

ESTUDIO GEOLÓGICO DISTRITAL

“ARCILLAS DE PATAGUAL”

Francesc Xavier Ferraro Castillo

Geólogo

24.246.033-2

ÍNDICE

1. RESUMEN	pag. 3
2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	pag. 3
3. INTRODUCCIÓN	pag. 4
3.1. Antecedentes Generales	
3.2. Objetivos, alcances y limitaciones del estudio	
3.3. Metodología	
4. GEOLOGÍA REGIONAL Y GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	pag. 7
4.1. Litología Regional	
4.2. Litología Local	
4.3. Alteración	
4.4. Estructuras	
4.5. Mineralización	
4.6. Estratigrafía del área	
4.6.1. Geoquímica	
5. GEOLOGÍA ECONÓMICA	pag. 13
5.1. Descripción geológica general del área de estudio	
5.2. Estructuras	
5.3. Génesis de depósito	
5.4. Descripción detallada de yacimientos y sectores de interés en el área de estudio. Caracterización del depósito	
5.5. Distribución y caracterización mineralógica detallada de zonas de interés	
5.6. Definición de recursos en sus distintas categorías, indicando método de cálculo y discusión al respecto	
5.6.1. Cálculo de los recursos	
5.7. Análisis de mercado de caolín y/u otros recursos de rocas y minerales industriales identificados en el área de estudio	
5.8. Discusión acerca de las impurezas presentes, su distribución y las distintas calidades del recurso y los diferentes usos que pueden tener según su calidad o pureza	
6. SECTORES DE INTERES MINERO	pag. 24
6.1. Definición de perspectivas mineras de los yacimientos en el sector estudiado	
6.2. Recomendaciones gráficas y escritas para profundizar el conocimiento de las zonas definidas por el consultor como interesantes	
7. REFERENCIAS	pag. 26

8. ANEXOS pag. 28

8.1. Mapa topográfico

8.2. Mapa geológico

8.3. Imagen satelital del área con ubicación de puntos de observación, muestras, minas e interpretación de zonas de alteración

8.4. Secciones transversales y longitudinales que grafiquen dónde se estimaron los recursos y cuáles muestras se utilizaron para este cálculo

8.5. Figuras fuera de texto (fotos de muestras, fotos de afloramientos, etc.)

8.6. Certificados de laboratorios (análisis químicos, estudios mineralógicos, etc.)

PROPIEDAD ENFAMBLE
NO COMERCIALIZABLE

1. RESUMEN

El yacimiento Sta. Angélica, es un yacimiento de caolín, ubicado en la comuna de Coronel en la región del Biobío. Este se encuentra en la zona de Patagual, el km. 6 de la carretera de va de Sta. Juana a Coronel. Las coordenadas de la entrada a la parcela de acceso son latitud S 37° 2' 36.44" y longitud O 73° 2' 2.41".

La zona de explotación de se encuentra a 1 km hacia el SE de la zona de entrada, a una cota 220 m.s.n.m.

Después de los datos obtenidos en la exploración de terreno y la metodología de trabajo de gabinete, para el análisis del yacimiento, se ha inferido un volumen de caolín de 1.294.205 toneladas de arcillas caoliníferas, de los cuales 383.350 toneladas corresponden dentro de la propiedad minera. Estos valores son inferidos, debido a que no se tiene la certeza de la extensión de la capa, ni la cantidad de muestras necesarias para poder estimar con más detalle el volumen de los recursos explotables.

Los ensayos de laboratorio, han entregado, unos porcentajes de sílice altos, unos porcentajes de aluminio relativamente bajos, bajos porcentajes de hierro, así como porcentajes de potasio cercanos a los límites permitidos para la industria de la cerámica. A pesar de contener impurezas de minerales como la illita, que pueden afectar a las propiedades reológicas del caolín, este contiene propiedades adecuadas como para ser comercializado.

No se han podido obtener datos formales en cuento a la valorización del caolín, el cual se estima entre los \$15.000 y \$1.500 por kilo, en función de la pureza de este. Si que se han obtenido datos de empresas que puedan ser potenciales clientes del caolín a nivel regional como Fanaloza y Mindu a nivel nacional.

2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cuanto a conclusiones podemos destacar que el yacimiento Sta. Angélica posee un volumen inferido de arcillas caoliníticas que podría ser explotable y comercializable en la industria cerámica y potencialmente en la industria agrícola.

Las recomendaciones propuestas, van en la línea de la ampliación del reconocimiento de la zona de exploración, tanto en horizontal como en vertical, así como la realización de más ensayos físicos de otra índole, para verificar la idoneidad del caolín en otras industrias como la papelera, plástica o del caucho.

También se recomienda realizar un estudio más profundo del mercado formal del caolín a nivel regional y/o nacional, dado el potencial volumen inferido que puede haber presente en el área de estudio.

3. INTRODUCCION

3.1. Antecedentes Generales

En éste primer gabinete, se reunieron todos los antecedentes y estudios anteriores realizados en el yacimiento o en el sector. Cabe destacar que SERNAGEOMIN, no posee mapas geológicos de la zona estudiada, si existen informes de los años 1973, 1974 y 1975, sobre geología económica de la región (se adjuntan referencias de trabajos, SERNAGEOMIN - Santiago).

3.2. Objetivos, alcances y limitaciones del estudio.

El objetivo general del informe es entregar información geológica del yacimiento de caolín de Sta. Angélica en la zona de Patagual (Coronel), así como especificar las zonas explotables, el potencial volumen de la zona de yacimiento y la potencialidad del mercado del caolín en la zona.

Como limitaciones del estudio, tenemos por un lado el limitado acceso a la zona del yacimiento, así como la vegetación presente en el área de estudio, que dificulta la observación directa de los afloramientos del yacimiento y de las características y estructuras geológicas de la zona.

3.3. Metodología

El estudio del Yacimiento Santa Angélica comprendió 4 etapas: una primera etapa de recopilación de antecedentes, una segunda etapa de trabajo de terreno, una tercera de ensayos de laboratorio y última etapa de gabinete.

Primera etapa - Recopilación antecedentes

En éste primer gabinete, se reunieron todos los antecedentes y estudios anteriores realizados en el yacimiento o en el sector. Cabe destacar que SERNAGEOMIN, no posee mapas geológicos de la zona estudiada, si existen informes de los años 1973, 1974 y 1975, sobre geología económica de la región (se adjuntan referencias de trabajos, SERNAGEOMIN - Santiago).

Alfaro H., Guillermo.

- *Áreas mineralizadas o con eventual interés para prospección en la zona sur* [informe inédito]. Concepción: IIG, 1975. 3 p.
- *Evaluación del sector minero en la octava región.* 1974, 11 p.
- *Geología general y yacimientos minerales de la Cordillera de Los Andes entre las latitudes 37° 20' Sur, 39° 30' Sur.* 1973, 32 p.: 9 mapa.

Segunda etapa - Trabajo de Terreno

Esta etapa comprendió 5 días de terreno en total, de forma alternativa:

- Primer terreno (07 de mayo de 2018): Se realiza un reconocimiento del área cómo los caminos de acceso, afloramientos importantes, ubicación de un hito topográfico, estudio de calicatas antiguas y sondaje anterior.
- Segundo terreno (10 de mayo de 2018): Se realiza el mapeo de unidades sedimentarias, todos los afloramientos desde los 50 hasta los 250 m.s.n.m. Aquí se reconoce a la Unidad Patagual- El Venado (Pérmico inferior-Triásico medio). En sector estacionamiento (50 m.s.n.m.) hasta los 100 m.s.n.m. Sobre esta altitud aparece la Formación Santa Juana (Cárnico-Rético) representada por un conglomerado basal con intercalaciones de lutitas y menor areniscas.
- Tercer terreno (01 de junio de 2018): Se realiza el mapeo de todos los afloramientos de caolín existentes sobre los 225 hasta los 310 m.s.n.m., principalmente en caminos. Se encuentran afloramientos incluso en el extremo NE de la propiedad, fuera del área de estudio. Se observa que depósito tiene una forma tabular subhorizontal con manto aprox. hacia el Norte. Afloramientos sugieren mayor extensión del manto, incluso fuera de la propiedad. En éste terreno, se extrajeron 5 muestras preliminares que fueron enviadas al laboratorio para los ensayos correspondientes (a fecha de 19 de julio, estamos a la espera de resultados).
- Cuarto terreno (06 de junio de 2018): Recomendación de calicatas y Zanjas: Se decide realizar 3 zanjas y 2 calicatas.
 - C-01: (E675793/N5897850). Calicata con profundidad máxima (4 m aprox.)
 - C-02: (E675541/N5898029). Calicata con profundidad máxima (4 m aprox.)
 - Z-01: (E675608/N5898053). Azimut = 345°. Zanja con extensión hasta 35 m (en camino).
 - Z-02: E675859/N5897940). Azimut = 0°. (Zanja con extensión hasta 28 m con forma curva (en camino)
 - Z-03: (E675839/N5897938). Azimut = 80°. Zanja con extensión hasta 35 m. (en camino).

