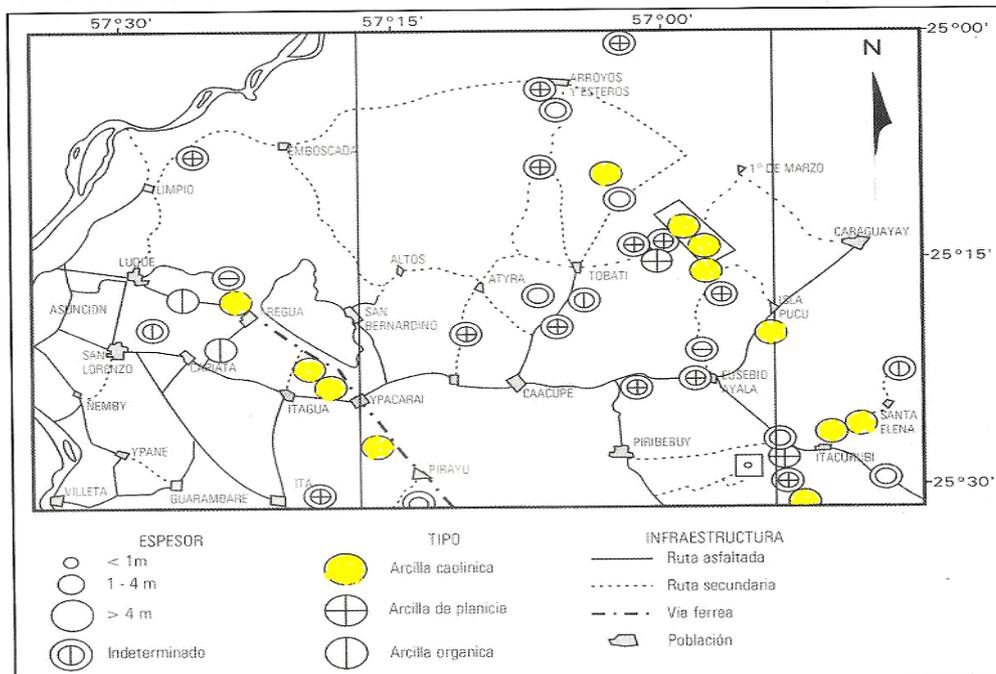


Figura 1. Mapa de ocurrencias de arcillas, en amarillo las ocurrencias de caolín, mostrando la 1° zona estudiada (margen inferior izquierda), y la 2° zona estudiada (margen derecho). Ref. Mapa Geológico 1:100.000 Hoja de Caacupé 5470

### **3.1.2 Morfología**

Se destaca en toda la zona estudiada colinas bajas, con algunos cerros testigos (Ej. el Cerro Patiño), y la planicie de gran extensión, el Valle de Ypacarai formado por en su parte baja por terrenos de unos 10 kilómetros de ancho y bordes abruptos en la margen este, ocupado en la mitad norte por el Lago Ypacarai, y sus colectores como arroyo Pirayú, Yukyry entre otros.

La Cordillera de Altos de dirección NW a SE, delimita planicies del Valle de Ypacarai, representa el principal elemento topográfico de la zona con elevaciones que superan los 400 metros de altitud.

### **3.1.3 Climatología**

El clima en el Paraguay es tropical a subtropical. La temperatura media anual varía entre 21 °C y 25 °C. Que se reduce a 15 en el este de la región oriental. La precipitación anual promedio es de 1.700 mm en algunas zonas de la región oriental, como los departamentos de Caaguazu, Itapua y alto Paraná.

## **3.3. Trabajo de Gabinete**

Estudio y recopilación de materiales bibliográficos históricos existentes, recopilación y análisis de orden geológico técnico, análisis físicos químicos de trabajos anteriores.

Identificación por datos cartográficos, mapas geológicos, esquemas, mapas topográficos, fotografías satelitales, en zonas de interés para trabajo de campo.

Planeamiento del trabajo de campo, y los lugares a ser visitados mediante estudios de factibilidad y facilidad de acceso a los afloramientos.

## **3.4. Trabajo de Campo**

Reconocimiento geológico de los yacimientos, determinación de zonas favorables y de mayor interés en un estudio y caracterización.

Descripción de las ocurrencias y las características de yacencias sedimentológicas, buzamientos, rumbo de estratos y otras estructuras presentes.

### **3.5. Geología Regional**

El Anticlinal Central-Paraguayo, según Putzer (1962), es un elemento estructural importante, con rumbo norte-sur, aflorando tanto en el norte y el sur de la Región Oriental, separando las dos Cuencas la del Chaco y la del Paraná, representados por rocas metamórficas más antiguas y eruptivas graníticas todas estas de edad precámbrica. El Precámbrico está deformado, fallado y plegado; sobre este una serie de sedimentos del silúrico en posición discordante, el espesor de estas capas es superior a los 1.000 metros, no hay pruebas de indicios del devónico aflorante en el Paraguay Oriental, intrusivas alcalinas han cortado el complejo cristalino y secuencias superiores..

