

ROCAS INDUSTRIALES DE VENEZUELA

Víctor M. López

Geólogo e Ingeniero de Minas

Gustavo Ascanio

Geólogo

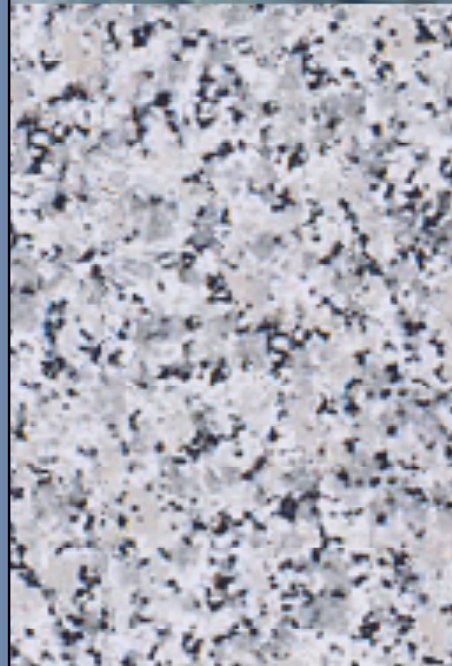
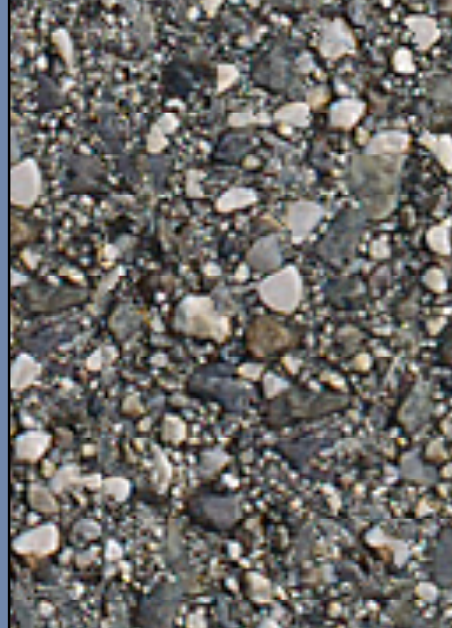
Valerio R. Guerrero T.

Ingeniero de Minas

Actualizado y Ampliado:

José Luis Bertorelli

Ingeniero de Minas



Rocas Industriales de Venezuela
V́ctor M. L3pez, Gustavo Ascanio y Valerio R. Guerrero
Actualizado y Ampliado: Jos3 Luis Bertorelli.

©2003, Fundacite Aragua.

Dep3sito Legal If35920025523319X
ISBN 980-6465-16-4

Capítulo 1.

Introducción

Introducción

La Tierra, este planeta que habitamos, es un elipsoide con una superficie de aproximadamente 500 millones de kilómetros cuadrados, de los cuales 350 millones (70%) lo ocupan los mares y únicamente 150 millones (30%) es material solidificado o rocas que forman la corteza, constituidas por la asociación de minerales cristalinos o amorfos con características homogéneas.

Las observaciones de campo han conducido a los geólogos a dividir las rocas de la tierra en ígneas, sedimentarias y metamórficas con base en su origen. Las rocas ígneas (del latín *ignis*, fuego) están formadas por una masa fundida, que en un tiempo estuvo caliente –conocida como magma o lava– y luego se enfrió o cristalizó para formar una roca compuesta de agregados minerales de silicato. Las rocas sedimentarias (del latín *sedimentum*, asentamiento) se formaron por la acumulación de sedimentos consolidados en rocas duras, firmes, estratégicas o sueltas. Los sedimentos pueden estar integrados por fragmentos de rocas de diferentes tamaños, minerales resistentes y restos de organismos y productos de acción química o de evaporación o mezcla de éstas. Las rocas metamórficas (del griego *meta* y *morphe*, cambio de forma) abarcan aquellos conjuntos minerales que han sufrido ajustes estructurales o mineralógicos a ciertas condiciones físicas o químicas o combinación de ellas impuestas por la profundidad.

La corteza terrestre, según F.W Clarke y H.S Washington, hasta una profundidad de 16 kilómetros está compuesta por 95% de rocas ígneas, 4,75% de rocas metamórficas y 0,25% de calizas. De lo cual estos investigadores deducen que la cantidad de rocas sedimentarias y otros minerales de la Tierra es insignificante en comparación con la gran masa de las rocas ígneas y que la composición media de la corteza terrestre son rocas ígneas.

La Tierra posee, en sus rocas, riquezas de todas clases, repartidas de manera tan irregular que de esta distribución nace la fortuna de un pueblo y la desgracia de otros.

1.1 Rasgos históricos

Para subsistir, es decir, para obtener sus alimentos, el hombre primitivo recurrió desde el comienzo a utilizar guijarros o trozos de rocas como utensilios para lograr diversos beneficios. Posteriormente, comienza a tallar estos utensilios sobre los cantos que abundaban en playas y ríos. Los materiales tallados son diversos y van desde el pedernal y el cuarzo hasta la cuarcita y las calizas, pasando por todo tipo de elementos. El potencial transformador del hombre comienza con la talla de estas piedras.

El pedernal es una concreción silícea. Es la roca química sedimentaria más común. Es dura, densa, criptocristalina y está compuesta de calcedonia y cuarzo o una mezcla de estos minerales. Los historiadores están de acuerdo en asignar al pedernal el primer lugar entre las rocas utilizadas por el hombre en la etapa paleolítica de su historia. Para ellos, el pedernal constituyó la materia de la primera herramienta, cuyo tipo –herramienta manual para toda clase de trabajos– es el hacha, que en aquella época era a la vez hacha, cuchilla, sierra y cincel. Durante muchos siglos, después del descubrimiento de los metales, el pedernal siguió siendo utilizado por el hombre en el desarrollo de la construcción con hormigón y para el empedrado de los caminos.

El mejoramiento progresivo de la talla, a través de milenios, combinado con los cambios de ambiente dio como resultado el establecimiento de la industria de las rocas que caracteriza las distintas fases de la evolución humana como paleolítica, que alcanzó aproximadamente un millón de años de duración, para extenderse a lo largo de todos los continentes de la Tierra. Es así como, durante 12.000 años o más, el hombre ha venido utilizando la piedra para construirse refugios.

Cuadro 1. Cronología del Paleolítico

Período geológico	Años a.C	Evolución en la utilización de las rocas		
Holoceno	4.000	Neolítico	4. Neantropido <i>Homo sapiens</i> El hombre comienza a utilizar las rocas para otros propósitos; además de hacer utensilios, utiliza el suelo para cultivar, rocas para construir, arcilla para cerámicas. Comienza la industrialización de las rocas.	
	6.000		Mesolítico	4. Neantropido <i>Homo sapiens</i> Se desarrolla la talla de utensilios pequeños, diminutas lascas o microlitos.
Pleistoceno	8.000	Paleolítico		Superior
	1.000		Medio	
	20.000			Inferior
	25.000		Primitivo	
	30.000			1.000.000
	35.000			
	40.000			
	50.000			
60.000				
70.000				
80.000				
90.000				
100.000				
200.000				
300.000				
400.000				
500.000				
600.000				
700.000				
800.000				
900.000				
1.000.000				

Para el año 3000 a.C. comienza la época protodinástica de Egipto y con ella la perfección del retoque del pedernal y el trabajo de la piedra. El arte de trabajar la piedra avanza, creándose esculturas de grandes dimensiones y belleza, y obras funerarias tales como pirámides –las cuales son raras, porque el Bajo Egipto, donde se establece la corte de los faraones y se hacen esas grandes construcciones, carece de piedras, por lo cual hubo de importarse desde el Alto Egipto las piedras empleadas para tales construcciones y esculturas.

Desde el comienzo, los egipcios utilizaron todos los tipos de rocas que se podían encontrar en el Valle del Nilo y áreas vecinas, tales como alabastros, basaltos, brechas verdes y blancas, dioritas, calizas, pórfidos, arenas, areniscas y serpentinas, que fueron empleadas en estatuas, sarcófagos, bajo y alto relieve, construcciones de pirámides y templos, y arenas para fabricar vidrio. Las rocas blandas eran cortadas a cincel, las duras eran extraídas con métodos sofisticados. Los bloques eran desprendidos de la masa introduciendo cuñas de madera entre las grietas de la roca, estas cuñas luego eran humedecidas con agua y el bloque se separaba de la masa de la roca al hincharse la cuña.

Los egipcios fueron los primeros en el mundo en utilizar las rocas a escala intensiva, para obtener las piedras con que construyeron las pirámides y otros grandes templos. Tanto en las

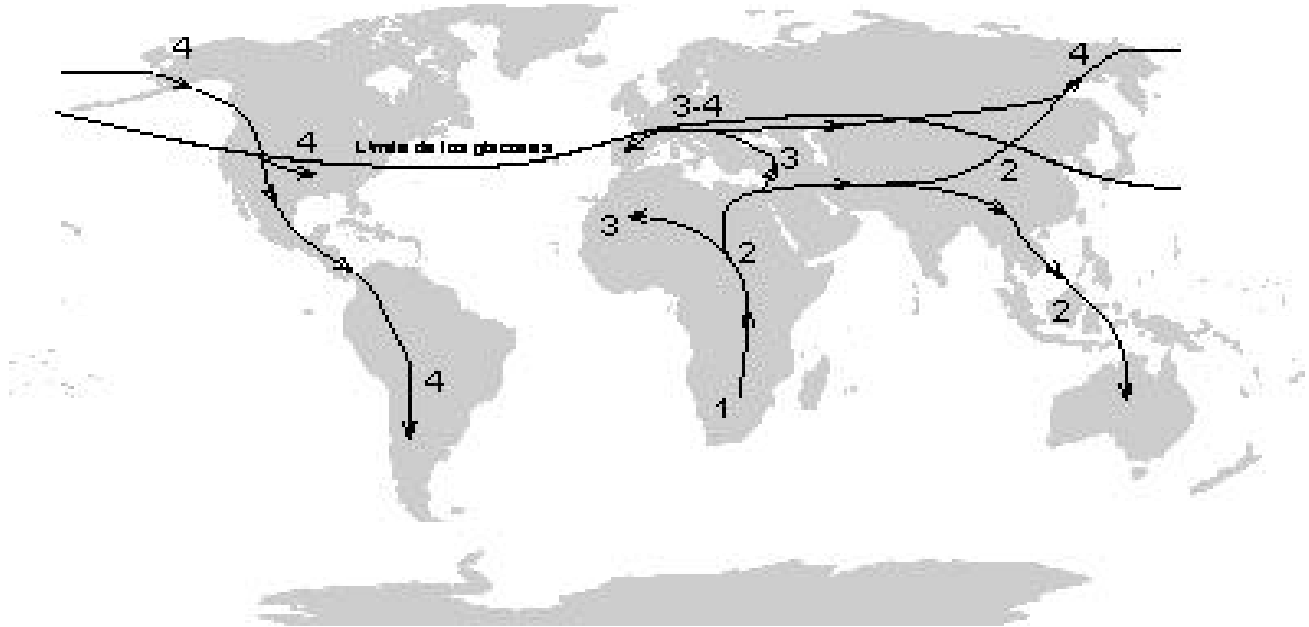
pirámides de Egipto como en las inmensas edificaciones de griegos, incas y mayas, el hombre superó los problemas de transporte de colosales bloques de roca que llegaban a pesar toneladas.