- Quinto terreno (13 de junio de 2018): Mapeo de zanjas y calicatas (Anexo 1)
 - C-01: Alcanza profundidad de 3,40 m. Techo de caolín alcanza profundidad mínima de 2,10 m y se observa manteo aprox. de hasta 45° hacia el Norte. Foto C-1 (anexo 8.5) de donde se obtiene la muestra M-06.
 - C-02: 3,50 m de profundidad. No se alcanza techo de caolín Foto C-2 (anexo 8.5).
 - Z-01: Alcanza profundidad de 3,20 m. Techo de caolín varía desde una profundidad máxima de 40 cm en el extremo SE hasta 3,15 m en el extremo NW de la zanja, evidenciando un manteo de aproximado 20° hacia el NNW. Foto Z1 (anexo 8.5) con vista al SE, de donde se obtiene la muestra M-09.
 - Z-02: Zanja curva con profundidad máxima de 2,30 m. Techo de caolín varía desde una profundidad máxima de 55 cm en el extremo S hasta 1,10 m en el extremo Norte de la zanja, evidenciando un manteo de aprox. 15 ° hacia el norte. Foto Z2 (anexo 8.5) con vista al N, de donde se obtiene la muestra M-07.
 - Z-03: Alcanza profundidad máxima de 2,80 m. Techo de caolín alcanza profundidad de 50 cm en el extremo NE y 90 cm en el lado SW de la zanja. Foto Z3 (anexo 8.5) con vista al NE, de donde se obtiene la muestra M-08.

Tercera etapa - Ensayos de laboratorio.

Al inicio de los trabajos el mandante proporciona unos ensayos de laboratorio, realizados por PAMMA en 1994, realizados sobre el mismo yacimiento, entregando algunas conclusiones acerca de la viabilidad del yacimiento, pero sin mucho detalle.

Se realizan los ensayos de laboratorio por CEM GEOATACAMA, por parte del mandante del estudio “ENAMI”, y se entregan avances de los ensayos de laboratorio, en fecha de 13 de septiembre de 2018 y los resultados finales en fecha de 27 de septiembre de 2019. Los resultados de los ensayos se muestran más adelante en el apartado 4.5.

Cuarta etapa - Gabinete

Esta última etapa ha servido para analizar toda la información obtenida en terreno en conjunto con los antecedentes previos aportados por ENAMI, así como los resultados de laboratorio de las muestras y la recopilación de información en cuanto al mercado del Caolín. La evaluación del volumen del yacimiento, se realizará de forma inferida con los datos obtenidos en terreno, los afloramientos observados, los datos proporcionados por el propietario del terreno y los antecedentes bibliográficos de la zona.

El estudio de mercado, se realizó mediante el contacto directo con dos empresas de la región y cercanas a la zona, así como con los datos obtenidos del mercado del caolín a nivel nacional de diferentes fuentes bibliográficas.

La elaboración de conclusiones y mapas geológicos, se ha definido en esta última etapa de trabajo.

4. GEOLOGIA REGIONAL Y GEOLOGIA DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. Litología Regional.

En la zona de estudio, a nivel regional, las rocas más antiguas corresponden a rocas metamórficas paleozoicas, que se distribuyen principalmente en el sector occidental de la Cordillera de Nahuelbuta y conforman las series oriental y occidental según Hervé (1977), depositadas probablemente en el Paleozoico. Discordantemente sobre ellas se exponen rocas de la Formación Santa Juana, asignadas al Triásico y que incluyen sedimentitas clásticas y volcanitas. Durante el Cretácico superior ocurre la Formación Quiriquina, en la zona costera, correspondientes a rocas transgresivas marinas sobre el basamento metamórfico. Las rocas terciarias corresponden a sedimentitas marinas y continentales (Formación Curanilahue), con mantos de carbón en la región costera. En la zona costera, existen depósitos de terrazas marinas desarrollados probablemente durante el Pleistoceno y Holoceno. Las rocas intrusivas expuestas en superficie tienen edades asignadas al Carbonífero-Pérmico.

Serie Occidental del Basamento Metamórfico (Silúrico -Carbonífero)

Esta serie fue definida por Aguirre et al., (1972) en un estudio sobre el basamento cristalino de la Cordillera de la Costa del centro y sur de Chile. Comprende micaesquistos, metabasitas, metacherts y serpentinitas, que afloran entre Pichilemu y Valdivia. Las pizarras, filitas y metareniscas de ésta unidad presentan un metamorfismo de bajo gradiente presión/temperatura.

Serie Oriental del Basamento Metamórfico (Silúrico - Carbonífero)

Las rocas metamórficas que se distribuyen en la región más occidental del área, como una franja prácticamente continua de dirección general NNE-SSW, corresponden según Aguirre et al. (1972) a la serie oriental, compuesta principalmente por esquistos, filitas, gneises y metareniscas, cuyo grado de metamorfismo varía entre las facies esquistos verdes y granulita (alto gradiente presión/temperatura), y se caracterizan por la aparición sucesiva, de poniente a oriente, de biotitas, andalucitas y sillimanitas según el grado creciente de metamorfismo.

Intrusivos Carboníferos-Pérmicos tonalitas y granodioritas indiferenciadas

Se distribuyen como una franja continua de dirección general NNE-SSO, al oeste de las rocas metamórficas descritas anteriormente, conformando gran parte de la

Cordillera de la Costa. Está conformado por un complejo plutónico cuya composición petrográfica varía entre tonalita y granodiorita, con sectores menos extensos de diorita cuarcífera y granito. Este complejo plutónico fue definido por González-Bonorino, 1970; Hervé et al. 1976, como el Batolito de la Costa. Tiene una relación de contacto intrusivo con las rocas del basamento metamórfico e infrayace, con discordancia de erosión, a las series sedimentarias y sedimentario-volcánicas del Triásico.

Intrusivos Cretácicos En el sector oriental de la Cordillera de la Costa, se ha reconocido un conjunto de cuerpos graníticos, de composición en general semejante a los granitoides carboníferos y de textura más fina. Estos cuerpos se localizan en una franja en dirección general NNE-SSO y representan altos topográficos, que sobresalen del nivel promedio de las rocas graníticas del carbonífero.

Formación Santa Juana (Triásico Superior)

Corresponden a secuencias continentales y marinas, reconocidas en el curso inferior del río Bío-Bío. Sobreyace, en discordancia de erosión, al basamento granítico. Además, se encuentra en contacto por falla sobre la Serie Oriental del Basamento Metamórfico y, parcialmente, también lo sobreyace. Se divide en cuatro miembros de los cuales la litología principal corresponde a conglomerados de cuarzo, arcosas continentales, areniscas conglomeráticas, areniscas finas, lutitas, areniscas gruesas y arcillolitas de origen marino y brechas de origen continental.

Formación Quiriquina (Cretácico Superior)

Esta unidad geológica está constituida por areniscas conglomeráticas, areniscas finas y medias, y arcillolitas marinas, de color amarillo y verde, que sobreyacen, en discordancia angular y de erosión a las filitas y esquistos del Basamento Metamórfico, en los sectores costeros de la Provincia de Concepción.

Formación Pilpilco (Paleoceno)

Esta formación podría corresponder a un episodio marino, que posteriormente da origen a la formación Boca-Lebu, se trata de un conjunto de materiales detríticos, que alcanzan hasta 180 m de espesor, provenientes de los relieves cercanos a la costa, en forma de sedimentos fluviales, lacustres o costaneros, representados por materiales arenáceos (areniscas verdes con glauconita y sin fósiles) típicos de una extensa plataforma costanera.