La Cuenca del Paraná es una cuenca sedimentaria intracratónica (Fúlfaro, *et al.*, 1982, citado en el PROYECTO PAR, 1986), que empieza su sedimentación en el Carbonífero Superior, teniendo como límite occidental el Arco de Asunción (o Anticlinal Central-Paraguayo); esta cuenca gondwanica, está totalmente ubicada en la Región Oriental y poseen una dirección N-S, en marcada diferenciación de la dirección de la antigua cuenca silúrica de dirección NW-SE.

La dirección NW-SE es de edad Ordovícica o Cámbrico Superior/Ordovícico, y se constituye en el área recién cratonizada del Cámbrico. Su origen probablemente relacionada con la apertura de un “graben”, que empieza a romper el borde cratónico, desde el W al E. Esta dirección controla toda la sedimentación de edad Ordovícica/Silúrica en el Paraguay, Representada por la Formación Cerro León, al Norte del Chaco, y los Grupos Caacupe e Itacurubi, al Este del río Paraguay, en la Región Oriental. (PROYECTO PAR, 1986).

### **3.6. Geología local.**

El Valle, Depresión o “Graben” de Ypacarai, mencionado en varios trabajos anteriormente, como la estructura geológica más importante del Paraguay, considerada simple por Harrington (1950), este valle con gran expresión del relieve, llano en su mayor parte, se extiende aproximadamente en dirección N 30° W, abarcando 70 Km. desde Paraguari, al S, hasta Villa Hayes, en el N, variando en anchura entre 6 y 10 Km., según Harrington (1950) que este valle fue causado por movimientos verticales originando un graben, en el que el borde occidental se hundió

varios centenares de metros con respecto al borde oriental, Putzer (1962), también lo describe como una zona fracturada pero no lo denomina un graben, mas bien una zona desmembrada por fallas escalonadas, siendo la falla mayor que 100 Km., el rechazo de las fallas es de 600 metros

Los estudios realizados por Degraff *et al.* (1981), con equipos de gravimétrica y magnetometria, a lo largo de la ruta 2, desde San Lorenzo hasta Eusebio Ayala, atravesando el Valle de Ypacarai (Figura 2), enunciando los resultados, al Oeste del Valle de Ypacarai predominan fallas normales de dirección Norte-Sur, cuyos lados occidentales habrán descendido 925 m y 1125 metros con respecto a sus lados orientales, la conclusión de que borde oriental del valle no esta asociado genéticamente a una falla de rechazo vertical y de dirección noroeste, proporcionen que el valle de Ypacarai habrían evolucionado por erosión selectiva a lo largo de una falla de cizallamiento de sentido dextrógiro que correría actualmente a lo largo del valle.

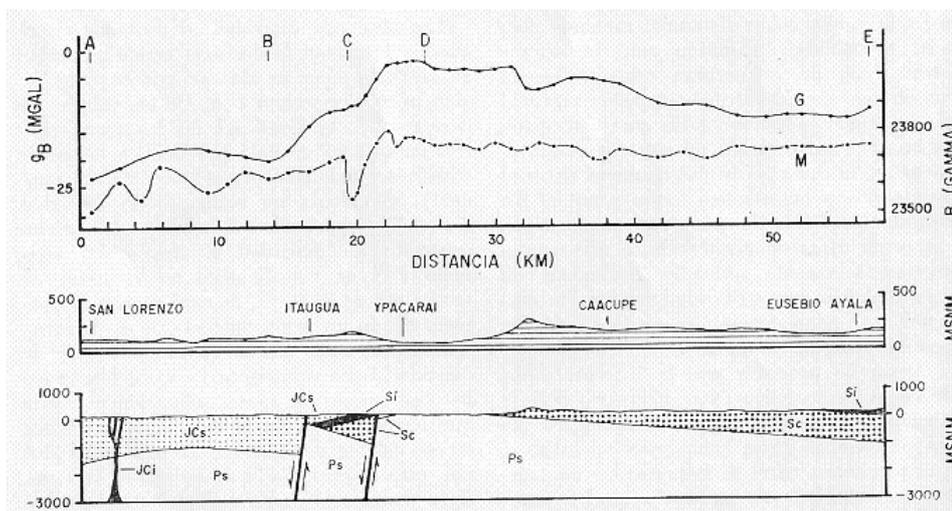


Figura 2. Superior: perfil gravimétrico (G) y perfil magnetométrico (M), Medio: Perfil topográfico; Inferior: Corte geológico, Ps= rocas pre-silúricas, Sc=rocas silúricas (u Ordovícicas) del Grupo Caacupe, Si= rocas silúricas del Grupo Itacurubi, JCs =sedimentos del Jurásico al Cenozoico no divididos, JCi =intrusiones máficas a ultramáficas del Jurásico al Cenozoico no divididos. Ref. Degraff *et al.* (1981)

El Silurico también aflora inmediatamente al sudoeste del valle de Ypacarai en una franja angosta de de 2 a3 Km. de ancho, que corre desde Paraguari al sur hasta Aregua con dirección paralela al valle adyacente (Figura 3), según Harrington

(1972) continuado por Degraff *et al.* (1981) todas las unidades del Silurico están representados en esta franja.

La lutita Vargas Peña según Degraff *et al.* (1981) resulta ser una “intercalación” de lutita arcillosa que por tener un espesor considerable de 10 a 20 metros, ha servido de estrato guía del Silurico paraguayo.