En Creta comienza la utilización de las rocas para uso en estatuaria y construcción aproximadamente en la misma época en que empieza en Egipto. En las ruinas de Creta se puede observar la influencia del arte egipcio. Las leyendas griegas indican la existencia de relaciones entre las culturas de la Península Helénica y Creta, que se extendieron por el Egeo, pasando con el tiempo a Roma.

Al oriente de Egipto, la Baja Mesopotamia carece de piedras; por lo cual, desde los comienzos, la construcción se hizo con ladrillos de arcillas sin cocer, formando una sola masa con el terraplén que estaban edificando. No lejos de allí, en la parte alta de Mesopotamia, había canteras de alabastro y calizas blancas, que fueron utilizadas en la estatuaria y los relieves.

Durante el Imperio Romano, en Roma se desarrolló la industria de rocas para materiales de construcción. Después de la caída del imperio, en el siglo V d.C., la industria de la construcción sufrió un colapso, el comercio decayó y sólo se explotaban sales.

Mapa 1. Expansión de la cultura paleolítica durante el Pleistoceno



Leyenda:

1. Australopitecidos *Homo habil*
2. Arcantropido *Homo erectus*
3. Paleotropido *Homo sapiens primigenius*
4. Neantropido *Homo sapiens*

Únicamente en Alemania y Gran Bretaña se continuó explotando rocas para la construcción. En el siglo VIII en España se vuelven a abrir los trabajos de minería para la explotación de rocas.

Durante la Edad Media apenas se trabajó la minería. A partir del siglo XIV se produce un renacimiento en Europa y se incrementa la producción de rocas industriales para la construcción. Esta reacción guarda una marcada diferencia geográfica con respecto al Renacimiento artístico, ya que es en Europa Central donde se explotan nuevos yacimientos hacia el año 1200 d.C.

No ha sido comprobado el uso de arcillas para la fabricación de piezas de alfarería durante el paleolítico. Sin duda alguna, el hombre comenzó a utilizar las tierras de arcillas para la elaboración de cerámica en la época neolítica, posiblemente hacia el octavo milenio a.C. Las primeras piezas de cerámica hechas en torno aparecen hacia el año 3500 a.C. en Mesopotamia. El torno no llega al occidente del Mediterráneo hasta el año 2000 a.C.

Los cambios provocados por la Revolución Neolítica (8000 a.C.), es decir por el desarrollo de la agricultura, ofrecieron al hombre la oportunidad para mejorar la comodidad de sus viviendas. Los agricultores egipcios se habían contentado con simples

refugios de juncos y barro (arcillas), y los sumerios habitaban en chozas levantadas en medio de cañaverales, pero pronto empezaron a erigir edificaciones construidas con barro (arcillas) y tierra pisada o arena. Para el año 3000 a.C., se utilizaba el ladrillo en Siria y Mesopotamia. Estos ladrillos fundamentalmente se trataban de una masa de barro (limo y arcilla) mezclada con paja, a la cual se le daba forma a presión dentro de un molde de madera y luego se dejaba secar al sol.

A medida que fue avanzando la civilización, se perfeccionaron las artes cerámicas. Una de las consecuencias de las luchas e invasiones de la Edad Antigua fue que los pueblos vencedores asimilaron los usos y costumbres de los vencidos. Así los griegos y romanos aprendieron de asirios, babilonios, persas y egipcios el arte de la alfarería y la cerámica. Los romanos, cuyas legiones llevaban consigo ladrilleros y alfareros, cuidaron de propagar esta industria por todos los países en que fundaron colonias. Las invasiones bárbaras que marcaron el principio de la Edad Media barrieron la industria cerámica y transcurrió mucho tiempo antes de que ésta volviera a seguir en Europa.

En el siglo XI se desarrolló en Alemania la fabricación del gres cerámico. En 1570, los industriales de Amberes fundaron en Lambeth una fábrica de productos cerámicos, a ésta siguieron las fábricas de Staffordshire en Inglaterra (fundada en 1668) y la industria inglesa del gres cerámico establecida en 1710 en

Chelsea. La invención de la porcelana en 1709 dio impulso a la industria cerámica. El descubrimiento de la porcelana no ha impedido la creación de nuevos productos cerámicos.

La caliza, cuya importancia ha tomado ímpetu en la etapa industrial que comenzó a fines del siglo XVIII, está considerada como una de las rocas más importantes para la vida humana. Las calizas y dolomitas son quizás las rocas sedimentarias de mayor interés económico, pues son materias primas usadas corrientemente como materiales de construcción, piedras ornamentales y en la industria del vidrio; además de ser fundamentales en la elaboración de cales, cementos refractarios y otros productos. El consumo de caliza en la fabricación de cemento Portland es el más elevado, por un amplio margen, en aplicaciones industriales o químicas. Se ha estimado que de todas las rocas explotadas en el mundo, la caliza representa más de 35 por ciento, lo cual señala la importancia de esta roca. El uso de cal, producido de las calizas, como abono no es una invención moderna. China y Japón la utilizaban desde tiempos remotos. Los romanos y los galos también utilizaban la cal como abono.

Las formaciones de rocas fosfatadas o fosforita, generalmente calizas de origen sedimentario, constituyen los yacimientos de fosforita más importantes. Los ingleses fueron los primeros en emplear los fosfatos minerales, descubiertos en sus propias islas. En 1854 se inició la explotación de fosforita en Suffolk de donde pasó más tarde a la región de Cambridge. La llamada "fiebre de los fosfatos" se había apoderado de muchos países para finales del siglo XIX. Son muy importantes los yacimientos de fosforitas sedimentarias de Florida en Estados Unidos, los de Túnez y Argelia, y los del Sahara. Casi toda la producción mundial de fosfatos se emplea en la elaboración de fertilizantes.

Capítulo 2.

Las Rocas

Las rocas son agregados naturales compuestos de uno o más minerales, cristalinos o amorfos, que presentan características homogéneas y constituyen sobre la Tierra cuerpos geológicamente independientes. Las rocas se dividen, según su modo de formación, en tres grupos: ígneas o magmáticas, sedimentarias y metamórficas.

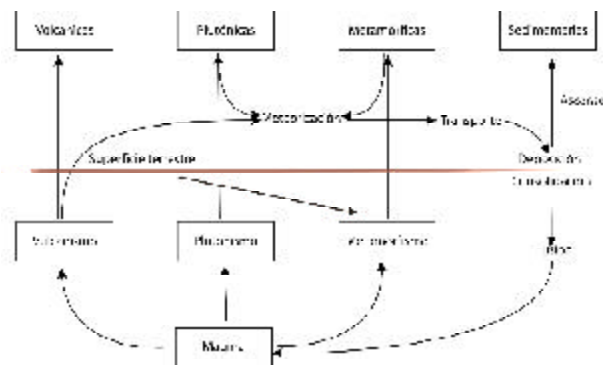


Figura 1. Esquema generalizado del origen de las rocas

Las rocas ígneas o magmáticas son el producto final de la consolidación de un magma, masa fundida de composición principalmente silíceo, rica en elementos volátiles y formada en las profundidades terrestres por la fusión de las masas sólidas preexistentes. Las rocas sedimentarias, que componen las tres cuartas partes de la superficie emergida, son producto de la transformación de rocas preexistentes, debido a la actuación de la gravedad, de los agentes atmosféricos y de la actividad de algunos organismos vivos. Las rocas metamórficas son producto de las reacciones químicas y físicas en estado sólido mediante las cuales todo tipo de rocas se adecua a un nuevo ambiente. Noventa y cinco por ciento de la corteza terrestre está compuesto por rocas ígneas –eruptivas y efusivas– y rocas metamórficas, y cinco por ciento por rocas sedimentarias.

No todas las rocas tienen uso en la industria, ya que se requieren ciertas propiedades geológicas y físicas tales como resistencia, duración y factibilidad de extracción. La mayoría de las rocas se utilizan en bruto y sin laboreo. Pueden ser cortadas y pulidas para la construcción o ser transformadas en cemento, cal, vidrio o productos refractarios. Las rocas que corrientemente se emplean en las industrias son el granito y rocas afines como caliza, mármol, pizarra, arenisca y arcillas, las cuales tienen más de una aplicación.

Las rocas se emplean según a los usos a los cuales se destinan. Estos usos se clasifican en dos grupos: 1) para utilizar en estado bruto y 2) para fines químicos. En el primer grupo figuran las utilizadas en la construcción, en la cual se requiere que la piedra sea de cierto tamaño, posea resistencia y larga duración. La roca granítica y afines son las que cumplen con estos requisitos, siguiendo la arenisca para conglomerados y rellenos. Para fines químicos la caliza sirve casi exclusivamente en la fabricación de cemento Portland y también tiene importancia en la producción de cal álcalis para la agricultura y en la fabricación de azúcar, refractarios y lana mineral.

La arena y la grava son esenciales en la construcción moderna, principalmente para pavimentación y construcción. La arena, la grava, y la piedra triturada solas o en combinación y mezcladas con cemento o un material bituminoso forman un mortero o concreto, proporcionándole volumen y consistencia a la mezcla. La piedra triturada proviene de calizas, areniscas, dolomitas, mármol, anfíbolitas, serpentinas y gneis granítico. La arcilla es la principal materia prima de la industria cerámica, en la fabricación de ladrillos, tejas y terracotas donde sólo se necesita arcilla. Pero en la fabricación de loza o porcelana son necesarios feldespato y cuarzo; mientras que en ciertas porcelanas se necesitan bauxita, bentonita, pirofillita, circón y espatofluor, aunque la espina dorsal de la industria es la arcilla. Las piedras de techar se limitan en gran parte a la pizarra.