Formación Curanilahue (Eoceno Inferior)

Definida por Muñoz Cristi el año 1959, aflora en el sector costero de Lota-Coronel y hacia el SSO, fuera del área de estudio, en el sector de Curanilahue-Pilpilco.

Corresponde a una secuencia de areniscas y limolitas continentales, con carbón en su miembro superior e inferior. El miembro medio corresponde a areniscas de origen marino.

Formación Boca-Lebu

Esta cconstituida por areniscas de grano fino, gris verdosas, en las que aparecen intercalaciones fosilíferas marinas y restos vegetales en los planos de estratificación, normalmente tiene intercalaciones arcillosas de color oscuro, con un espesor máximo medido de 259 m.

Formación Trihuco

Areniscas con intercalaciones de arcillolitas y mantos de carbón, con un espesor de 150m a 325 m.

Formación Millongue

Areniscas en la base, limolitas en la unidad intermedia y la formación finaliza en el techo con arcillolitas, con un espesor de 350 a 500 m.

Formación Navidad

Discordantemente de la formación Millongue, está constituida por arcillolitas con un espesor que puede variar según la zona de 50 a 450 m.

Formación Tubul

Esta formación es de origen marino, constituida por areniscas de grano fino a grueso, con intercalaciones de capas arcillosas que presentan abundante contenido fosilífero. Se encuentra depositada discordantemente sobre la formación Navidad y posee un espesor de entre 25 y 250 m., según la zona.

Sedimentos de terrazas fluviales (Holoceno)

Esta unidad corresponde a los depósitos de gravas y arenas en niveles de terrazas, que se ubican en los ríos principales del área. Están compuestos por gravas y ripios, con clastos redondeados a subredondeados de andesitas y granitos de diámetro promedio entre 8 y 30 cm, con fracciones variables de arenas y limos. Sus espesores máximos alcanzan a 20m.

Terrazas Marinas (Pleistoceno-Holoceno)

Estas unidades están cubiertas por sedimentos arenosos y limosos, parcialmente estratificados, compuestos por material proveniente de las erupciones volcánicas de la Cordillera Andina. Estos sedimentos se disponen a alturas máximas de 15 m.s.n.m.

Depósitos fluvio-aluviales antiguos (Pleistoceno-Holoceno)

Corresponden a materiales no consolidados, representados por gravas, ripios y arenas, que constituyen el relleno de los cauces de los ríos y esteros. Se diferencian de

los depósitos actuales al ser estos últimos asociados al cauce actual, mientras que los descritos corresponden a los depósitos generados en los paleocanales.

Depósitos fluvio-aluviales actuales (Pleistoceno-Holoceno)

En el cauce actual de los ríos y esteros se encuentran depósitos fluviales, torrenciales, donde se mezclan bloques, gravas, arenas y arcillas. Estos depósitos, aunque tienen buen desarrollo sólo en los ríos principales, se encuentran también en cada uno de los cauces menores.

4.2. Litología Local

La litología local del yacimiento y de la parcela de estudio, está centrada en algunas de las unidades anteriormente descritas, las cuales se van a detallar de mejor forma a continuación:

Unidad Patagual - El Venado (Pérmico inferior-Cárnico)

Metapelitas intercaladas con secuencias gruesas metapsamíticas con venas de cuarzo de segregación, altamente alteradas y deformadas con pliegues apretados y fallados. Esta unidad es una parte de la serie Oriental del Basamento Metamórfico que ha sufrido un metamorfismo de muy bajo grado, tipo anchizona. Subyace, en discordancia de erosión, bajo la Formación Santa Juana.

En la zona de estudio, esta unidad está fuertemente plegada y comprende principalmente intercalaciones finas de lutitas con cuarzo de segregación, que alcanza los 100 m.s.n.m., bajo los conglomerados de la Formación Santa Juana.

Formación Santa Juana

Localmente, se encuentra sobre las metapelitas de la unidad Patagual-El Venado y comprende principalmente a un conglomerado polimíctico, de mala selección, con clastos de tamaños entre 5-20 cm y composiciones granodioríticas alterados principalmente, areniscas, pizas y escasos fragmentos de cuarzo lechoso. Es matriz soportado compuesto por arcillas pardas y, localmente, tiene un rumbo/manteo de N60°W/55°NE aproximadamente y potencia mayor a 200 m. Además, presenta algunas intercalaciones menores de areniscas medias de unos pocos metros de espesor y lutitas de hasta 10 m de espesor. Sobre esta unidad, en discordancia angular, se dispone el yacimiento de caolín Santa Angélica.

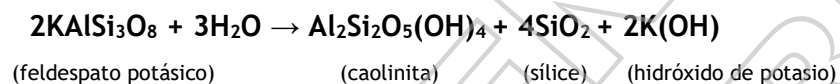
4.3. Alteración.

El clima y aguas meteóricas son las causantes principales de la alteración de las rocas expuestas en la zona. La alteración supérgena, se evidencia en los diversos

afloramientos y canteras de maicillo cuyo protolito corresponde a los intrusivos carboníferos-pérmicos.

En el área de estudio, ésta alteración supérgena implicó la caolinización de los feldespatos y micas de tonalitas, granitos y pizarras, permitiendo la lixiviación de K y SiO₂, y la neoformación principalmente a caolinita, a partir de Al₂O₃ presentes en el sistema.

La ecuación representativa de la formación de caolinita, es la siguiente (Galán y Espinoza de los Monteros, 1984):



4.4. Estructuras.

En la Cordillera de la Costa se observa que la Serie Oriental y la Serie Occidental del Basamento Metamórfico con las unidades que presentan los mayores plegamientos, pliegues asimétricos, volcados y recumbentes. Sus ejes buzan en general, al oriente y tienen rumbos muy variables, predominantemente NNE. Las rocas sedimentarias marinas, Formaciones Quiriquina y Curanilahue, están fuertemente basculadas y la Formación Santa Juana se presenta con un suave plegamiento. El fallamiento y/o fracturamiento alcanza su mayor intensidad en el Batolito de la Costa, tanto en su porción central como periférica. Los sistemas de fallas principales son N-S a NNE-SSO y NNO-SSE. El primero controla, fundamentalmente, tanto los acantilados costeros, como los quiebres de pendiente locales entre la Cordillera de la Costa y la Depresión Central, manifestándose también en la Cordillera Andina. El segundo sistema (NNO-SSE) controla, mediante estructuras de mayor desarrollo aparente, los cauces principales y tributarios que atraviesan estas cordilleras, los cuales tienen una dirección general semejante y son sensiblemente paralelos entre sí. Se presentan dos sistemas de fallas normales principales con direcciones ENE-WSW y NNE-SSW, con desplazamientos hasta de 400 metros, y fallas de menor tamaño con direcciones variadas, algunas de estas estructuras son fallas de bisagra que comienzan con un salto pequeño y el salto va aumentando con el rumbo.

Por otra parte, estas estructuras que permitieron el levantamiento relativo de la Cordillera de la Costa respecto de la Depresión Central, son las responsables de las grandes acumulaciones sedimentarias que existen al oriente de la Cordillera de la Costa, debiendo los ríos, como el Bío-Bío, abrirse paso a través de ésta mediante llanos relativamente estrechos.

Localmente, la presencia de pliegues volcados y recumbentes afecta a la unidad Patagual- El Venado. Los conglomerados basales de la Formación Santa Juana están manteniendo hacia NE y también fallados por estructuras extensionales en dirección NNE que habrían dado origen a la cuenca sedimentaria del depósito de Santa Angélica.

4.5. Mineralización.

Según la información obtenida por análisis de difracción de rayos X realizados por el laboratorio CEM Geoatacama, el depósito Santa Angélica mineralógicamente contiene cuarzo (48,19-57,85), caolinita (16,49-33,09), moscovita (7,61-11,89), menor illita (5,00-6,99) y algunos sectores albita (12,50-18,98) (Tabla 1). Algunas fases no pudieron ser detectadas por difracción de rayos X, pero su contenido es menor.