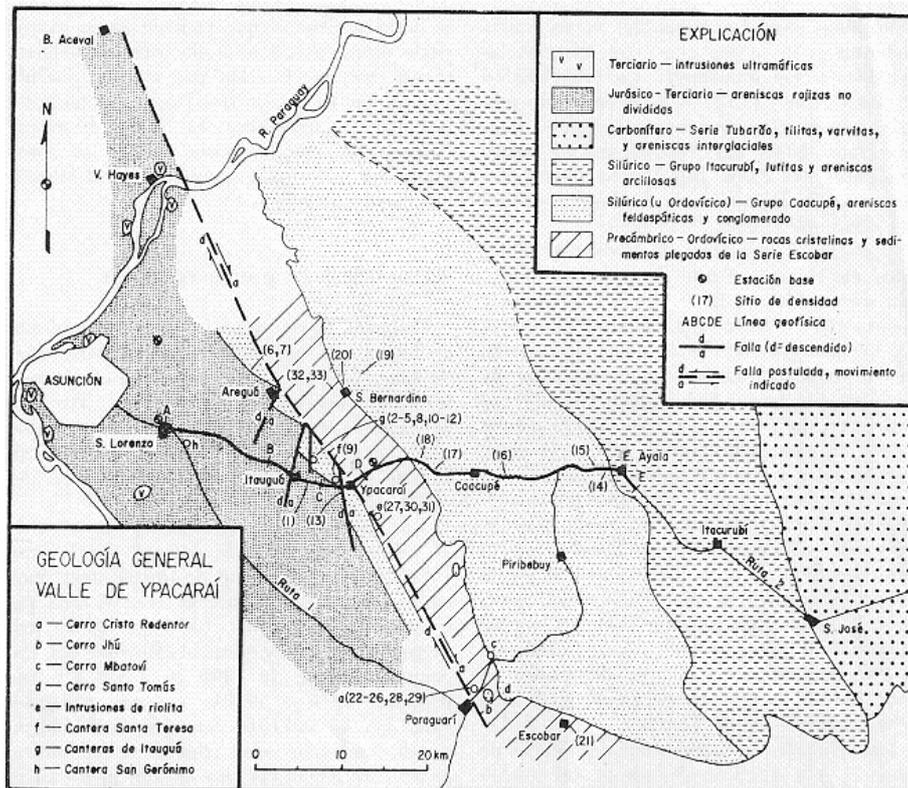


Figura 3. Mapa del Valle de Ypacarai, con las principales litologías, y los elementos estructurales. Ref. Degraff *et al.* (1981)

## **4. REULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Zona de Interes I: Afloramientos al Oeste de la Falla de Ypacarai**

#### **4.1.1. Cantera en Pirayu**

Ubicada en el IX Departamento de Paraguari, en el Distrito de Pirayu a unos 4 Km. al NW, en las Compañía Tuyucua y Tabai, el acceso es através de ruta asfaltada que une las localidades de Ypacarai y Pirayu, y esta a su vez por un camino de tierra de 800 metros, que lleva al afloramiento. Con coordenadas geográficas 25°28'21,2" de latitud S, 57°16'04,5" longitud W, cota 132 msnm.

En el área afloran capas estratificadas de lutitas blanquecinas, grisáceas, y algunas amarillentas, descritas como lutitas caoliniticas, Spinzi, *et al.*, (1995), de la Formación Vargas Peña, del Piso Llandoveryano del Periodo Silurico inferior, (435 m.a.), estas capas de rumbo N10°W, buzan 24° WSW, generalmente, (Ver Anexo 1B y 1D) de espesor aparente 10 m (debido a la inclinación de capas) presentan fracturas, cortando los estratos, rellenas por capas ferruginosas, también presentan capas de óxidos de color ocre, limonita, y varios otros colores metálicos, que intercalan con la lutita, sobreyaciendo a esta aglomerados y cantos de conglomeradicos de origen coluvial. Se puede apreciar varios fósiles, como braquiópodos, bivalos, etc.

La cantera actualmente esta explotada, de forma medianamente mecanizada, de propiedad de Isidro Penayo (Ver Anexo 1Ay 1C).

Dado los análisis, físicos realizados como color, porosidad, Limite Plástico, Limite Liquido, de resistencia térmica, humedad, peso específico (Tabla 2), se describe como arcilla, recomendable para uso cerámico, ladrillos, tejas, alfarería etc. Como así también para cerámica fina. Estas arcillas son resistentes a altas temperaturas presentando buena dureza (a 1300 °C), Spinzi, (1999).

Tabla 2. Análisis Físico Pirayu

Muestra N°	Color Natural	Porosidad	Limite Plástico	Limite Líq.	Índice de Plasticidad	Color de quema	Temperatura	Humedad %	Peo Esp.
2135	Blanco rosáceo 7,5 YR 8/2	33,8	19,4	29,5	10,1	Rosado 5 YR 8/4	900 °C	24,69	1,63
		33,9				Rosado 8/4	1000 °C		1,68
		28,3				Rosado 7,5 YR 8/4	1100 °C		1,81

Fuente. DRM, VMMyE, MOPC, Spinzi, et al., 1995.