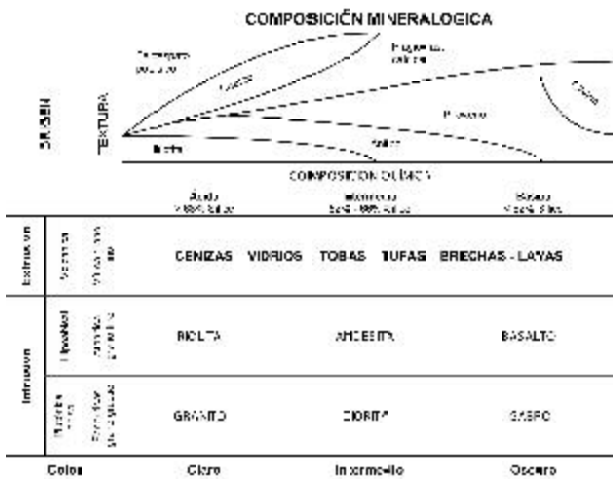
2.1 Rocas ígneas

Las rocas ígneas o magmáticas son aquellas que se han formado por solidificación del material rocoso caliente y móvil llamado magma. El magma se define generalmente como materia rocosa fundida, es decir, roca en estado de fusión. Sin embargo, esta definición omite el hecho de que el magma contiene componentes volátiles que se pierden al solidificarse. La solidificación del magma no tiene lugar a una temperatura definida, sino que generalmente es prolongada en el tiempo y en el lugar por la cristalización fraccionaria, proceso por el cual gradualmente progresa la separación del líquido y los cristales.

El magma se encuentra en zonas profundas de la corteza terrestre, al ascender y llegar a la superficie produce las rocas de carácter extrusivo o al quedar aprisionado en el camino, por movimientos tectónicos, produce las rocas de carácter intrusivo.

Los principales elementos que componen las rocas son oxígeno, silicio, aluminio, hierro, magnesio, calcio, sodio y potasio. El contenido de sílice de las rocas va desde 40 por ciento (peridotitas) hasta 66 por ciento (granito). Las rocas pobres en sílice contienen cantidades de calcio, magnesio y hierro, y son llamadas rocas básicas; mientras que las rocas ricas en sílice presentan mayor proporción de sodio y potasio, y se denominan rocas ácidas (Véase Cuadro 2).

Cuadro 1. Clasificación de las rocas ígneas



2.1.1 Clasificación de las rocas ígneas según el tipo de yacimiento

Según los diferentes tipos de yacimientos, las rocas ígneas se clasifican en:

2.1.1.1 Intrusivas

Las rocas ígneas formadas por la cristalización lenta del magma debajo de la superficie de la Tierra reciben colectivamente el nombre de intrusivas. En este grupo se distinguen las gran-

des masas que cristalizan a profundidad, llamadas abisales o plutónicas, y las que cristalizan bajo condiciones intermedias, es decir, entre gran profundidad y la superficie, denominadas hipoabisales. (Véase Figura 2).

2.1.1.1.1 Abisales o plutónicas

Las masas de rocas plutónicas o abisales varían enormemente en forma y extensión. Los batolitos son cuerpos intrusivos gigantes con paredes de inclinación muy acentuada y sin ningún piso visible. Los batolitos se componen típicamente de rocas ácidas: granitos o dioritas. A veces sus afloramientos se extienden sobre varios miles de kilómetros cuadrados. Los lacolitos son masas de rocas plutónicas de forma plana convexa (cúpula o domo), concordante con las rocas que encajan. Muchos lacolitos pasan en forma gradual a sills. Los lacolitos suelen ser de dimensiones más reducidas que los batolitos, no hay muchos lacolitos cuyo diámetro sobrepase de unos cuantos kilómetros. Los lopolitos son masa de rocas plutónicas intercaladas entre los estratos de una serie sedimentaria, concordantes con la estratificación general del terreno y con frecuencia deprimida en el centro (forma plana cóncava). Su espesor es variable, pudiendo alcanzar más de un kilómetro y su extensión superficial es considerable, pudiendo ser varias decenas de kilómetros.

2.1.1.1.2 Hipoabisales

Cuando los magmas formados a profundidad ascienden hacia la superficie terrestre por las fracturas, grietas, o fallas existentes en las rocas forman las estructuras de las rocas ígneas hipoabisales. Éstas pueden ocurrir como diques, extensiones tabulares o fuertemente inclinadas que atraviesan la dirección de la roca encajante; como diques circulares inclinados con afloramientos arqueados o anulares, formados por la ascensión del magma a lo largo de grandes fracturas cónicas o cilíndricas, algunas veces con varios kilómetros de diámetros; o como sills, que son masas tabulares concordantes con la estructura principal. Las rocas hipoabisales no pueden separarse claramente ni de las rocas abisales ni de las rocas volcánicas, ya que presentan características más o menos intermedias entre los dos tipos. Se distinguen de las abisales en que se presentan en forma de diques o sills, y tienen estructuras características resultantes de un enfriamiento más rápido. El reconocimiento de este grupo, por lo tanto, es quizás de mayor valor en los estudios sobre el terreno –donde se conoce el yacimiento– más que en el laboratorio.

2.1.1.2 Extrusivas o volcánicas

Las rocas extrusivas o volcánicas provienen de un volcán o de una grieta, o sea, de una abertura de la corteza terrestre por la cual el magma procedente de las profundidades es lanzado a la superficie en forma de lava, o de proyección de lava, fragmentos de roca, cenizas y gas. Al llegar a la superficie a través de las fisuras, la lava se extiende por las comarcas vecinas, rellenando la topografía. Los materiales sólidos lanzados al aire

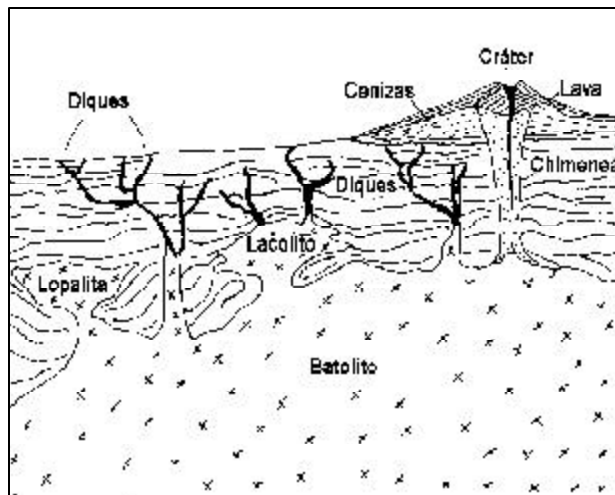


Figura 2. Corte esquemático de una región de la litosfera.

se precipitan a diversos lugares en las cercanías del cráter del volcán. Las rocas que se originan de estas actividades extrusivas corresponden a rocas volcánicas propiamente dichas, formadas al solidificarse la lava expulsada por las grietas o por el volcán, y a rocas piroclásticas de carácter fragmentario, formadas por los materiales sólidos arrojados por las explosiones del volcán.

2.1.2 Textura de las rocas ígneas

El rasgo más característico de la textura o fábrica de las rocas plutónicas es su estado holocristalino (ausencia de vidrio), es decir, una textura totalmente de cristales o granuda, debido a un grado de enfriamiento tan lento que el magma cristalizó totalmente. En las rocas extrusivas o volcánicas la textura por lo general es de grano fino o vítrea (microlítica), raras veces ofidea o con baja actividad de burbujas de gas, causante de la liviandad de la piedra y de la escoria volcánica.

2.1.3 Clasificación de las rocas ígneas según su composición química

2.1.3.1 Rocas abisales o plutónicas de composición ácida:

2.1.3.1.1 Granito

La familia del granito forma el grupo de rocas silíceas que contienen sobre 66 por ciento de sílice y está caracterizada por la presencia de cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasa sódica. El granito contiene abundante cuarzo, entre 70 y 40 por ciento. Muchas variedades de granito se denominan según los minerales característicos más prominentes, como granito de moscovita, granito de hornblenda, etc. Desde el granito, pasando por la granodiorita, hasta la diorita disminuye la cantidad de cuarzo. Los granitos son los más abundantes de todas las rocas plutónicas o abisales. Origen: Los grandes plutones graníticos o batolitos pueden originarse de varias maneras; a saber, por excavación magmática (un cuerpo de magma excava

o abre su camino hacia arriba dentro de la corteza terrestre), por inyección forzada (el magma, en ascenso vertical, empuja hacia arriba a la roca suprayacente), o por el remplazamiento metasomático o granitización (proceso mediante el cual las rocas sólidas son cambiadas en roca de composición y textura granítica sin pasar por una etapa magmática). Ocurrencia: La familia del granito ocurre muy extensivamente en los terrenos precámbricos, en los batolitos de cadenas montañosas con plegamientos erosionales. La superficie de muchos batolitos puede estar expuesta sobre cientos e incluso miles de kilómetros cuadrados. Usos: Frecuentemente el granito o las rocas de la familia del granito constituyen un elemento apreciado de construcción. El granito se emplea universalmente en adoquines, aceras, lajas, balasto, etc. El hermoso suplemento que puede adquirir, sobre todo cuando es de textura porfiroide, lo hace un apropiado material de decoración. El granito se emplea como material de construcción en las regiones graníticas, casas de habitación, construcciones públicas y obras de artes. La posibilidad de obtener grandes bloques permite hacer pedestales de estatuas. La granodiorita, roca de constitución vecina a la del granito pero más pobre en sílice y biotitas, tiene los mismos usos que el granito.

2.1.3.2 Rocas abisales o plutónicas de composición intermedia:

2.1.3.2.1 Diorita, monzonita y sienita

Se clasifican como rocas de composición intermedia porque su contenido de sílice varía entre 52 y 66 por ciento; algunas contienen cuarzo, muchas no lo tienen. La diorita consiste principalmente de plagioclasa, la sienita está compuesta de feldespato alcalino y la monzonita se caracteriza por sus cantidades casi iguales de feldespato alcalino y plagioclasa. Origen: La investigación de campo indica que la mayoría de las rocas dioríticas, monzoníticas y sieníticas están relacionadas con los batolitos de granito y granodiorita. Algunas dioritas y monzonitas son de origen híbrido, o debidas a la reacción entre un magma máfico y una roca regional silíceas o entre un magma silíceo y una roca intrusiva máfica. Ocurrencia: La familia de las dioritas se encuentra generalmente como fases marginales de los plutones más grandes de granito, como diques o sills. Las dioritas y las monzonitas no son rocas abundantes, en su mayoría son fases de transición más que rocas independientes. La mayoría de las sienitas ocurren como intrusivas relativamente pequeñas, son fases de bordes de masas batolíticas de granito, o se levantan en forma de diques y formas pequeñas que parten de un batolito. Uso: El uso de la familia de la diorita corresponde a los de la mayoría de las rocas de textura granosa, como son pavimentación, ornamentación y construcción.