Tabla 1: Fases minerales presentes en el manto caolinífero (Anexo 8.6).

		Fase Mineral				
		Cuarzo (%)	Albita (%)	Moscovita (%)	Illita (%)	Grupo caolín (%)
Número de muestras	M-1	53,62		11,89	6,21	28,29
	M-2	53,36		10,20	5,44	31,01
	M-3	49,64	12,50	7,80	5,22	24,84
	M-4	48,19	18,30	7,61	6,99	18,92
	M-5	57,85		10,12	5,63	26,40
	M-6	48,81	17,43	9,26	6,53	17,98
	M-7	49,80	18,98	9,62	5,10	16,49
	M-8	51,40	15,16	9,10	5,00	19,34
	M-9	49,15		11,12	6,65	33,09

4.6. Estratigrafía del área (confección de columna/s estratigráfica/s que ilustren la estratigrafía del área)

4.6.1. Geoquímica.

La información de análisis geoquímicos realizados por el laboratorio CEM Geoatacama indica que las arcillas caoliníferas del yacimiento Santa Angélica presentan contenidos muy elevados de SiO₂ y muy bajos de Al₂O₃ (Tabla 2). Esto implica que su potencial uso industrial se limita a estos contenidos de sílice y aluminio. Sin embargo, los contenidos de Fe₂O₃, CaO y TiO₂; los óxidos representativos de impurezas en caolín, son extremadamente bajos.

Tabla 2: Geoquímica de elementos mayores en arcillas caoliníferas del Yac. Santa Angélica (Anexo 8.6)

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
M-1	75,57	0,09	16,79	0,13		0,19		1,85
M-2	75,39	0,09	17,08	0,11		0,17		1,60
M-3	76,04	0,08	16,23	0,11	0,13	0,16	1,40	1,30
M-4	76,62	0,09	15,30	0,14	0,19	0,22	2,05	1,40
M-5	77,82	0,09	15,27	0,12		0,17		1,60
M-6	76,70	0,09	15,30	0,13	0,19	0,20	1,95	1,57
M-7	77,45	0,08	14,93	0,10	0,20	0,16	2,13	1,51
M-8	77,49	0,09	15,06	0,10	0,16	0,16	1,70	1,44
M-9	73,23	0,09	18,46	0,14		0,21		1,79

5. GEOLOGÍA ECONÓMICA

5.1. Descripción geológica general del área de estudio.

El Yacimiento Santa Angélica se encuentra en el sector de Patagual, camino a Coronel. El acceso desde Concepción, es por la Ruta de la Madera hasta el kilómetro 24, luego por ruta Coronel-Santa Juana, también pavimentado, hasta el km 11 de la bifurcación con San Ricardo por camino de tierra, hasta la entrada de la propiedad donde se encuentra el yacimiento. El camino dentro de la propiedad es arcilloso y fuertemente deformado por grietas que dificultan el acceso con vehículos. Este último tramo se efectúa siempre a pie ya que además son caminos angostos (para 1 vehículo) y forestales de fuerte pendiente (mayor a 30 %) en algunos tramos.

El yacimiento es un depósito de arcillas caoliníticas de origen sedimentario que se encuentra sobreyaciendo, en discordancia angular, a conglomerados triásicos de la Formación Santa Juana. El depósito se encuentra sobre los 250 m.s.n.m. y tiene una geometría tabular subhorizontal que alcanza espesores de al menos 8 m de potencia, con rumbo aproximadamente NS y manteo que varía entre 20-40° hacia el NNW. El techo del caolín se encuentra muy somero con una sobrecarga que varía entre 0 a 3.4 m de profundidad correspondiente a suelo orgánico vegetal, bosque de eucaliptus y pinos y menor flora nativa.

5.2. Estructuras.

El depósito sedimentario se habría originado en una pequeña cuenca afectada por fallas normales, que le habrían dado forma a esta depresión. Por lo tanto, tenemos estructuras que afectan a los conglomerados de la Formación Santa Juana y quizás a

otras secuencias triásicas de la zona. Sin embargo, estas estructuras no afectarían directamente al depósito.

Por otra parte, proponemos la presencia de estructuras más jóvenes que ubicarían la secuencia sedimentaria a distintas alturas. A escala local, estas estructuras propuestas son inferidas por evidencias de terreno en que observamos a la secuencia a distintas altitudes, aunque se requiere de mayor evidencia cinemática (sondajes, calicatas, trincheras (zanjas), etc.) para conocer su verdadera naturaleza.

5.3. Génesis de depósito.

El origen de los minerales del caolín en la naturaleza está controlado por una litología favorables y unas condiciones ambientales que permitan la transformación de los silicatos ricos en alúmina (principalmente feldespatos) en filosilicatos del grupo de las kanditas.

Rocas como granitos, gneis, vulcanitas ácidas, areniscas grauváquicas, arcosas, micaesquistos y pizarras alumínicas en ambientes tan diferentes en condiciones climáticas templadas y húmedas, hidrotermalismo, o vulcanismo, han provocado concentraciones explotables de caolín en diferentes épocas geológicas.

El mecanismo de caolinización de una roca es complejo. Una vez producida la lixiviación e hidrólisis acida de los feldespatos, los iones menos móviles pueden precipitar y neofomar caolinita (MILLOT, 1964) de acuerdo con una secuencia que, de forma simplificada se verifica como sigue:



Sin embargo, otros autores demuestran que los feldespatos hidrolizados se transforman en estado sólido en minerales del caolín a través de una fase micácea (SAND, 1956; KELLER, 1964). Por su parte, también está demostrado que las moscovitas primarias o procedentes de biotitas alteradas pueden ser transformadas en caolinita (KONTA et al, 1956; GALÁN et al, 1973-1975).

La caolinita y otros minerales del grupo han sido sintetizados en laboratorio con diferentes materiales de partida y grados de pH. Se han obtenido Kanditas cristalizadas a temperaturas desde ambiente a 374 °C y presiones hasta 300 atm, pero siempre en soluciones muy diluidas (GALÁN, 1977).

En la clasificación de los depósitos del caolín se pueden definir dos grandes grupos: **caolines primarios**, que mantienen una relación directa con la roca madre heredando la mayor parte de las características de la textura y estructura originales de la roca, y han sido formados por la alteración de ésta a través de procesos volcánicos, hidrotermales o de meteorización y **caolines secundarios** que se presentan como masas

que han sido arrastradas por el agua y luego depositadas formando yacimientos (BRISYOW, 1977; KUZVART, 1984).

En nuestro contexto, podríamos interpretar que se tratan de caolines secundarios, que se habrían originado en una cuenca lacustre de aguas calmas donde se habría depositado material fino proveniente del basamento ígneo-metamórfico. Este material se compone de partículas feldespáticas principalmente metamórficas finas.

La cuenca habría favorecido la hidrólisis de los feldespatos y la neoformación de minerales para originar arcillas plásticas caoliníticas. La actividad tectónica cenozoica, se habría encargado de elevar y ubicar al depósito a mayor altitud, donde además habrían actuado procesos epigenéticos donde se involucra el agua meteórica en la fase final de evolución del depósito.

Para la determinación de las condiciones de formación del caolín se tomaron en cuenta algunas particularidades del depósito como la relación en el contenido de caolinita y moscovita/illita (PÁEZ et al. (1982), el cambio en las concentraciones relativas de caolinita e illita pueden ser explicados por la transición de un ambiente marino a otro no marino. Este cambio en la depositación se refleja en un decrecimiento de la caolinita y en un incremento de la illita resultado de un proceso de floculación diferencial relacionada con el aumento de la salinidad. La Tabla 1 presenta los porcentajes mineralógicos asociados a la relación caolinita/moscovita-illita bajo condiciones de salinidad. Cuando la relación caolinita/moscovita es menor de 1,0 entonces existe una predominancia del ambiente marino, y si la relación es mayor de 1,0 habrá mayor influencia del ambiente no-marino (PÁEZ, et al. 1982).

La tabla 3 presenta la relación caolinita/moscovita-illita para las 9 muestras del área de estudio. El depósito se comporta de la misma manera para todas las muestras, con relaciones que superan el 1 y llegan incluso a casi 2 para las muestras 2, 3 y 9, lo cual indicaría un ambiente de influencia no-marina.