#### 4.1.2. Cantera Cerro Guy-Ypacarai

Ubicada en el XI Departamento Central, en el Distrito de Ypacarai a unos 1,5 Km., al NW en la Compañía Cerro Guy, el acceso es a través de ruta asfaltada hasta el Km. 35, luego por camino de pavimento pétreo, a la Cerámica Cerro Guy, en donde se encuentra el afloramiento. Coordenadas 25°23'30,7" S, 57°18'24,7" W de 124 m de cota.

No pudimos acceder al lugar del afloramiento por impedimento de los encargados de la cerámica. En trabajos anteriores esta cantera se describe como afloramientos de lutitas caoliniticas estratificados blanco y grisáceas de 10 metros de espesor, con fauna fosilífera, del Grupo Itacurubi, conteniendo capas de nódulos de hematitas. (Spinzi, *et al.*, 1995)

Los análisis realizados tanto físicos (Tabla 3) y químicos (Tabla 4), es un material con alto contenido de caolinita, pero debido a otros materiales presentes hematitas, illita y moscovita reduciría su punto de fusión, pero es altamente recomendable para su uso como refractario, en ensayos a mas temperatura (1300 °C) se confirma este hecho, presentando gran resistencia. Spinzi, (1999).

Tabla 3. Análisis Físico Cerro Guy

Muestra N°	Color Natural	Porosidad	Limite Plástico	Limite Liq.	Índice de Plasticidad	Color de quema	Temp.	Humedad %	Peo Esp.
2161	Amarillo rojizo 7,5 YR 6/6	32	16,4	35,7	19	Amarillo rojizo 5 YR 7/6	900 °C	23,82	2
		30				Rosado 5 YR 7/4	1000 °C		2
		20				Marrón rojizo ligero 2,5 YR 6,4	1100 °C		2

Fuente. DRM, VMMMyE, MOPC, Spinzi, et al., 1995

Tabla 4. Análisis Químico Cerro Guy ( porcentual %)

Muestra N°	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P/C	TOTAL	Autor:
M1	55,84	24,92	0,28	0,8	0,56			6,6	100 %	Ovelar (1987)
M2	59,57	29,72	1,24	0,59	0,26			8,4	100 %	Ovelar (1987)
	61	25,06	3			0,14	3	7,8		Bouche (1985)

#### 4.1.3. Cantera San Fernando- Itauguá

Ubicada en el XI Departamento de Central, en el distrito de Itauguá en la compañía de Ybyraty, distante a unos 2,5 Km. al NE., por camino asfaltado, continuando con pavimento pétreo, de todo tiempo. Con coordenadas 25°22'38,9" S, 57°19'48,5" y 116 m de cota.

Presentan afloramientos de capas laminares de lutitas caoliniticas blanquecinas, grisáceas, y otras amarillentas, de gran potencia de 20 a 30 metros aparentemente, debido al buzamiento que estas presentan, N33°W de Rumbo y 35° SW de Buzamiento, y otras de N62°W/30°SSW (Ver Anexo 2B y 2C), debido a los fósiles presentes estas capas pertenecen al Periodo Silurico inferior, de la Formación Vargas Peña, estas capas estratificadas y buzantes presentan fracturas rellenas con óxidos de hierro, tanto como en alternancia paralela, presentan capas ferruginosas de espesores considerables, estas capas muchas veces muestran estructuras sedimentarias de deformación tipo “*bouding*” o almohadillas “*Ball and pillow*” (Ver Anexo 2C y 2D), que se formaron durante la diagénesis, por licuefacción de fluidos ricos en óxidos que luego precipitan, deformados durante la compactación de los sedimentos. En la parte superior se encuentra en contacto con aglomerados de la Formación Patiño. (Ver Anexo 2A)

La cantera denominado San Fernando, es explotado con pala mecanizada, por la Cerámica Itauguá, actualmente, esta cantera presenta gran degradación, debido a la explotación intensa durante varios años. Dado al alto contenido fosilífero, presente en estas capas de lutitas mas que en otros afloramientos de la misma Formación, una alternativa de preservación es necesario para la conservación de todas sus características geológicas (Paniagua, 2014). El área presenta ecosistemas acuáticos, debido a la alta filtración del agua (Ver Anexo 2B, 2E y 2F), causados por surcos muchas veces sin canales apropiados de desagües, estos se acumulan formando lagunas en muchos sectores, provocando accidentes con derivaciones fatales, por varios ahogamientos de lugareños.

#### **4.1.4. Cantera Cocue Guazu- Aregua**

Ubicadas en el XI Departamento Central, en el Distrito de Aregua a 1,5 Km. S, en la Compañía Cocue Guazú, el acceso es através de camino asfaltado, que une las localidades de Aregua y Patiño, y esta por un camino de tierra de de 1 Km. que lleva al afloramiento. Coordenadas 25°19'27,5" S, 57°22'43" y 114 m de cota.