2.1.3.3 Rocas abisales o plutónicas de composición básica (máficas)

2.1.3.3.1 Gabro

El principal mineral constituyente de los gabros es la plagioclasa. Los minerales máficos en orden de abundancia son la augita,

la hiperstena y el olivino. Los gabros normales están compuestos principalmente por plagioclasa calcica y augita. Cuando en los gabros predomina la hiperstena se les llama norita; si aumenta la cantidad de olivino pasan a ser gabros de olivino y anorita de olivino; y por reducción de todos los minerales máficos el gabro pasa a anortosita. Origen: La semejanza en mineralogía y textura de todas las rocas gabroides como los gabros, las noritas y los anortositas indica que todas ellas provienen esencialmente del mismo tipo de magma. Ocurrencia: Los gabros y rocas afines se presentan en sills gruesos y grandes diques. Los gabros, las noritas y las anortositas se encuentran algunas veces en intrusiones enormes, comparables con las grandes masas de granito, en forma de lololitos. Usos: Los gabros con olivino se encuentra en ocasiones relacionados con importantes yacimientos de cromo, níquel, cobalto y platino, y además representan una importante fuente de olivino (escoria básica), utilizado en los altos hornos.

2.1.3.4 Rocas abisales o plutónicas de composición ultrabásica:

2.1.3.4.1 Peridotitas y dunitas

Las peridotitas y las dunitas contienen menos de 45 por ciento de sílice y generalmente carecen de feldespato. Unas rocas ultrabásicas de grano grueso contienen una pequeña cantidad de plagioclasa calcica, la mayoría está compuesta de olivino. La peridotita es una roca rica en olivino, (un término general que se aplica a rocas ultramáficas de grano grueso). Además del olivino, pueden ocurrir otros minerales máficos en cantidades considerables, y sus variedades se designan según el más prominente de estos minerales: peridotitas de piroxeno, peridotita de hornblenda, peridotita de mica (kimberlita). La dunita es una roca ultramáfica compuesta principalmente por olivino magnesiano y como accesorios esporádicos presenta cromita, magnetita e ilmenita. Las rocas ultramáficas monominerálicas son las hornblendita (compuesta de hornblenda), la piroxenita (compuesta de piroxeno), la diopsidita (compuesta de diopsida), y la dialogita (compuesta de dialoga). La serpentina es el producto de la alteración hidrotérmica del piroxeno y el olivino en peridotitas, dunitas y piroxenitas. Origen: Las bandas de peridotitas y dunitas de los complejos estratiformes gabroides y ultramáficos son el resultado del asentamiento por gravedad de los minerales máficos pesados durante la cristalización de un magma básico. Ocurrencia: Generalmente las rocas ultrabásicas se encuentran en las partes más bajas de los sills y lololitos gruesos, de donde pasan gradualmente hacia arriba a las rocas máficas. Usos: Las peridotitas frecuentemente se encuentran asociadas con cromita, níquel y metales raros; la kimberlita al diamante y a cristales de piropro (rubí). La serpentina a veces se encuentra asociada a yacimientos de cobre, y a menudo se utiliza también en láminas pulimentadas. Las dunitas están ligadas a importantes yacimientos de minerales metálicos y además representan una importante fuente de olivino (escoria básica) utilizado en los altos hornos.

2.1.3.5 Rocas hipoabisales de composición ácida:

2.1.3.5.1 Aplitas y pegmatitas

Las aplitas y las pegmatitas se clasifican como rocas hipoabisales. Son rocas formadas fundamentalmente por cuarzo y feldespato, que carecen o tienen muy poca cantidad de minerales ferromagnesianos. Las aplitas son rocas parecidas a los granitos, de grano fino, formadas por un agregado de cristales irregulares de cuarzo, ortoclasa y plagioclasa, con menos o falta de biotita. Las pegmatitas son rocas de composición análoga a las aplitas, pero se diferencian de ellas por su textura, ya que están formadas por grandes cristales de cuarzo y feldespato; en general los feldespatos son ideomorfos y el cuarzo ocupa los intersticios irregulares que dejan entre sí sus cristales. En las pegmatitas suelen encontrarse otros minerales como moscovita, turmalina, topacio y berilio, que pueden tener interés industrial. Origen: Las aplitas se desarrollan de la disolución residual de los magmas, producidos por los plutones que cortan; por tanto, están compuestos principalmente por minerales que cristalizan después, formando los diques. Las pegmatitas son la etapa residual de las rocas plutónicas con las cuales están asociadas, así las pegmatitas de granito están compuestas principalmente de feldespato alcalino y cuarzo. Ocurrencia: Muchos plutones graníticos, junto con sus respaldos, son cortados por aplitas. La tendencia de la aplita es a seguir fracturas y exfoliaciones, o a atravesar los caracteres estructurales. Las pegmatitas se presentan dispuestas en filones torcidos, sinuosos y aspilleros, en diques cuya anchura varía desde centímetros hasta varias decenas de metros. Usos: Las aplitas carecen de importancia comercial e industrial, su presencia puede condicionar la extracción de un granito determinado. Las pegmatitas son rocas de importancia comercial para la extracción de varios minerales como es el caso de la ortosa, moscovita, berilo, etc. Además, en las pegmatitas suelen encontrarse otros minerales como turmalina y topacio que pueden tener interés industrial, y minerales radioactivos como uraninita, monacita y autunita.

2.1.3.6 Rocas hipoabisales de composición básica:

2.1.3.6.1 Diabasas

Las diabasas (doleritas) son rocas de composición similar a la del gabro y el basalto. En su mayoría son de grano fino y mediano. Ocurrencia: La diabasa predominantemente ocurre entre diques y enjambres de sills intrusivos de poca profundidad a los lechos de estratos de muy poca inclinación u horizontal. Usos: Las diabasas están asociadas frecuentemente a concentraciones útiles de minerales. Se utilizan en aplicaciones locales en edificaciones.

2.1.3.7 Rocas extrusivas o volcánicas de composición ácida:

2.1.3.7.1 Riolita

La riolita es el equivalente volcánico de la familia del granito, aunque la extrusión de las lavas riolíticas no está necesaria-

mente relacionada con la eruptiva de un cuerpo granítico. Las riolitas contienen fenocristales, ortoclasa sódica, piroxeno y anfíbol sódico, indicando su carácter alcalino. Origen: Proviene del enfriamiento rápido de un magma granítico viscoso. Se le encuentra en cúpulas, chimeneas, diques y coladas de lava.

2.1.3.7.2 Dacita

La dacita es el equivalente volcánico de la grano-diorita. La mayoría de las dacitas son porfídicas en una pasta vítrea o felsítica. Origen: Se le encuentra en lavas y diques.

2.1.3.8 Rocas extrusivas o volcánicas de composición intermedia:

2.1.3.8.1 Andesita

Las andesitas son lavas en las cuales la plagioclasa sódica es el constituyente predominante. El cuarzo está presente en la parte vítrea de la pasta. Los ferromagnesianos comunes pueden ser biotita, hornblenda, augita e hiperstena. En términos generales, la andesita es la roca intermedia entre la riolita y el basalto. Las andesitas son generalmente porfídicas en una pasta vítrea. Origen: La asociación riolita-andesita-basalto sugiere que estas rocas son productos de la cristalización normal de un magma máfico originalmente homogéneo, o que las andesitas pueden resultar de la solidificación del basalto por material sílico de la corteza. Uso: La andesita suele utilizarse localmente como material de construcción.

2.1.3.9 Rocas extrusivas o volcánicas de composición básica:

2.1.3.9.1 Basalto

Los basaltos pueden definirse como lavas máficas en las cuales la plagioclasa cálcica es el principal mineral constitutivo, junto con augita, olivino, y el óxido de hierro, la hornblenda, la biotita y la hiperstena sólo en casos excepcionales. En general, los basaltos son de la misma textura de grano fino que los materiales rocosos sólidos arrojados por las explosiones volcánicas, denominadas rocas volcánicas piroclásticas. Las volcánicas típicas se presentan como derrames de lava expulsados sobre la superficie de la Tierra, cuyo espesor individual varía desde unos cuantos centímetros hasta varios centenares de metros. En forma geomorfológica los derrames de lava son cuerpos ígneos tabulares, delgados en comparación con su extensión horizontal. Su posición corresponde de un modo general al enfriamiento rápido de una lava, como la obsidiana, la perlita o la piedra pómez. Ocurrencia: El basalto se encuentra mundialmente extendido. La extendida ocurrencia y uniformidad de textura, mineralogía y composición implican una fuente uniforme de las lavas o magmas a partir de los cuales se cristalizan los basaltos y las diabasas. Los basaltos forman la mayor parte de los conos volcánicos; también son abundantes en las regiones continentales. Como son los productos principales de los volcanes, predominan entre las lavas de los volcanes y de los cinturones orogénicos. Los basaltos constituyen más de 90

por ciento de las lavas participantes en las erupciones volcánicas. La distinción básica entre el basalto y la diabasa es el modo de ocurrencia. Los basaltos son rocas casi exclusivamente volcánicas, mientras que las diabasas predominan entre diques y sills, intrusiones de poca profundidad que han sido inyectadas paralelamente a los lechos de estratos de muy poca inclinación u horizontal. La composición del basalto, la diabasa y el gabro son muy semejantes, lo cual indica que tienen un origen común y han cristalizado en condiciones diferentes.

2.1.3.10 Rocas volcánicas piroclásticas

Las rocas piroclásticas son formadas por las erupciones volcánicas explosivas y comprenden fragmentos de rocas de orígenes diferentes, de muchas formas y tamaños. Algunas acumulaciones producto de la explosión volcánica son relativamente uniformes en composición y se reconocen como rocas piroclásticas; entre ellas están las cenizas, arenas, tobas y conglomerados volcánicos

2.1.3.10.1 Cenizas

Las cenizas volcánicas, o polvo volcánico, se originan cuando la lava en la explosión ha sido pulverizada, de forma que los granos por su pequeñez son arrastrados por el viento, permaneciendo durante mucho tiempo en la atmósfera. Es el material sólido más fino arrojado por los volcanes.