Tabla 3. Relación mineralógica entre el porcentaje de cuarzo versus el porcentaje de moscovita-illita.

		relación
		Caolinita/moscovita-Illita
Número de muestras	M-1	1,56
	M-2	1,98
	M-3	1,91
	M-4	1,30
	M-5	1,68
	M-6	1,14
	M-7	1,12
	M-8	1,37
	M-9	1,86

5.4. Descripción detallada de yacimientos y sectores de interés en el área de estudio.

Caracterización del depósito.

El caolín sedimentario comprende una secuencia de capas de distintos espesores y con ligeras variaciones geoquímicas y mineralógicas que no alteran, mayormente, sus propiedades industriales. Esta secuencia está ligeramente inclinada (manteando) hacia el NE (10° aproximadamente) y se encuentra sobre los 250 m.s.n.m., con rumbo EW.

No se observan cuerpos intrusivos ni vetas de cuarzo. Existen algunas quebradas que atraviesan el yacimiento con direcciones NS, NNE y EW. Sin embargo, no se pudo observar indicadores cinemáticos de estas posibles fallas.

El depósito está en contacto neto con el conglomerado triásico por el W y limitado topográficamente en el resto del área. Sin embargo, el área de estudio es limitada y se pudo verificar la existencia de un afloramiento fuera del área de estudio (hacia el SE), por lo que se recomienda realizar una segunda campaña ampliando la zona de exploración.

Mediante observaciones de terreno, calculamos un espesor mínimo de 8 m de potencia. Sin embargo, el espesor real puede llegar a los 20 m en los sectores más profundos de la paleocuenca lacustre. Para fines estimativos, consideramos un espesor promedio de 10 m y de esta manera, estimamos un mínimo de reservas de caolín.

5.5. Distribución y caracterización mineralógica detallada de zonas de interés.

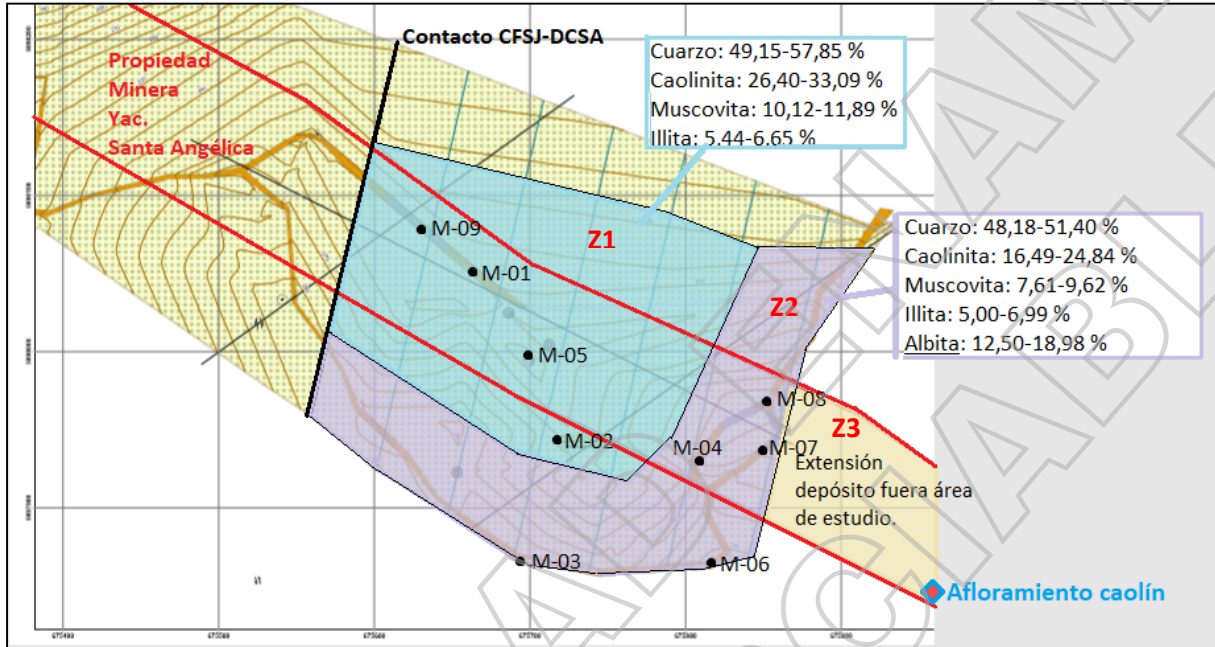
Con respecto a la distribución del depósito de caolín Santa Angélica (DCSA), éste se encuentra en el sector SE de la propiedad minera y se extiende hacia el N y S de ésta. Limita en el NW, por contacto neto inferido, con los conglomerados triásicos de la Formación Santa Juana (CFSJ) (Fig. 1). La potencia del depósito tiene un mínimo de 8 m medido en un afloramiento.

Según la información obtenida por análisis de difracción de rayos X realizados por el laboratorio CEM Geoatacama, se detectaron dos zonas con mineralización diferente. La primera zona (Z1), señalada en el mapa de color celeste en el sector NW del depósito (fig. 1), contiene mayor cuarzo, caolinita y moscovita que la zona 2, de color violeta en sector SE y S del depósito. Esta zona 2, contiene además albita, mineral ausente en la zona 1. Esto podría deberse a un lavado de la zona 1, el que acumula un aumento del % de caolinita en la parte inferior (zona 1).

Cabe destacar, que los porcentajes encontrados en cuanto a posibles impurezas para determinar la blancura del caolín, las que hacen referencia a la presencia de minerales

óxidos e hidróxidos de hierro, han sido despreciables, con lo que el yacimiento se considera bastante puro en lo que hace referencia al color (Cameselleet al., 1995).

Fig.1: Mapa sectores mineralizados y muestras analizadas (Anexo 8.2).



La zona 3 comprende un sector fuera del área de estudio, pero donde se extiende el depósito de arcillas caoliníferas, evidenciado por un afloramiento ubicado en el extremo SE de la propiedad minera.

5.6. Definición de recursos en sus distintas categorías, indicando método de cálculo y discusión al respecto.

Durante esta etapa de exploración del Yacimiento Santa Angélica, se realizaron trincheras, mapeo superficial y muestreos fragmentarios. Sin embargo, no se realizaron sondajes, por lo tanto, no sabemos la profundidad máxima que puede alcanzar esta capa de arcillas, ni de la existencia de más capas en profundidad.

El mapa confeccionado del depósito, se basa en dos afloramientos aislados y algunas calicatas antiguas además de trincheras. Sin embargo, ninguno de estos afloramientos o labores permite determinar la profundidad de la capa. Por lo tanto, los perfiles geológicos modelados, presentan un manto de caolín bastante tabular con un espesor máximo de 10 m; este fue el espesor medido en uno de los afloramientos.

El modelo del yacimiento puede asegurar continuidad geológica lateral del manto de arcillas con un alto grado de confianza, sin embargo, la potencia real del manto de