En la zona presenta, lutitas caoliniticas del Periodo Silurico, blancas, coloreadas por óxidos, estas capas estratificadas presentan gran buzamiento, N40°W/40° SW, de 5 a 8 m de espesor aproximado, el contacto superior (Ver Anexo 3B) en discordancia angular con capas potentes de 3 a 5 m en discordancia angular con

conglomerados y aglomerados masivos, depósitos coluviales y gravitacionales caóticos, de la Formación Patiño. En la parte superior de capas mas duras y compactas de lutitas, presentan fracturas perpendiculares a la estratificación, rellenas de óxidos de hierro, también presentan capas ferruginosas paralelas a la estratificación, que presentan estructuras sedimentarias de deformación tipo almohadillas pseudonodulares ovalados (Ver Anexo 3C y 3D). Presentan fósiles de Bivalvos, rastros fósiles

La cantera actualmente esta abandonada, presenta acumulaciones de agua, generando ecosistemas acuáticos locales (Ver Anexo 3A)

En trabajos anteriores el material se recomendó para uso cerámico grueso, ladrillos, tejas, tejuelotes, tejas, alfarería, losa cerámica fina, etc. (Spinzi, et al., 1995). Faltaría realizar análisis de índole físico, químico, y difractométrico para confirmar mejor sus propiedades.

## **4.2. Zona de Interes II: Afloramientos al Este de la Falla de Ypacarai**

### **7.2.1. Cantera Toro-py Loma-Santa Elena**

Ubicada en el III Departamento de Cordillera, en el Distrito de Santa Elena a unos 7 Km., al SW, en la Compañía Toro-py Loma, en las proximidades del Arroyo Cambay, el acceso es através de ruta asfalta que une las localidades de Itacurubi y Santa Elena, al costado mismo de la ruta. Coordenadas 25°26'13,4" S, 56°49'42,1" W y cota 120 m.

El área presenta capas horizontales de lutita caoliniticas blancas expuestas 3 metros de espesor del Periodo Silurico(Formación Vargas Peña), estas capas son cortadas por fracturas, de entre 3 a 30 cm de grosor, rellenas por óxidos de hierro en forma astillosa (Ver Anexo 4A y 4E), inmediatamente sobré yaciendo las capas de lutitas, se observa capas ferruginosas, esferulares y nodulares, de unos 30 cm, arriba de estas presentan depósitos de areniscas finas ocre, friables en parte cementados por óxidos de hierro, con estratificación cruzada acanalada de 50 a 80 cm de espesor (Ver Anexo 4B y 4C), y sobre estas otra vez capas ferruginosas mineralizadas, formando regolito de suelo con poco espesor. Las capas ferruginosas presentan

estructuras orgánicas, rastros y trazas fósiles posiblemente “*Skholitos*”, algún tipo de habitáculo (Ver Anexo 4D).

Es una Cantera en la cual se explota esporádicamente con pala mecanizada, la propiedad pertenece a Cornelio Rolón.

En los análisis realizados para este afloramiento (Tabla 5) y (Tabla 6), se describe como arcilla y/o limo, recomendable para la industria cerámica de la construcción, alfarería, cerámica fina. En pruebas a más temperatura (1300 °C) la muestra 2056, se clasificó en el rango de muy resistente, y la muestra 2155 resistente a altas temperaturas, ocurrencias más importantes para fines refractarios, Spinzi , (1999).

Tabla 5. Análisis Físico Toro-py Loma

Muestra N°	Color Natural	Porosidad	Límite Plástico	Límite Liq.	Índice de Plasticidad	Color de quema	Temp .	Humedad %	Peo Esp.
2056	Blanco rosáceo 7,5 YR 8/2	37,1	26,61	51,9	25,29	Blanco rosáceo 5 YR 8/2	900 °C		1,48
		35,3				Rosado 5 YR 8/3	1000 °C		1,53
		21,7				Marrón muy pálido 10 YR 8/3	1100 °C		1,84
2155	Gris Claro 5 YR 7/6	36,3	22,02	51	28,98	Blanco rosáceo 5 YR 8/2	900 °C		1,6
		34,7				Rosado 5 YR 8/3	1000 °C		1,64
		26,3				Rosado 7,5 YR 8/3	1100 °C		1,88

Fuente. DRM, VMMYE, MOPC, Spinzi, *et al.*, 1995

Tabla 6. Analisis Mineralogico por Difractometría de Rayos X

Muestra N°	Mayor a 30 %	Menos del 30 %	Menor a 10 %	Vestigios
2056	Caolinita	Muscovita	Cuarzo	Feldespato

Fuente: Codigen- Ecuador

#### 4.2.2. Afloramiento Tacuara Oviedo -Itacurubi

Ubicado en el III Departamento de la Cordillera, en el Distrito de Itacurubi de la Cordillera a 1 Km., NE, en la Compañía Tacuara Oviedo, el acceso es por ruta asfaltada que une las localidades de Itacurubi con Santa Elena, y esta por un camino de tierra hasta unos 100 m hasta el afloramiento. Coordenadas 25°27'05,5" S, 56°51'01,7" W y cota 140 m.

Afloramiento de capas horizontales intercaladas de areniscas finas micáceas amarillentas y púrpura, con capas lutíticas caoliniticas grisáceas y amarillentas (Ver Anexo 5A) , de buzamiento imperceptible, posiblemente contacto transicional entre la Formación Eusebio Ayala y Formación Vargas Peña, la arenisca fina micácea presentan estructuras orgánicas, del tipo trazas fósiles, y otras estructuras mecánicas tipo “*Ripple Marks*” (Ver Anexo 5D), las capas de lutitas presentan también rastros fósiles, poco conservados debido a la infiltración de agua y raíces de plantas. Debido a que las capas se encuentran alternando, de 30 a 50 cm (Ver Anexo 5E), con areniscas dificultaría su extracción.