2.1.3.10.2 Tobas

Las tobas volcánicas son las rocas piroclásticas que resultan de la consolidación de las cenizas que se depositan en capas inclinadas en las inmediaciones del volcán u horizontalmente en las zonas más alejadas.

2.1.3.10.3 Brechas

Las brechas volcánicas son las rocas piroclásticas constituidas por restos angulares y de cenizas.

2.1.3.10.4 Conglomerados

Los conglomerados volcánicos son las rocas formadas por la acumulación de fragmentos de rocas volcánicas de cualquier tipo que son arrastrados por los agentes superficiales de transporte, sobre todo por las aguas corrientes. En realidad, los conglomerados no deben considerarse como rocas volcánicas, sino más bien como rocas sedimentarias, ya que se originan por el mismo mecanismo que un conglomerado normal.

2.2 Rocas sedimentarias

La gran masa de las rocas sedimentarias es material formado como consecuencia de la descomposición química y de la desintegración mecánica que sufren las rocas preexistentes y depositado en forma estratigráfica capa por capa en la superficie de la litosfera. Aunque muchas rocas sedimentarias se hayan formado a partir de sedimentos más antiguos, inevitablemente todas deben haber provenido originalmente de rocas ígneas.

F.W. Clarke, estima que existen 370 millones de kilómetros cúbicos de rocas sedimentarias, lo cual representa menos de 5 por ciento del volumen de la corteza terrestre.

En general, las rocas sedimentarias se producen de dos modos diferentes: (1) algunas son acumulaciones mecánicas de partículas de rocas y son conocidas como clásticas o detríticas; y (2) otras son depositadas por medios químicos (incluyendo bioquímicos) y se designan no clásticas. La mayoría de los sedimentos depositados mecánicamente consisten en detritos provenientes de la Tierra, representados por los materiales de la meteorización y la erosión de la superficie. El grueso del volumen de los sedimentos, como la arenisca común y las rocas arcillosas pertenecen a este grupo. Los sedimentos depositados por medios químicos constan principalmente de sustancias como carbonatos, sílice y cloruros que en los cristales individuales se mantienen unidos por uniones químicas o están entrelazados uno dentro de otro. Casi todas las rocas no clásticas se originan por precipitación de extensiones de aguas superficiales. La precipitación puede ser causada por evaporación, por reacciones inorgánicas entre sales disueltas o por organismos como bacteria, corales o moluscos.

Las rocas químicas pueden ser depositadas sin incorporación alguna de detritos derivados de la Tierra; sin embargo, es común que contengan fragmentos clásticos. Existe una graduación entre los sedimentos detríticos y las rocas químicas (no clásticas), cada una de las cuales es un miembro completo de una serie de rocas sedimentarias. La mayoría de las rocas sedimentarias son mezclas de componentes de rocas clásticas y no clásticas. Por ejemplo, la mayoría de las areniscas contienen arcilla y material calcáreo, la mayoría de las calizas y dolomitas contienen fracciones arcillosas, y la mayoría de las pizarras contienen carbonato, arena y limo. Esto usualmente se expresa usando un adjetivo clarificativo como arena arcillosa o calcárea, caliza arenosa o arcillosa y así sucesivamente.

2.2.1 Rocas sedimentarias clásticas

Las rocas clásticas o detríticas se clasifican según el grano de los fragmentos que las componen. Se ha fijado un límite arbitrario (2 mm de diámetro), por debajo del cual los componentes se denominan arena y por encima grava. Cuando las arenas están cementadas se denominan areniscas. Cuando las gravas están cementadas se denominan conglomerados. Cuando las arenas o areniscas son de tamaño muy fino (diámetro inferior a 0,06 mm) se pasa a limos y arcillas –también llamadas lutitas– caracterizados por su composición mineralógica especial (mineral de arcilla) resultante de la alteración de los feldespatos (véase Figura 4).

Cuando los productos de la erosión dejan de estar en suspensión en los medios de transporte (agua, hielo o aire) se depositan por la acción de la gravedad. Estos depósitos superficiales son llamados sedimentos clásticos. En la superficie de la Tierra existen zonas más apropiadas que otras para que se realice el proceso de sedimentación. Las primeras serían las zonas más

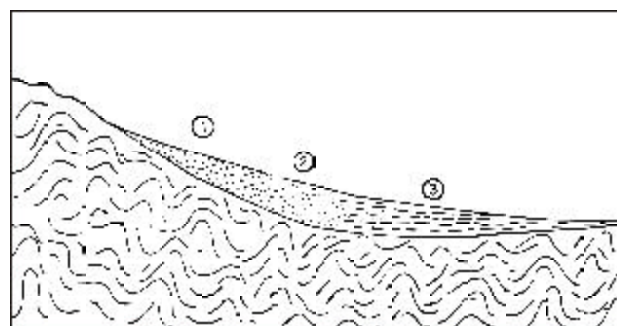
Figura 4. División textural microscópica de las rocas sedimentarias clásticas detríticas (según su tamaño)

CONGLOMERADOS		Normal 4-64 mm
		Fino >4 mm
GRAVA		Arenoso > 20%
		Arcilloso > 20% arcilla
ARENA		> 20% guijarros GUIJOSA > 10% guijarros
		NORMAL Muy gruesa - 1 mm gruesa - 1/2 mm mediana - 1/4 mm fina - 1/8 mm muy fina - 1/16 mm
ARCILLAS		FANGOSA > 20% fango
		ARCILLOSA > 20% arcilla
ARCILLAS		LIMOLITA ARENOSA > 20% arena
		LIMOLITA > granos angulosos
ARCILLAS		FANGOSA granos semiangulosos
		LUTITA

elevadas, donde los agentes erosivos y de transporte desplazan rápidamente los residuos de la destrucción mineralógica. Las segundas serían las zonas deprimidas, donde los agentes transportadores pierden su energía y permiten la deposición de la carga que arrastran.

En las depresiones continentales se acumulan los sedimentos clásticos resultantes de la erosión en los macizos montañosos, los cuales se distribuyen –según su tamaño– a distancias graduales de su origen en: (1) aluviones, (2) arenas y (3) limos y arcillas (véase Figura 5).

Figura 5. Depósito de sedimentos clásticos en depresiones continentales



La arena y la grava se presentan en capas sedimentarias, en lentes y bolsas, en la superficie cercana e interstratificadas con otras capas sedimentarias. Se encuentran formando depósitos fluviales o de llanuras de inundación, depósitos de playa, depósitos por el viento, dunas de arena del desierto y en capas sedimentarias marinas o de agua dulce. Los sedimentos de arenas, gravas y arcillas ocurren principalmente en los siguientes medios ambientales de deposición: (1) fluvial, (2) litoral, (3) eólico y (4) glacial. Pasemos ahora a detallar cada uno de ellos.

En el medio fluvial el agente principal en la formación de los yacimientos de material clástico es el río, cuya pendiente rige el tipo de material que se forma y deposita. En las fuentes o cabeceras –parte alta de los valles–, debido a la gran pendiente que presentan y la gran cantidad de agua que pueden llevar, en determinadas ocasiones los ríos serán capaces de arrancar y transportar fragmentos de roca de gran tamaño que depositarán sobre el lecho. A medida que la corriente de agua del río pierde impulso en este primer tramo, su acción es fundamentalmente erosiva. Al descender e ir perdiendo gradiente, por su carácter erosivo el río ensancha el valle, llegando a un punto en que el valle puede llegar a ser amplio y extenso. En esta zona el río deposita progresivamente con la disminución del gradiente un gran volumen de productos detríticos, ya que el agua que baja de la zona alta a gran velocidad tiene mucha carga y al experimentar una disminución en la velocidad proporcional a la disminución del gradiente, tiende a depositar su carga más aquella que añade la erosión del río en el trayecto.

Cuando el río desemboca en una zona llana a otro valle desde un río colector, deposita el material clástico en forma de cono o abanico. Cuando el río llega a la zona baja, a las amplias depresiones o llanuras, generalmente no sigue un curso recto, sino que presenta un cauce ondulado letalmente, dando lugar a la formación de meandros con la deposición del detrito fino que transporta, como arena fina, arcilla y limo. En resumen, un río que posea un amplio valle ha sido lo suficientemente importante para erosionar, transportar y depositar gran cantidad de material clástico; así, es una zona ideal para investigar la presencia de yacimientos de grava y arena a lo largo de su curso, y de arena fina y arcilla en la zona llana (véase Figura 8).

El medio litoral o de playa se extiende desde la línea de pleamar hasta la de bajamar. Los sedimentos están sumergidos durante un cierto tiempo, alternando con una exposición subaérea debido al ciclo de mareas. La playa está formada por el rompimiento de las olas contra la costa. En una playa se pueden distinguir una serie de zonas a lo largo de su perfil normal en la costa: el acantilado, la plataforma de abrasión y la barra arenosa. En resumen, este medio posee un gran volumen de productos clásticos, cuyo tamaño puede variar desde cantos grandes y bloques hasta limos y arcillas, dependiendo de la intensidad del oleaje y la corriente marina en la zona.