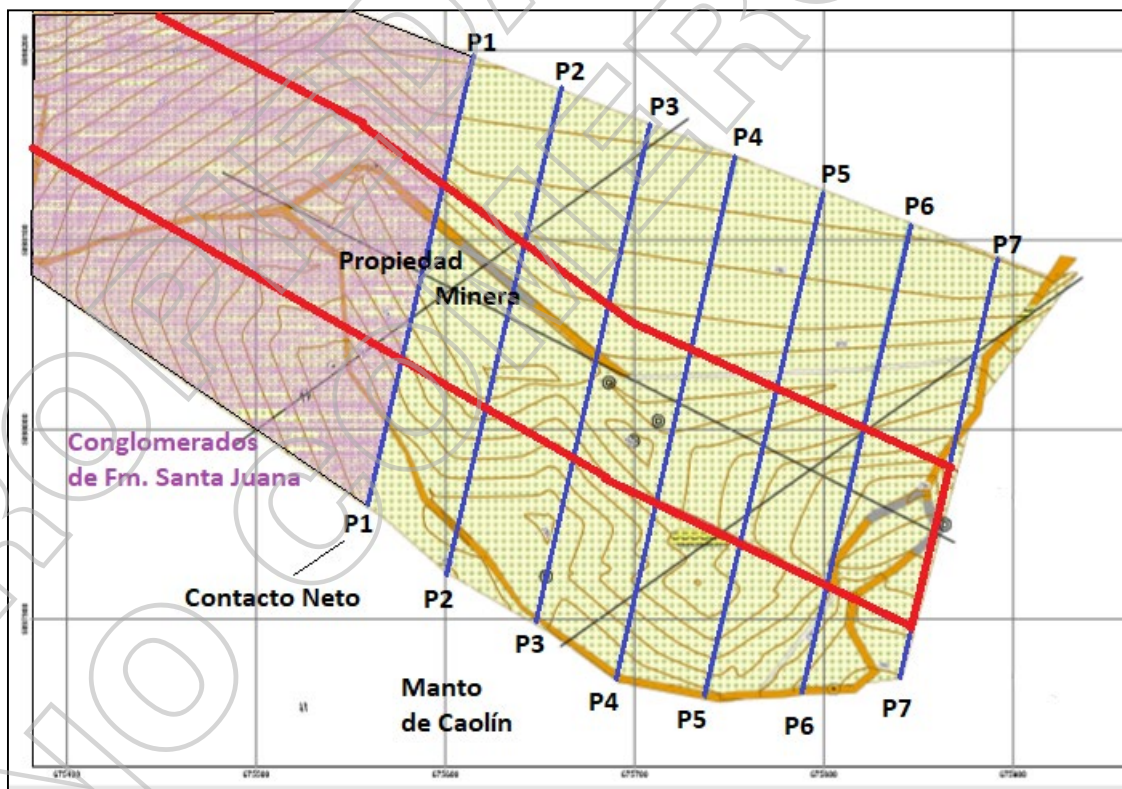
caolín y de la sobrecarga son indeterminados. Por lo tanto, para esta etapa de exploración hablaremos de recursos identificados e inferidos de caolín.

5.6.1. Cálculo de los Recursos

Durante el mapeo superficial, se determinó que el manto de caolín se extiende fuera de la propiedad minera donde también se investigó buscando los límites de la capa. Por lo tanto, el área total explorada es mayor al tamaño de la propiedad minera. En consecuencia, se calcularon los recursos contenidos dentro de la propiedad minera y los recursos totales contenidos en toda el área explorada (dentro y fuera de la propiedad).

Para la estimación, y tratándose de un manto bastante regular, utilizamos el método de los perfiles donde confeccionamos 7 perfiles paralelos que delimitan a 6 sólidos con un volumen de caolín definido. (Figura 2). Importante destacar que el perfil 1 tiene la orientación del contacto neto inferido entre el manto de caolín y los conglomerados triásicos de la formación Santa Juana, razón por la cual se eligió esta orientación para el resto de los perfiles.

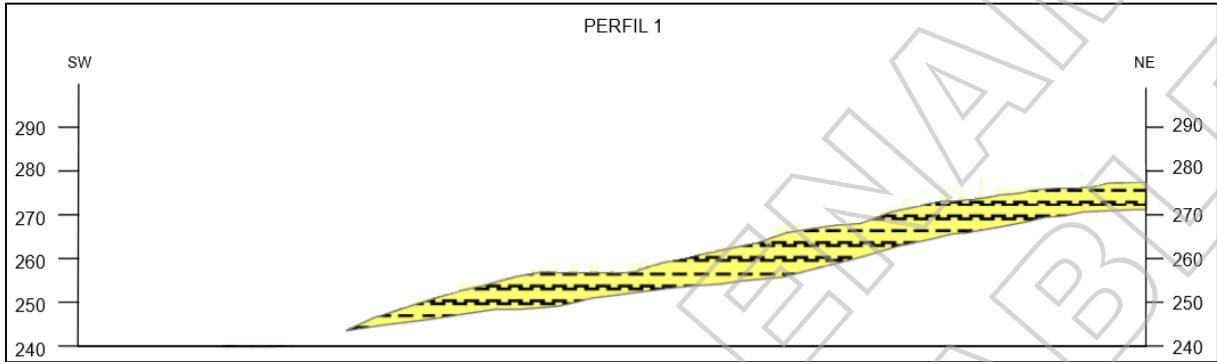
Fig. 2: Mapa del sector mineralizado (Anexo 8.4).



En el mapa, el manto de caolín se encuentra en el sector SE de la propiedad. El perfil P1 es también el contacto neto entre los conglomerados de Fm. Santa Juana y el manto de caolín.

En primer lugar, calculamos el área del manto de caolín en cada perfil. Para esto, trazamos cada perfil a escala en papel milimetrado y procedemos a contar el área en milímetros que luego se traspasa a escala real. (fig. 3)

Fig. 3: Ejemplo de utilización de perfiles para estimación de reservas (Anexo 8.4).



En el perfil, sólo se representa el manto de caolín a escala 1:1000. Este manto se trazó sobre papel milimetrado para conteo de puntos en milímetros cuadrados. El área real determinada para cada perfil es la siguiente:

$$A1 = 1.107 \text{ m}^2$$

$$A2 = 1.342 \text{ m}^2$$

$$A3 = 1.884 \text{ m}^2$$

$$A4 = 2.116 \text{ m}^2$$

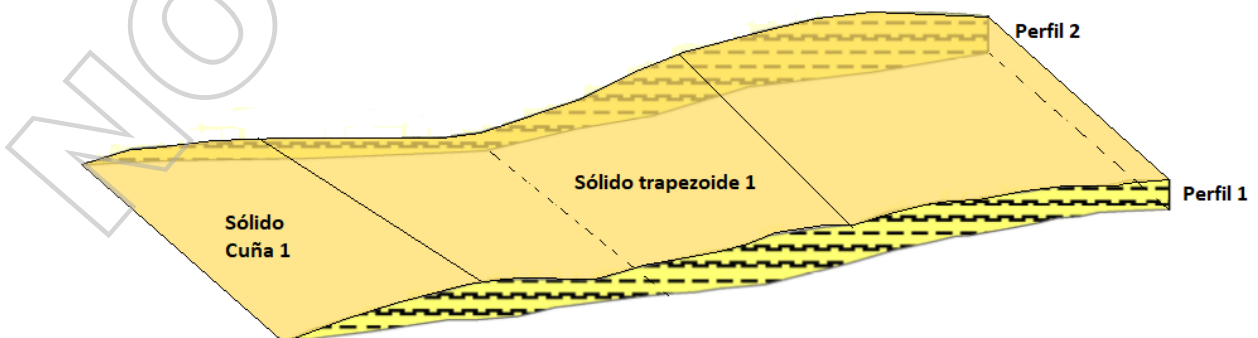
$$A5 = 2.249 \text{ m}^2$$

$$A6 = 2.428 \text{ m}^2$$

$$A7 = 2.000 \text{ m}^2$$

Luego, para calcular los volúmenes de los 6 sólidos limitados por los 7 perfiles, utilizamos la fórmula del trapecoide para la parte del sólido con forma tabular (fig.4), y la fórmula de la cuña en la parte norte de los sólidos, donde el cuerpo parece acuñarse.

Figura 4: Sólido 1 formado por perfiles 1 y 2.



Fórmula del trapezoide:

$$V_{S1} = (A_1 + A_2) / 2 \times L$$

Donde:

V_{S1} : Volumen del sólido limitado por los perfiles 1 y 2.

A_1 y A_2 = áreas de los perfiles 1 y 2 respectivamente.

L - distancia entre perfiles fija de 50 m.

A continuación, se presenta los volúmenes calculados mediante la fórmula del trapezoide para los 6 sólidos:

$$V_{S1} = (A_1 + A_2) / 2 * 50 = 61.225 \text{ m}^3$$

$$V_{S2} = (A_2 + A_3) / 2 * 50 = 80.650 \text{ m}^3$$

$$V_{S3} = (A_3 + A_4) / 2 * 50 = 100.000 \text{ m}^3$$

$$V_{S4} = (A_4 + A_5) / 2 * 50 = 109.125 \text{ m}^3$$

$$V_{S5} = (A_5 + A_6) / 2 * 50 = 116.925 \text{ m}^3$$

$$V_{S6} = (A_6 + A_7) / 2 * 50 = 110.700 \text{ m}^3$$

El volumen total de los trapezoides es:

$$V_T = \sum V = 578.625 \text{ m}^3$$

El cálculo del volumen en los flancos del sector norte, se realiza por la fórmula de la cuña:

$$V_{c1} = 1/2 A_{c1} * L$$

Donde:

V_{c1} : Volumen de la cuña entre perfil 1 y 2.