En los análisis realizados en este afloramiento (Tabla 7), el material se describe como arcilla con limo, utilizable para loza, y ladrillos de alta temperatura. En Análisis con más temperatura (1300 °C) se clasificaron en el rango a resistentes a altas temperaturas. Spinzi, (1999)

Tabla 7. Análisis Físico Afloramiento Tacuara Oviedo

Muestra N°	Color Natural	Porosidad	Límite Plástico	Límite Líq.	Índice de Plasticidad	Color de quema	Temp. °C	Humedad %	Peo Esp.
2073	Gris Claro 10 YR 7/6	33,1	18,44	45,5	27,06	Blanco rosáceo 7,5 YR 8/2	900 °C		1,6
		31				Rosado 7,5 YR 8/3	1000 °C		1,75
		19,5				Marrón muy pálido 10 YR 8/3	1100 °C		1,99
2057	Gris Claro 5 YR 7/6	36,4	20,27	39,4	19,13	Rosado 7,5 YR 8/3	900 °C	23,85	1,6
		36,3				Rosado 7,5 YR 8/3	1000 °C		1,64
		33				Marrón muy pálido 10 YR 8/2	1100 °C		1,74

Fuente. DRM, VMMYE, MOPC, Spinzi, *et al.*, 1995

#### **4.2.5. Cantera Minas Cué- Itacurubi**

Ubicada en el III Departamento de la Cordillera en el Distrito de Itacurubi de la Cordillera, a 6 Km. SW, en la Compañía Minas Cué, el acceso es através de ruta asfaltada que une las localidades de Itacurubi con Valenzuela, y esta por 100 m de camino de tierra hasta el afloramiento. Coordenadas 25°29'43,3" S, 56°52'35,8" W y cota 164 m.

El afloramiento presenta capas horizontales de lutitas caoliniticas de colores grisáceos, blanquecinos y amarillentos (Formación Vargas Peña), en alternancia rítmica con capas finas de lutitas ferruginosas (Ver Anexo 6B, 6C y 6D), cruzadas, perpendicular y diagonalmente por fracturas finas como “venillas” rellenas de óxidos de color ocre, estos afloramientos descritos anteriormente como residuales del Grupo Itacurubi, (Spinzi, et al., 1995), en discrepancia con lo expuesto por esta investigación. La cantera actualmente se encuentra abandonada (Ver Anexo 6A ), usado en el pasado como principal material para la elaboración de ladrillos, tejas, etc.

En los análisis de estos afloramientos (Tabla 8), se clasifico como arcilla y/o limo, utilizable para la cerámica de construcción ladrillos, tejas, etc. Se deben dosificar con una arcilla magra. En análisis a mayor temperatura (1300 °C), las muestras 2159 y 2160 se clasificaron en el rango de resistentes, y la muestra 2158 en el rango de muy resistente, Spinzi, (1999)

Tabla 8. Análisis Físico Minas Cué

Muestra N°	Color Natural	Porosidad	Límite Plástico	Límite Líq.	Índice de Plasticidad	Color de quema	Temp.	Humedad %	Peo Esp.
2158	Negro 10 YR 2/1	37,2	39,18	59,1	19,92	Rosado 7,5 YR 7/4	900 °C	38,03	1,57
		33,9				Rosado 7,5 YR 8/4	1000 °C		1,29
		28,3				Amarillo 10 YR 8/6	1100 °C		2,02
2159	Amarillento 2,5 Y 6/3	37,4	27,96	46,3	18,34	Amarillo Rojizo 5 YR 7/6	900 °C	36,57	1,52
		34,5				Rosado 5 YR 8/4	1000 °C		1,64
		18,5				Amarillo rojizo 5 YR 6/8	1100 °C		1,99
2160	Marrón claro 7,5	33	23,5	44,5	20,93	Amarillo rojizo 5 YR 6/8	900 °C		1,74
		30				Amarillo rojizo 5 YR 7/8	1000 °C		1,8
		18,5				Rojo 2,5 YR 5/6	1100 °C		2,07

Fuente. DRM, VMMyE, MOPC, Spinzi, *et al.*, 1995

## 5. CONCLUSION

La recopilación de trabajos anteriores, usando como base los ensayos y análisis, y los posteriores trabajos de campo y descripción de canteras de esta investigación, permite llegar a conclusiones no definitivas en cuanto al potencial de uso, condiciones de yacencia y/o riesgos potenciales de este recurso.