El medio eólico ocurre en regiones desérticas con clima árido. El aire en movimiento es el agente de transporte de los materiales clásticos. Por consiguiente, el tamaño es el principal fac-

Figura 8. Perfiles transversales del valle

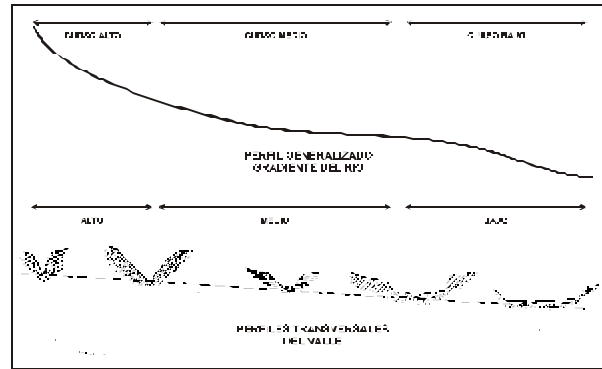
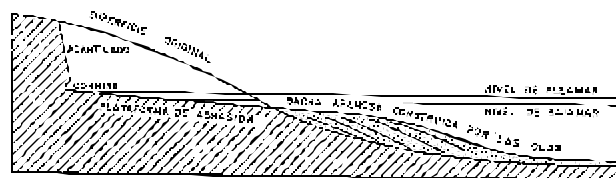


Figura 9. Formas de deposición en el litoral (arenas y gravas)

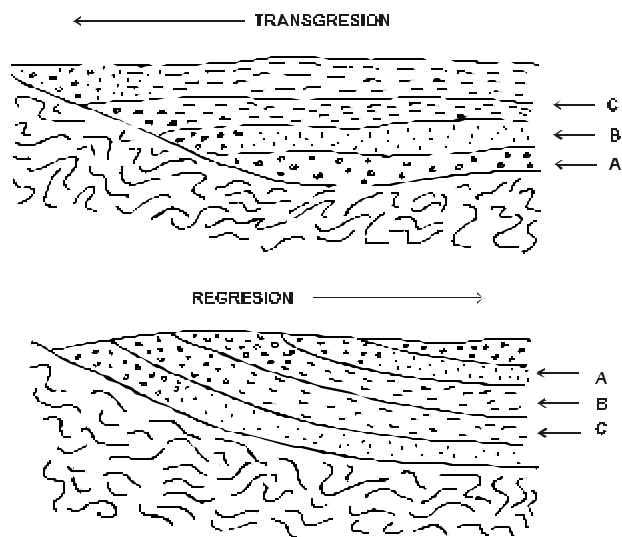


Fuente: Monografía Arenas y gravas. Instituto de Geología y Minas, España.

tor, es decir, el factor selectivo, ya que sólo los materiales muy finos son los transportes en suspensión y los gruesos por saltación. Las gravas no pueden ser movidas. La selección natural es el proceso de una serie de acumulaciones de materiales de gran uniformidad. En cuanto a tamaño, pueden distinguirse los siguientes: (a) dunas de granos tamaño arena, (b) zonas de cantos y fragmentos de gravas que el aire no ha podido arrastrar y (c) suelo rocoso que presenta la roca viva a la abrasión. La duna es la forma general que tiene una acumulación de materiales por este transporte (corrientes de aire). La zona de cantos es una especie de manto donde los fragmentos presentan un pulido especial por la acción que produce la arena en suspensión al chocar entre ellos. El volumen y la gran extensión de estos tipos de yacimientos eólicos son considerables, sobre todo en los tamaños finos.

Los depósitos glaciales son aquellos en que el hielo y el agua producida por una acción secundaria del hielo –es decir, por su deshielo– son los medios de transporte predominantes. Un glacial es capaz de llevar una gran cantidad de productos clásticos durante su viaje. La acumulación de los materiales transportados por un glacial recibe el nombre de morrena. Existen otras series de sedimentos asociados a los glaciares, que proceden del lavado de las morrenas por agua y producen el deshielo del glacial. Este fenómeno produce una selección en cuanto a tamaño se refiere, lavando los sedimentos más finos y dejando los sedimentos más gruesos. La extensión de los depósitos glaciales es grande y cubre amplios valles. En definitiva, en este medio abundan los sedimentos de material grueso y desaparecen por el lavado las arcillas y el limo.

Figura 10. Serie estratigráfica



Leyenda:

- a) Conglomerados
- b) Areniscas
- c) Arcilla y margas

2.2.1.2 Arcillas

Se denominan arcillas aquellas sustancias terrosas formadas principalmente por silicatos aluminicos con materia coloidal y trozos de fragmentos de rocas, que generalmente se hacen plásticas cuando están húmedas y pétreas por la acción del fuego. Estas propiedades dan a las arcillas su utilidad, puesto que se les puede moldear en casi todas las formas, las cuales conservan después de ser sometidas a la acción del fuego. La arcilla tiene muchos otros usos además de la cerámica, principalmente en la construcción y fabricación. El vocablo arcilla proviene del latín *arguilla*, palabra asignada a las materias arcillosas.

La arcilla no es un mineral sino un agregado de minerales y de sustancias coloidales que se han formado mediante la desintegración química de las rocas aluminicas. Está compuesta principalmente por sílice, alúmina y agua; conteniendo también otras sustancias como fragmentos de rocas, de óxidos hidratados de hierro, álcalis y materiales coloidales. En esencia los minerales de la arcilla son silicatos de aluminio. En algunas arcillas los elementos alcalinos se presentan como constituyentes; en otras el magnesio, el hierro o ambos elementos sustituyen total o parcialmente al aluminio. La mayoría de las arcillas se han formado por la desintegración de rocas con un alto contenido de alúmina, a pesar de que algunas son producto del metamorfismo. Estas últimas aparecen sólo en pequeñas cantidades.

Como roca, en geología una arcilla es un material fino, terroso, natural, compuesto por los minerales arcillosos. De esta forma se incluyen, además de las arcillas propiamente dichas, las lutitas y los suelos que tengan propiedades argiláceas.

Los constituyentes químicos esenciales de los minerales de la arcilla varían no sólo en cantidad sino también en el modo en que se combina o se presentan en los diferentes minerales. Los minerales arcillosos más importantes se encuentran en el grupo de las caolinitas y de las montmorilonitas. Las arcillas esenciales de los sedimentos arcillosos son el resultado de la meteorización de rocas ígneas y metamórficas. En condiciones de escasa precipitación, el magnesio de las rocas ígneas máficas permanece en la zona de meteorización y la arcilla producida es montmorilonita. Si la precipitación es considerable, se efectúa una lixiviación completa de la roca, el magnesio es separado y el producto de la meteorización es caolinita. A partir de una roca ígnea ácida se origina illita y montmorilonita en condición de meteorización, con tal que ocurra retención de potasio y magnesio, pero se formaría caolinita de prevalecer una lixiviación excesiva. A continuación presentamos una lista de los minerales arcillosos y sus composiciones.

Mineral	Composición
Caolinita	$\text{Si}_2\text{O}_5\text{Al}_2(\text{OH})_4$
Montmorilonita	$\text{Si}_{24}\text{O}_{60}\text{Mg}_2(\text{OH})_{12}(\text{Na}_3\text{Ca})$
Illita	$(\text{Si}_2\text{Al}_2)(\text{O}_5\text{K})(\text{Al Fe Mg})(\text{OH})$
Atapulgita	$\text{Si}_8\text{O}_{20}\text{Mg}_5(\text{O}_2\text{H})_4\text{H}_2\text{O}$

Según el origen se puede distinguir dos categorías de arcillas: las residuales y las transportadoras, dentro de estas últimas se encuentran las (a) marinas, (b) lacustres, (c) aluviales, (d) estuarias, (e) deltaicas, (f) glaciales y (g) eólicas. Por consiguiente, desde el punto de vista geológico las arcillas tienen una distribución prácticamente universal; a pesar de ello los yacimientos de alta calidad son difíciles de localizar.

Las propiedades físicas más importantes de las arcillas son: (1) plasticidad, que permite que sea moldeada; (2) resistencia a compresión, tensión o cizallamiento; (3) retracción tanto en el secado como mientras está en el horno; (4) temperatura de cocción y vitificación; y (5) color de calcinación, que se debe principalmente a los óxidos de hierro presentes.

La composición y su naturaleza determinan el uso y el valor de la arcilla. El cuarzo disminuye la plasticidad y la retracción, y contribuye a hacerla refractaria. La sílice en forma coloidal aumenta la plasticidad. La alúmina la hace refractaria. El óxido de hierro, al igual que el feldespato, disminuye la temperatura de fusión, actúa como fundente y también es un poderoso agente colorante. Un poco de óxido de hierro colorea intensamente la arcilla tostada, pero una gran cantidad la convierte en un producto rojo o blanco si tiene 5% menos. Según sus propiedades, las arcillas se dividen en dos grupos: el grupo cerámico y el grupo no cerámico.

El grupo cerámico comprende los siguientes productos:

- **Productos estructurales.** Las características de las arcillas de este grupo son básicamente: resistencia en crudo y en cocción, color de calcinación, plasticidad, temperatura de cocción y encogimiento. En los productos están incluidos ladrillos, tejas, bloques, tubos de cerámica, etc.
- **Porcelana:** Las características de este grupo de arcillas son color blanco de calcinación, que son refractarias y su alta temperatura de vitrificación. Dentro de este grupo se utilizan las arcillas denominadas caolines. Los depósitos más importantes y puros de caolines son aquellos de origen residual.
- **Refractarias.** Las arcillas refractarias son todas aquellas que tengan un cono pirométrico equivalente superior al 19 (1.541° C). Generalmente tienen un alto porcentaje de caolinita con algo de cuarzo libre de impureza. Se utiliza en la fábrica de ladrillos y en formas especiales refractarias. Son muy importantes para usos en calderas u hornos de temperaturas relativamente bajas.
- **Potería.** En este grupo se utilizan arcillas de cocción densa, con colores no necesariamente claros y con características aceptables de viscosidad.
- **Agregados de arcillas.** En la elaboración de agregados para concreto se utilizan arcillas con características expansibles.

El grupo no cerámico comprende los siguientes tipos de arcillas: arcillas decolorantes; arcillas absorbentes; arcillas como material de relleno en papel, caucho, linóleo, textiles fertilizantes y otros; arcillas como pigmentos en pinturas y plásticos; arcillas como matriz en fundiciones; arcillas como lodo en perforaciones en la industria petrolera; arcilla en cemento; y arcillas para infinidad de usos industriales de menor importancia tales como catalizadores, detergentes, relleno en medicinas impermeabilizadores de suelos, coagulantes, coherencia, etc.

Las arcillas se clasifican en los tipos siguientes:

- **Arcillas caolines.** Son arcillas residuales, las más puras, de alto porcentaje de caolinita. Son de alto grado, grano fino. Cocción en blanco. Se emplean en la manufactura de loza, porcelana y papel.
- **Arcillas grasas.** Son arcillas muy plásticas y untuosas. Cocción en blanco. Se emplean en la manufactura de loza.
- **Arcillas refractarias.** Son arcillas que contienen poco óxido metálico y álcalis, y pueden resistir temperaturas elevadas sin desagregarse, por cuya razón se usan en la construcción de hornos, crisoles, estufas y obras similares.

- **Arcillas de alfarería.** Son arcillas semirefractarias de fuerte acción y muy semejantes a las arcillas refractarias. Se emplean en alfarería y cerámica.
- **Arcillas para ladrillos y tejas.** Constituyen el tipo más corriente. Son de bajo valor. Se emplean en todas partes para estos productos. Al ser sometidas a la acción del fuego adquieren un color rojo.