A_{c1} : Área de cuña de perfil 1

L : distancia entre perfiles fija de 50 m.

Así se calcularon los volúmenes de 6 cuñas:

$$V_{c1}: 1/2 A_1 * L = 1900 \text{ m}^3$$

$$V_{c2}: 1/2 A_2 * L = 1275 \text{ m}^3$$

$$V_{c3}: 1/2 A_3 * L = 1700 \text{ m}^3$$

$$V_{c4}: 1/2 A_4 * L = 1575 \text{ m}^3$$

$$V_{c5}: 1/2 A_5 * L = 1075 \text{ m}^3$$

$$V_{c6}: 1/2 A_6 * L = 2125 \text{ m}^3$$

El volumen total de cañas es:

$$VTC = \Sigma VC = 9650 \text{ m}^3$$

El volumen total de caolín en el depósito es igual a la sumatoria del volumen total de trapecoides + el volumen total de cañas:

$$V \text{ Depósito} = 588.275 \text{ m}^3$$

Para calcular el tonelaje del recurso, se requiere multiplicar la densidad del caolín por el volumen de éste.

Densidad de Caolín = 2,2 ton/m³

Total de recursos en área explorada = 1.294.205 toneladas

Realizamos el mismo procedimiento para estimar los recursos tan sólo en la propiedad minera pero esta vez no incluimos estimación en cañas ya que sólo se trataría de formas trapezoidales.

Las áreas calculadas en los 7 perfiles para la propiedad minera son las siguientes:

$$A1 = 418 \text{ m}^2$$

$$A2 = 302 \text{ m}^2$$

$$A3 = 529 \text{ m}^2$$

$$A4 = 584 \text{ m}^2$$

$$A5 = 724 \text{ m}^2$$

$$A6 = 786 \text{ m}^2$$

$$A7 = 702 \text{ m}^2$$

Los volúmenes formados por los 6 sólidos son los siguientes:

$$VS1 = 18.000 \text{ m}^3$$

$$VS2 = 20.775 \text{ m}^3$$

$$VS3 = 27.825 \text{ m}^3$$

$$VS4 = 32.700 \text{ m}^3$$

$$VS5 = 37.750 \text{ m}^3$$

$$VS6 = 37.200 \text{ m}^3$$

El volumen total del recurso es:

$$\Sigma VS = 174.250 \text{ m}^3$$

Este volumen se multiplica por la densidad del caolín que es de 2,2 ton/m³ para obtener el total de recursos en la propiedad minera. Así, se estima de forma inferida que en la propiedad minera se tienen al menos **383.350 toneladas de arcillas caoliníferas.**

5.7. Análisis de mercado de caolín y/u otros recursos de rocas y minerales industriales identificados en el área de estudio.

Los principales usos y por lo tanto mercado para las arcillas de caolín o zeolitas, quedan enmarcados en la industria papelera, la industria cerámica, refractarios, fibra de vidrio, industria de pinturas e industrias de plásticos y otros usos¹.

Esta diversificación del producto, hace que potencialmente sea más atractiva su comercialización, aunque hay que tener en cuenta las restricciones físicas y químicas de los caolines, así como las restricciones técnicas de cada uno de los productos a comercializar. Esto quedará explicado en el siguiente capítulo del informe.

El principal uso y sobre el que se ha concentrado este estudio, está basado en el histórico de la región y las características químicas de estos caolines, es en la industria de la cerámica. Varias son las empresas a nivel regional y nacional, algunas de ellas con fábrica en la misma región del Biobío, como Fanaloza o Ceramitec, la cual tiene sus propias canteras, así como Mindu a nivel nacional.

El rango de valores obtenido acerca de los caolines en un mercado informal, varía entre, los \$15.000 por kilo², según fuente del diario de Concepción al año 2017 y los \$1.500 por kilo, que se puede encontrar comercializándose on-line³, pero en ninguno de los dos casos se pudo averiguar, acerca de la calidad de este.

5.8. Discusión acerca de las impurezas presentes, su distribución y las distintas calidades del recurso y los diferentes usos que pueden tener según su calidad o pureza.

La presencia de esmectita puede causar problemas reológicos en el contexto de la fabricación de papel, porque afecta a la viscosidad, pero en algunas aplicaciones

¹ <http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Noticias/2015/01/22/El-potencial-del-caolin-como-herramienta-para-enfrentar-el-golpe-de-sol-en-manzanos.aspx>

² <https://www.diarioconcepcion.cl/economia-y-negocios/2017/10/15/caolin-el-olvidado-mineral-del-bio-bio-con-alto-potencial-industrial.html>

³ <https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-437226520-arcilla-caolin-1500-por-kilo- JM>

cerámicas puede ser ventajoso pues aumenta la resistencia mecánica (módulo de rotura).

Las impurezas de illita, feldspatos y óxidos de hierro y titanio, pueden estar presentes con el caolín. La distribución de tamaño de partícula y la forma de estas partículas son dos de las más importantes características con las que se controlan las propiedades reológicas de las mezclas arcilla/agua. El intercalamiento de otros minerales arcillosos como la illita en los cristales de la caolinita pueden afectar también a estas propiedades. La mineralización del depósito corresponde principalmente a cuarzo y en menor cantidad a la caolinita. Esto se ve reflejado en los altos contenidos de SiO_2 (>73%) y bajos contenidos de Al_2O_3 (<19%).

La impureza común de las arcillas caoliníferas corresponde a Fe_2O_3 , debido a que reduce la blancura deseada en el caolín produciendo tinciones pardas a rojizas, se consideran porcentajes máximos del 0,6 a 0,7% de óxidos de hierro para los caolines⁴, pero en el yac. Santa Angélica, los contenidos de Fe_2O_3 son bajos del orden de entre 0,1 y 0,14% de Fe_2O_3 y se puede comprobar en la blancura de la arcilla, aunque no se hayan realizado pruebas de cocción.

La presencia de álcalis tiene un importante efecto en la vitrificación por la alteración de la porosidad. Idealmente, una arcilla cerámica para su uso en porcelana debe tener un contenido de potasio inferior a 1,5 %, mínima cantidad de titanita, bajo contenido en sílice y un contenido en Fe_2O_3 menor de 0,5 %⁴. Estos índices se cumplen en el yacimiento Sta. Angélica, a excepción de los porcentajes de potasio (K_2O), que en la mayoría de muestras se encuentran levemente por encima de este umbral, a excepción de las muestras 3, 4 y 8 (tabla 2).

Los elevados contenidos de SiO_2 y bajos contenidos de Al_2O_3 (tabla 2) limitan el potencial industrial de estas arcillas a la industria de la cerámica (loza).

⁴ Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Vol. 36 num. 1 enero-febrero 1997.

Óxidos (%)	I	II	III	IV	V	VI	VII
SiO ₂	76.26	49.88	47.00	45.00	48.67	67.50	51.70
Al ₂ O ₃	16.46	37.65	40.00	38.10	19.45	26.50	25-44
Fe ₂ O ₃	0.12	0.88	-	0.60	2.70	0.50-1.20	0.5-2.4
MnO	-	-	-	-	-	-	-
MgO	0.18	0.13	-	-	8.50	0.10-0.19	0.2-0.7
CaO	0.17 **	0.03	-	-	15.85	0.18-0.30	0.1-0.2
Na ₂ O	1.85**	0.21	-	-	2.76	1.20-1.50	0.8-3.5
K ₂ O	1.51	1.6	-	-	2.76	1.10-3.10	-
TiO ₂	0.09	0.09	-	1.70	-	-	-
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 3: Composición de las arcillas del Yac. Santa Angélica comparada con algunas especificaciones industriales (Anexo 6).