Las ocurrencias al Oeste de la Falla de Ypacaraí, representado por una faja angosta, y presentando gran buzamiento hacia el SW, mostrando espesores aparentes de más de 30 metros, es la mejor expresión de la Formación Vargas Peña, a raíz que el material se encuentra en capas inclinadas, su explotación causada por remoción de mayor material, a medida que se excava, genera problemas ambientales, debido a la modificación del terreno y desaparición de la vegetación en las zonas explotadas, una de estas canteras que más riesgos presenta, es la Cantera San Fernando en Itauguá, muestran unas múltiples zonas explotadas a lo largo de los años, agotado el material, son abandonadas, permitiendo la acumulación de agua, sin ninguna medida de mitigación y recuperación de las áreas afectadas. Dado su alto valor cultural y científico, esta cantera debería ser preservada, por las innumerables faunas fosilíferas, impregnadas en estas lutitas caoliniticas.

Los afloramientos de la Formación Vargas Peña al Este de la falla de Ypacaraí, se presentan en capas horizontales sin buzamiento aparente y /o buzando no más de 2° hacia el E, aunque su extensión es más amplia, presentan afloramientos restringidos, porque las capas de lutitas estan alternando con capas de areniscas, en el caso del afloramiento Tacuara Oviedo, la mejor expresion de lutita caolinitica, es la de Toro-py Loma, presenta espesor considerable de 5 metros, pudiendo continuar 5 metros mas a profundidad.

Tanto los afloramientos de la Zona I y la Zona II, presentan mineralizaciones de oxidos de hierro, ya sea en fracturas rellenadas, y/o formando capas inclinadas y horizontales, de considerable espesor, los mas importantes son en la cantera de

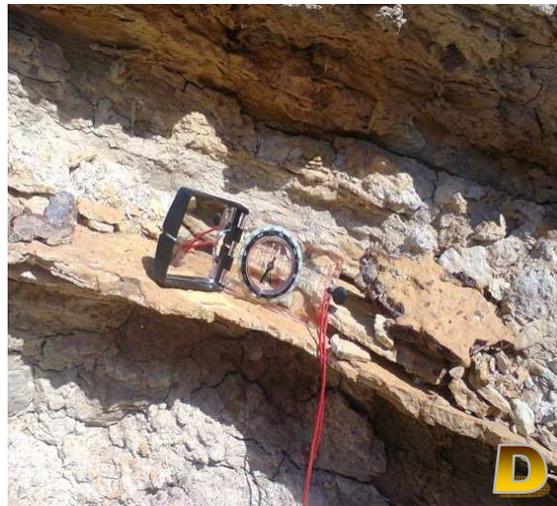
Itaugua (San Fernando) y en la cantera de Santa Elena (Toro-py Loma), en una y otra zona de estudio.

De acuerdo a los analisis fisicos termicos, recopilados, las ocurrencias de Cerro Guy y Toro-py Loma son los mas importantes desde el punto de vista refractario ya que sus muestras presentan mucha resistencia a altas temperaturas, debido al contenido importante de caolinita que eleva el punto de fusion, a pesar de la presencia de hematita. Faltarian mas estudios de indole pirometrico, quimico y difractometrico para definir mejor los yacimientos, y sus potenciales de usos mas apropiados.

Todas las canteras estudiadas en esta investigación, las explotadas y las abandonadas, no presentan ningun tipo de medida paliativa a la recuperación de la superficie removida, el impacto ambiental es mas significativo en zonas con multiples frentes de explotacion, como ser la cantera San Fernando, que a su vez es la mejor expresión, en cuanto a potencia, y contenido paleontológico de la Formación Vargas

Peña.

## **6. ANEXOS**



**Anexo 1: Cantera en Pirayú. A:** Panorámica de la cantera, presentando acumulación de agua. **B:** Buzamiento de estratos. **C:** Maquinaria utilizada en la explotación. **D:** Capas alternantes ferruginosas color ocre.



**Anexo 2:Cantera San Fernando-Itauguá.**A: Contacto discordante de lutitas con aglomerados de la Formación PatiñoB: Lagunas formadas, por la falta de drenaje, al fondo capas buzantes de lutitas C: Capas ferruginosas de espesores considerables D: Estructura sedimentaria de deformación, almohadillas de óxidos de hierro, TaconitaE:Camino al borde de la cantera F: Infiltraciones de agua, causando degradación de los fósiles presentes.



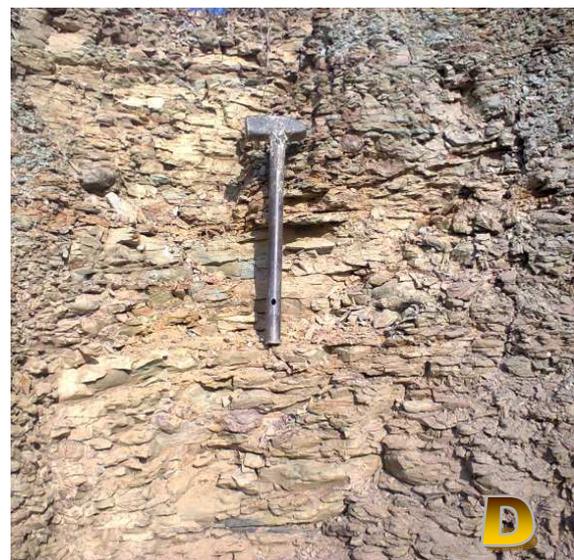
**Anexo 3: Cocue Guazú- Areguá. A:** Cantera abandonada, laguna. **B:** Contacto superior de la Formación Vargas Peña con Conglomerados y aglomerados de la Formación Patiño. **C:** Estructuras sedimentarias de deformación con forma de almohadillas pseudonodulares. **D:** Capas de lutita caolinitica cortadas por fracturas, teñidas de rojo.