Las arcillas comerciales o arcillas empleadas como material crudo en las construcciones están entre los más importantes recursos minerales no metálicos. El valor de estas arcillas está estrechamente relacionado con sus composiciones mineralógicas y químicas, especialmente las arcillas que contienen los minerales caolinita, montmorillonita, illita y atapulgita. La presencia de otros minerales o impurezas de sales solubles restringe sus usos. Las impurezas más comunes son cuarzo, carbonatos, óxido de hierro, sulfatos y feldespato. Las arcillas comerciales son:

- **Arcillas caoliniticas.** Las que contienen un gran porcentaje del mineral caolinita. Varias arcillas comerciales están compuestas predominantemente de caolinita; estas son: arcilla china, arcillas esferoidales, arcillas refractarias y arcillas duras que se emplean en la manufactura de cerámica (alfarería, porcelana, refractarios), papel, pintura, plásticos, insecticidas, catalizadores y tinta; en la industria eléctrica, etc.
- **Arcilla china.** Son caolines blancos de gran calidad. Se emplean en la manufactura de cerámica (alfarería, refractarias y porcelana), papeles, pintura, plásticos, insecticidas, catalizadores y tinta..
- **Arcilla dura.** Es una arcilla refractaria compuesta esencialmente de caolinita, pero es plástica.
- **Arcilla diáspora.** Es una arcilla compuesta de diáspora y caolinita. La diáspora es un óxido de aluminio hidratado con 85% de Al_2O_3 y 15% de agua. Es muy dura y muy refractaria. Se emplea casi exclusivamente en la industria refractaria.
- **Arcillas esferoidales.** Compuestas principalmente de caolinita pero de color más oscuro que el caolín. Se emplean en la manufactura de cerámica donde no prevalece el color blanco.
- **Arcillas refractarias.** Compuestas de caolinita, con pequeñas cantidades de impurezas como illita y cuarzo. Soportan temperaturas de 1500°C o más. Se emplean en revestimientos de hornos, vasijas para productos químicos, crisoles, retortas, equipos para fundición, ladrillos refractarios, etc.
- **Arcillas de atapulgita.** Son silicato de aluminio y magnesio hidratados. Se emplean para decolorar y en el refinado de aceites minerales y vegetales y cera.

- **Arcillas mixtas.** La mayoría de las arcillas contienen mezclas en diferentes proporciones de caolinita, montmorillonita, illita y atapulgita. La industria de estructurales de arcilla es el mayor consumidor de este tipo de arcilla. Con ellas se fabrican ladrillos, tejas, conductos de agua, baldosas, desagües, albañales, bloques, etc.

La arcilla y sus productos tienen tantos usos que es difícil hacer una lista completa de ellos. A manera general, podemos decir que la arcilla se usa en cerámica, porcelana, jarros, ornamentos, tejas, telas impermeables, linóleo, papel, jabón y ladrillos. En los diferentes edificios se emplean para ladrillo de construcción, tejas para techos, tubos para conducción de aguas limpias y negras, baldosas, revestimientos, etc. En la industria eléctrica se utiliza en cajas para enchufes, aisladores, conmutadores, etc. En refractarios para revestir hornos, vasijas para productos químicos, crisoles, retortas, etc. Otros usos son arenas de fundición, ruedas de esmeril, balastos cemento, filtrado de aceite, fabricación de papel y muchos otros de menor importancia.

2.2.2 Rocas sedimentarias no clásticas

La mayoría de las rocas sedimentarias no clásticas o depositadas bioquímicamente son monominerálicas. Entre las rocas no clásticas las de carbonatos son, con ventaja, las más abundantes. La caliza y la dolomita son las más importantes de las rocas sedimentarias de carbonatos. Las calizas y dolomitas son producidas por uno o más de varios modos de deposición, a saber: mecánica, química orgánica o por reemplazamiento. Las evaporitas son rocas sedimentarias formadas por precipitación de sales procedentes de cuerpos de disoluciones concentradas rodeadas de tierra. Las rocas sedimentarias silíceas se forman a profundidad y en ambiente físico-químico durante la deposición. El origen de los sedimentos fosfáticos no ha sido totalmente comprendido; pero la acumulación podría tener lugar en condiciones de sedimentación en áreas restringidas en las cuales prevalezcan circunstancias reductoras. Por ejemplo, cuando el agua de mar está saturada con una solución diluida de fosfato tricálcico.

2.2.2.1 Carbonatos

Las rocas de carbonatos están compuestas esencialmente por minerales de carbonatos. El carbonato de calcio, principalmente en forma de calcita, y el carbonato cálcico magnesio, en forma de dolomita, son los constituyentes principales de las rocas sedimentarias carbonatadas, respectivamente calizas y dolomitas.

2.2.2.1.1 Calizas

Las calizas han recibido este nombre por la cal que se extrae de ella. Al sustraerle el dióxido de carbono queda la cal como residuo, que es simplemente óxido de calcio. La caliza presenta en su composición como minerales fundamentales la calcita y la aragonita, ambos minerales están constituidos por carbonatos de calcio. Origen: La caliza generalmente es de origen

marino, químico u orgánico. Por lo general, se encuentra formando estratos en zonas plegadas montañosas, los cuales son resistentes a la erosión y dan origen a formas montañosas. La caliza directa o indirecta está considerada como uno de los materiales más importantes para la vida humana. Se ha estimado que la corteza terrestre está constituida de entre 3,5 y 4 por ciento de calcio y de 2 por ciento de magnesio; lo cual indica que de todas las rocas explotadas en el mundo la caliza representa un porcentaje superior a 35 por ciento. Usos: Entre los materiales que sirven para abonar figura la caliza pulverizada, debido a su bajo costo de producción y por su abundancia, si bien su eficacia es menor y su control es tan sencillo como el de la cal, producto calcinado de la caliza. La caliza se emplea en las industrias metalúrgica, de la construcción y química, en litografía y en la fabricación de cemento, donde tiene mayor utilización. El cemento Portland fue descubierto en Inglaterra en 1824, dándosele ese nombre porque se parece a la famosa piedra Portland. El cemento Portland se hace tostando, hasta formar escoria, una mezcla finamente molida que contiene aproximadamente 75 por ciento de CaO y 25 por ciento de minerales arcillosos, se añade 3 por ciento del yeso antes del pulverizado final para impedir un fraguado demasiado rápido (Figura 10). La caliza es la roca más importante en la fabricación del cemento. Proporciona el óxido de calcio (CaO), la arcilla proporciona SiO₂ y Al₂O₃; se puede agregar arenisca o arena, o mineral de hierro para compensar la diferencia en SiO₂ y Al₂O₃. Existe una tendencia a fabricar cementos de diferentes clases, adaptados a usos determinados.

2.2.2.1.2 Dolomitas.

El nombre de dolomitas se reserva para las rocas compuestas principalmente por el mineral dolomita, que consiste en doble carbonato de calcio y magnesio (54% CaCO₃ y 46% Mg CO₃). Pero en las calizas dolomíticas la proporción de MgCO₃ es inferior que en la dolomita. Origen: Tanto las dolomitas como las calizas son producidas por uno o más de varios modos de deposición, ya sea mecánica, química o reemplazamiento. Muchas dolomitas no son sedimentarias, sino sustituciones epigenéticas de caliza. Usos: La dolomita se emplea como fundente en los altos hornos y como fundente y escorificante en la metalúrgica. Se emplea como refractarios básicos para la extracción del magnesio metálico. En la industria se utiliza para la preparación de las sales de magnesio.

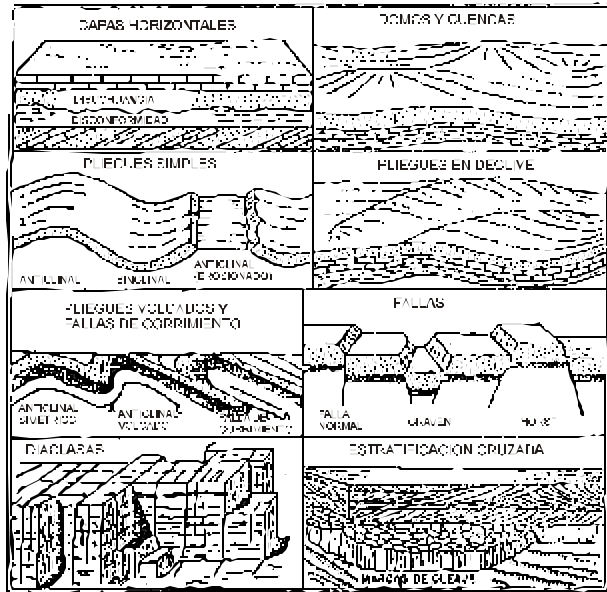
2.2.2.2 Evaporitas

Las evaporitas son depósitos sedimentarios formados por precipitación de sales procedentes de cuerpos de disoluciones concentradas rodeadas de tierra. Como la concentración es ocasionada por la evaporación, a este depósito se le llama colectivamente evaporitas. Las evaporitas más comunes son las de yeso y sal gema.

2.2.2.2.1 Yeso.

Roca sedimentaria química. Evaporita salina. El yeso es un sulfato hidratado con 20 por ciento de H₂O. Ocurrencia: Ocurre

Figura 12. Estructuras de las rocas sedimentarias



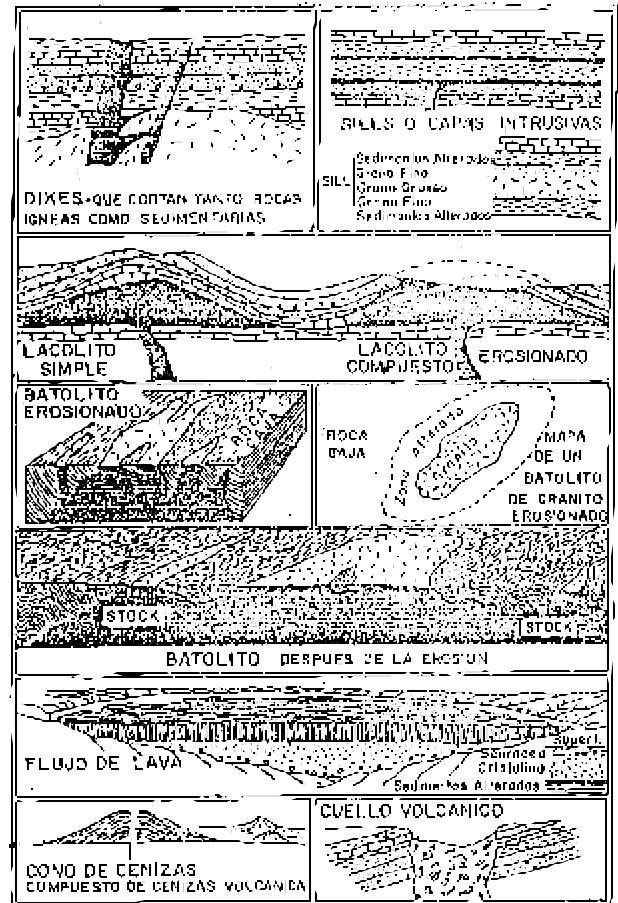
de entre dos fallas normales, se denomina graven. Si, por el contrario, está suspendida, se denomina *horst* o pilar tectónico. Todas las rocas sedimentarias se caracterizan por la presencia de figuras o juntas denominadas diaclasas. Entre las estructuras menores, comunes de los arcos, se encuentra la estratificación cruzada, una formación de estratos cruzados u oblicuos que muestra una estructura típica de delgadas tapitas entrecruzadas.