Legenda:

- I. Valor promedio para 9 muestras del Yac. Santa Angélica
- II. Agricultura (Huber, 1985)
- III. Industria Farmacéutica (Todd, 1975)
- IV. Industria Textil (Keller, 1964)
- V. Ladrillo (Murray, 1963)
- VI. Cerámica (Singer and Sonja, 1971)
- VII. Ladrillo refractario (Parker, 1967)

6. SECTORES DE INTERÉS MINERO

6.1. Definición de perspectivas mineras de los yacimientos en el sector estudiado.

La explotación del yacimiento de caolín Sta. Angélica, quedan ubicadas en las cotas topográficas más altas, que corresponden a la zona de mayor elevación topográfica, ubicada un kilómetro en el interior de la parcela de estudio, según mapa geológico, tal y como se indica en la figura 1 del presente informe.

El acceso a la zona del reservorio, es relativamente complicada, debido a que el camino no está en muy buenas condiciones, posee pendiente elevadas, por las que discurre la escorrentía superficial, en momentos de alta pluviosidad, provocando surcos en el camino, los que a su vez dificultan su acceso.

En cuanto al reservorio en sí y el área de estudio, las perspectivas de explotación son factibles, teniendo en cuenta diversos factores comentados anteriormente, como son la calidad de la materia prima (caolín), así como las variables logísticas que corresponden a la accesibilidad a la zona de explotación u otra variable no analizada, que sería el transporte de esta materia prima hasta el cliente final.

6.2.Recomendaciones gráficas y escritas para profundizar el conocimiento de las zonas definidas por el consultor como interesantes.

A modo de recomendaciones de cara a la potencialidad de explotación respecto del reservorio del caolín, pueden trazarse algunas recomendaciones a tenerse en cuenta. La viabilidad de la vida útil de explotación, queda supeditada a un mayor grado de conocimiento del área de exploración y del comportamiento de la capa de caolín, motivo por el cual se recomienda el ampliar el área de estudio a zonas o parcelas aledañas, de tal forma de poder entender mejor y más ampliamente el comportamiento de la capa de caolín, así como profundizar en una cierta zonación de este, según la mineralogía reconocida en las muestras. Si tal y como se supone, este es de origen sedimentario, podrían encontrarse mayores espesores de cara al centro de la cuenca, si consideramos que nos encontramos en un límite.

También se recomienda la realización de algún sondeo en profundidad, de tal forma de poder medir el espesor de la de caolín, en un solo trazado que corte techo y muro, de tal forma que se pueda correlacionar esta capa a lo largo de las zonas exploradas.

Por último y debido a la informalidad del mercado del caolín, se recomienda el realizar un estudio de mercado regional y nacional, para estimar el consumo de este tipo de arcilla, en sus diferentes usos y más concretamente, según el principal uso cerámico del yacimiento Sta. Angélica.

A modo de conclusión, podrían realizarse otros tipos de ensayo como de cocción, para observar la viabilidad como refractario.

7. REFERENCIAS

- AGUIRRE, L.; HERVÉ, F. & GODOY, E. 1972. Distribution of metamorphic facies in Chile-an outline. *Krystalinikum*. Vol. 9: 7-19.
- BARTOLOMÉ, J.F. 1996, El Caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones. *Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio*. Vol. 36, nº1. enero-febrero 1997.
- BRISTOW, C.M. "A review of the evidence for the origin of the kaolin deposits in S.W. England". *Proc. 8th Int. Kolin Symposium and meeting on Alunite, Madrid-Rome, September 7-16,1977*.
- CAMESELLE, C., NÚÑEZ, M. J., LEMA, J. M., & PAIS, J. (1995). Leaching of iron from kaolins by a spent fermentation liquor: influence of temperature, pH, agitation and citric acid concentration. *Journal of Industrial Microbiology*, 14, 288-292.
- DAVIDSON, J. 1987. Circum Pacific orogenic belts and the evolution of the Pacific Ocean Basin. A general view on the Chilean-Argentine Andes, with emphasis on their early History. Monger, J. & Francheteau, J. (editores). *American Geophysical Union, Geodynamics Series 18: 97-114 pp. Washington, D.C.*
- GALÁN, E. y MARTÍN VIVALDI, J.L. «Caolines españoles. Geología, mineralogía y génesis». *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.*, 12, pp. 79-89, 215-228, 333-340; 13, pp. 89-112, 395-406, 523-546; 14, pp. 123-144, 351-370 (1973-75).
- GALÁN, E. y La Iglesia. «A discussion about Kaolin genesis and synthesis». *Proc 8th Int. Kaolin Symp. and Meeting on Alunite. Madrid-Roma. Serv. Pub. Ministerio Industria y Energía*, 16 pp (1977).
- GALÁN y ESPINOZA de los Monteros 1984
- GONZALEZ-BONORINO, O. & AGUIRRE, L. 1970. Metamorphic facies series of the crystallinebasement of Chile. *Geologische Rundschau*. Vol. 59 (3): 979-994.
- HERVÉ, F. 1977. Petrology of the Crystalline Basement of the Nahuelbuta Mountains, Southcentral Chile. *Comparative Studies on the Geology of the Circumpacific Orogenic Belt in Japan and Chile*. Ishikawa, T. & Aguirre, L. (editores). *Japan Society for the Promotion of Science: 1 -51. Tokio*.
- HERVÉ, F.; GODOY, E.; PARADA, M.A.; RAMOS, V.; RAPELA, C.; MPODOZIS, C. & HUBERT, J.M. (1985): *Kaolin Clays, Huber Corporation Clay Deposit. Georgia U.S.A. 65p.*
- KELLER, W. D. (1964): *Clays in Kirk-Othmer Encyclopedia of chemical Technology Vol.5, pp541 - 585, 2nd edition, John Wiley and Son Inc., New York, USA*
- KONTA, J., BOROVE, C., SRAMEK, J. and TOLAR, V. «Changes of primary biotite and muscovite during kaolinizacion of granites». *5th. Conf. Clay Mineralogy and Petrology. Acta Univ. Caroline Geol. 1972 Supp (1970)*.
- KUZVART, M. «Industrial Minerals and Rocks». *Elvesier*, pp. 307-316 (1984).
- MILLOT, H. *Geologie des argiles. Masson et Cié, Paris (1964)*.
- MUÑOZ CRISTI, J. 1946. Estado actual del conocimiento sobre la geología de la Provincia de Arauco. *Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Anales, Vol. 3: 30-63. Santiago*.
- MURRAY, H. (1963). *Industrial Applications of Kaolin Clays and Clay Minerals, (Pergamon Press, London)*.
- PAEZ, F., FERNANDEZ, H. & MANDELLI, E. (1982). *Mineralogía de los sedimentos de un núcleo de la Laguna Mitla, Guerrero, México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. Pp. 1-10*.
- PARKER, S.K. (1967): *Material Data Book for Engineer and Scientist. Pub. McGraw Hill Book Co., New York; 283p.*

- SAND, L. B. «On the residual kaolins». Am. Mineralogist, 41, pp. 28-40 (1956).
- SINGER, F. and SONJA, S. S. (1971): Industrial Ceramics Publication, pp. 18 - 56. Chapman and Hall, London, UK.
- TODD, R. G. (1975): British Pharmaceutical Codex Publication. R. G. Todd (ed). Pp. 234 - 236. The Pharmaceutical Press, London, UK.

PROPIEDAD ENAMINABLE
NO COMERCIALIZABLE

8. ANEXOS

8.1. Mapa topográfico

PROPIEDAD ENAMI
NO COMERCIALIZABLE

8.2. Mapa geológico

PROPIEDAD ENAMI
NO COMERCIALIZABLE

- 8.3. Imagen satelital del área con ubicación de puntos de observación, muestras, minas e interpretación de zonas de alteración

PROPIEDAD ENAMI
NO COMERCIALIZABLE

- 8.4. Secciones transversales y longitudinales que grafiquen dónde se estimaron los recursos y cuáles muestras se utilizaron para este cálculo

PROPIEDAD ENAMI
NO COMERCIALIZABLE

8.5. Figuras fuera de texto (fotos de muestras, fotos de afloramientos, etc.)

PROPIEDAD ENAMI
NO COMERCIALIZABLE

8.6. Certificados de laboratorios (análisis químicos, estudios mineralógicos, etc.)

PROPIEDAD ENAMI
NO COMERCIALIZABLE