**Anexo 4: Toro-Py Loma- Santa Elena** **A:** Mineralizaciones de hierro en forma astillosa **B:** Contacto superior de la lutita con capas ferruginosas **C:** Arenisca fina con estratificación cruzada acanalada. **D:** Estructuras de bioturbación, trazas fósiles tipo “*Skholitos*” **E:** Lutita caolinitica, cortada por fracturas rellenos por óxidos de hierro.



**Anexo 5: Tacuara Oviedo-Itacurubi.** **A:** Capas de lutita caolinitica amarillenta y grisasea **B:** contacto inferior de la Formación Vargas Peña (lutitas), con arenisca fina micacea, de la Formación Eusebio Ayala. **C:** El Afloramiento en la zona. **D:** Capas de areniscas, mostrando estructuras “*Ripple Marks*” **E:** Capas alternantes de lutitas, sillitas y arenisca fina.



**Anexo 6: Minas Cué-Itacurubi. A:** Cantera abandonada **B:** Capas de lutitas de la Formacion Vargas Peña cortadas por fracturas **C** y **D:** Lutitas en alternancia rítmica.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BESOAIN, E, 1985. Mineralogía de Arcillas de Suelos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Edición IICA, San José- Costa Rica.

CORNELIS, K., CORNELIUS S.Jr., 1997. Manual de Mineralogía Vol. 2 cuarta edición. Basado en la Obra de J. D. Dana. Versión española por Dr. J. Aguilar Peris catedrático universidad complutense de Madrid. Editorial reverté S.A. Barcelona- España

DEGRAFF, M. J., FRANCO, R., ORUE, D. 1981 Interpretación Geofísica y Geológica del Valle de Ypacarai (Paraguay) y su Formación. Asociación Geológica Argentina, Revista XXXVI (3): 240-256.

DIONISI, A. 1999. Mapa Geológico de la República del Paraguay: Hoja Caacupé 5470. MOPC, BGR. Esc. 1:100000 (Texto Explicativo) Asunción-Paraguay.

GOMEZ, D., D. 1999. Paraguay y su minería. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. Gabinete del Viceministro de Minas y Energía. Dirección de Recursos Minerales. San Lorenzo – Paraguay

HARRINGTON, H, 1950. Geología del Paraguay Oriental. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Contribuciones Científicas Serie E Geología, 82pág. Buenos Aires.

HARRINGTON, H. J. 1972. Silurian of Paraguay. In: Correlatiion of South American Silurian rocks. Geol. Soc. Am.

HEINRICH, E. Wn. 1965 Identificación microscópica de los minerales. Traducido al Español por MARTINEZ, ENRIQUE. URMO, S.A. de Ediciones Bilbao 1970, Bilbao-España

HOYOS, A, GONZALES, F. 1949 Génesis de la Arcilla. Monografías de Ciencia Moderna. Instituto de Edafología y Fisiología Vegetal. Editorial Nuevas Graficas S.A. Madrid-España.

MARTINS, A. E. 1999 Relaciones entre la Tectónica y La Sedimentación Cenozoica en la Región del Graben de Ypacarai (Rift de Asunción, Paraguay Oriental).

PALMIERI, J. H, VELASQUEZ, J. C 1982. Geología del Paraguay. Colección: Apoyo a Cátedra. Serie: Ciencias Naturales. Ediciones NAPA, Asunción – Paraguay

PROYECTO PAR 83/005 1986. Mapa Geológico del Paraguay 1:1.000.000. P.N.U.D. – M.D.N. Texto Explicativo. Asunción -Paraguay

PUTZER, H. 1962. Die Geologie von Paraguay; Beitrage zur Regionalen Geologie der Erde. Vol. 2, Gebruder Borntraeger, Berlín-Alemania.

PANIAGUA, S. V 2014 Propuesta de Geoconservacion del Yacimiento Fosilifero de la Formacion Vargas Peña al Oeste del Graben de Ypacarai. Trabajo de Grado presentado en la Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Asuncion como requisito para la obtención del título de Licenciatura en Ciencias Mención Geología, Departamento de Geología. San Lorenzo - Paraguay

SPINZI, A. M, VELAZQUEZ, C. N, 1995 Arcillas de la zona centro oeste del Paraguay oriental potencial, usos y tipificación. Tomo I y II. Cooperación Técnica NR. Proyecto 88.2202.5 Subsecretaria de Minas y Energía (MOPC) Dirección de Recursos Minerales Paraguay y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) Alemania. Asunción-Paraguay.

SPINZI, A. M, 1999 Resistencia Termica de las Arcillas de los Departamentos Central, Cordillera y Paraguari – Paraguay. MOPC, Subsecretaria de Minas y Energia, Direccion de Recursos Minerales, Departamento e Geologia. San Lorenzo – Paraguay.

SPINZI, A. M., 2002 Materiales arcillosos de la Republica del Paraguay, MOPC, Subsecretaria de Minas y Energía, DRM, Departamento de Geología. San Lorenzo-Paraguay