2.2.4 Formas de las rocas ígneas

En las rocas ígneas intrusivas, la naturaleza de las rocas en las cuales se introduce el magma determina la forma de la intrusión. De esta manera, las rocas ígneas intrusivas pueden clasificarse en diques, sills, lacolitos y bacolitos. Un dique es una masa tabular que entra en la grieta de una roca, donde se enfría. Los diques varían en espesor de pocos centímetros a muchos metros, y usualmente consisten en rocas de composición básica. Cuando el magma fuerza su camino entre capas de rocas estratificadas forma la roca ígnea intrusiva denominada sills. Si la intrusión tiene una forma más o menos lenticular y erguida hacia arriba se denomina lacolito. El término batolito se aplica a la masa rocosa profunda formada por rocas cristalinas que en estado líquido alcanzó las capas más elevadas de la corteza terrestre y se solidificó, y es visible porque la erosión la ha puesto al descubierto.

En cuanto a las rocas ígneas extrusivas, cuando el magma fundido o lava corre en la superficie cristalizada forma una capa de roca extrusiva. Tales capas pueden alcanzar fuertes espesores, y a veces alternan con arenas y arcillas depositadas sobre ellas durante periodos de intermedios volcánicos. Las rocas volcánicas de este tipo son el resultado de erupciones tranquilas. En las explosiones volcánicas violentas, el gas contenido en el magma escapa con violencia y los fragmentos son arroja-

Figura 13. Formas de las rocas ígneas



dos alrededor del volcán, produciendo los depósitos de cenizas no consolidadas y de brechas volcánicas. Estas últimas están formadas por cenizas volcánicas consolidadas llamadas tufa o tobas.

Además de las grandes estructuras asumidas por las masas de rocas ígneas, estas rocas desarrollan pequeñas estructuras que las caracterizan y afectan las formas producidas por la erosión, tales como diaclasas y fallas. Las diabasas producidas por la contracción que sufre la roca al enfriarse usualmente ocurre en grupos paralelos. Las fallas como las juntas son planos de debilidad en la roca. A lo largo de estos planos usualmente se encuentra la erosión, de manera que es usual encontrar valles formados siguiendo estos planos de debilidad en las masas de rocas ígneas. Estos valles usualmente son rectos por distancias considerables y muchas veces sus tributarios se recogen en ángulo recto debido a la intersección de la pauta de juntas.

Ya que las rocas sedimentarias no clásticas raras veces ocurren en posición horizontal, porque se han formado horizontalmente, cualquier pequeña torsión regional que hubiera ocurrido después de su formación puede haber generado estructuras como domos o cuencas. De haber habido presiones estructurales de plegamiento se producen alternas de anticlinales o

por progresiones extremas puede haberse causado rompimiento de los plegamientos produciendo diferentes estructuras, tales como fallas de plano horizontal (fallas de corrimiento) hasta fallas de plano vertical (fallas normales).

Dentro del grupo de rocas de origen no clástico se encuentran englobadas las calizas, las dolomitas y las margas, rocas extraordinariamente abundantes en las series sedimentarias y que constituyen un porcentaje muy considerable de todos los sedimentos que hoy se encuentran en la superficie terrestre. Las calizas y las dolomitas son quizás las rocas sedimentarias de mayor interés económico. Las calizas proceden de la precipitación del calcio y el anhídrido de carbono que existen en disolución en las aguas continentales u oceánicas. Las dolomitas se pueden formar por precipitación simultánea del calcio o magnesio, por medios mecánicos o por medios químicos, como consecuencia de la actividad de organismos vivos, de la misma forma que muchas calizas.

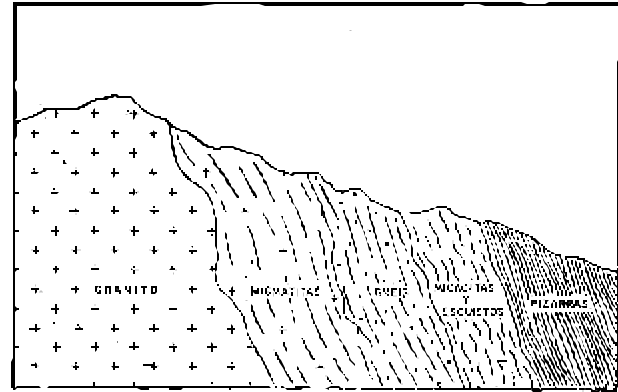
La naturaleza de las calizas o dolomitas que se depositan en ambiente oceánico depende de su distancia y de la profundidad del agua. De una manera general, en los ambientes marinos tienen lugar simultáneamente los procesos de sedimentación mecánica y química, con intervención a veces de los organismos que viven en el mar. En el perfil batimétrico de las zonas oceánicas se diferencian la región nerítica, –entre la costa y la profundidad de 200 metros– y la batial –comprende desde los 200 metros hasta los 2.000 metros–, a partir de esa profundidad corresponde la abisal.

En la región nerítica se deposita la mayor cantidad de sedimentos, ya que la mayor parte de los aportes detríticos continentales va a la plataforma continental. En la región nerítica se forman también sedimentos de origen organógeno, por acumulación de esqueletos de corales y algas, así como también por precipitación química. En la zona batial, que incluye el talud que separa la plataforma continental del fondo oceánico, se depositan los materiales más finos, junto con restos esqueléticos de organismos platónicos.

La estructura o forma más característica de las rocas sedimentarias no clásticas es la de un estrato, varios estratos forman un grupo o complejo estratigráfico (columna estratigráfica). En general cada estrato es tan homogéneo que lo hace distinguir entre los otros estratos de la columna, tanto en textura como en posición, todo lo cual puede guiar hacia la interpretación de la sección, es decir si el estrato está en posición horizontal, o inclinada, y si pertenece a un miembro de una estructura anticlinal o sinclinal.

Las calizas así como las carbonatadas por su composición química –carbonato de calcio– son rocas extremadamente solubles, por lo cual responden rápidamente a los agentes de meteorización. Son las rocas que menos resistencia presentan a la destrucción por estos agentes, sobre todo en las regiones de relativa humedad. Como resultado de la meteorización superficial en la caliza, el carbonato de calcio es removido, que-

Figura 14. Metamorfismo regional



dando en su sitio un material arcilloso de color rojizo con nódulos de sílice, concentrado en pequeñas cantidades que originalmente podían estar en la caliza.

2.3 Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas abarcan aquellos conjuntos minerales que han sufrido ajustes estructurales a ciertas condiciones físicas o químicas o combinaciones de ellas, impuestas por la profundidad, la presión, la energía térmica de calor y los fluidos químicamente activos. Todos estos factores pueden haber intervenido en la transformación de una roca originariamente ígnea o sedimentaria en una roca metamórfica bajo la superficie terrestre. Por la naturaleza de su origen, es evidente que puede haber una gradación completa entre las rocas metamórficas, ígneas o sedimentarias a partir de las cuales se formaron las primeras.

2.3.1 Clasificación de las rocas metamórficas

Las rocas metamórficas se clasifican basándose en diversos criterios de composición mineralógica, estructura y textura, composición química y condición del yacimiento. Por lo general, las definiciones están basadas en nombres bien establecidos principalmente en criterios estructurales visibles microscópicamente; pero algunos, por ejemplo las cuarcitas y los mármoles, están definidos con una base mineralógica.

Las rocas metamórficas más conocidas son las siguientes:

2.3.1.1 Pizarras

Las pizarras son las rocas más peculiares de las rocas metamórficas. Su peculiaridad radica en que se separan, no por los planos estratigráficos como los esquistos, sino a lo largo de los planos de clivaje producidos por la presión. Estos planos pueden estar en cualquier ángulo con los estratigráficos. Las pizarras, por lo general, no son tan resistentes a la erosión como el gneis o los esquistos, pero son más resistentes que la caliza o el mármol. Las formas topográficas producidas por las pizarras raras veces presentan características especiales, siendo usualmente una topografía suave subyugada y ondulada

parecida a la topografía desarrollada en las zonas de esquistos. Cuando las pizarras se encuentran asociadas a calizas, es decir cuando éstas se encuentran plegadas en una serie con pizarras, la erosión destruye la caliza, produciendo valles lineales bordeados por cerros de pizarras, y si las areniscas se encuentran en la serie éstas formarían una serie continua de colinas o sierra sobre una topografía subyugada.

2.3.1.2 Filitas

Las filitas son rocas similares a las pizarras, pero de grano más grueso. Las pizarras y las filitas son de grado metamórfico bajo, con exfoliación bien desarrollada al paralelismo de los minerales micáceos que las constituyen. Las pizarras y las filitas se utilizan en láminas para cubrir los techos de pequeños edificios.

2.3.1.3 Esquistos

El término esquisto significa exfoliación. La exfoliación de los esquistos se atribuye a la orientación o alineación de sus minerales, los cuales son lo suficientemente grandes para permitir su identificación macroscópica. La mayoría de los esquistos consiste en por lo menos dos o más minerales. Los esquistos derivan de rocas arcillosas o arcillo-arenosas y a menudo se presentan asociados con gneis. Algunos tipos de esquistos se utilizan en edificación, en especial para el cubrimiento de techos. Los esquistos calcáreos se utilizan porque a veces se encuentran dentro de su formación lentes de mármol que pueden ser explotados industrialmente.

2.3.1.4 Gneis

Roca metamórfica regional, compuesta principalmente por cuarzo recristalizado con mica, feldespato, piroxeno y hornblenda. Se clasifica según su constitución y su origen. La mayor parte de los gneis es de origen sedimentario (paragneis), se forman en el metamorfismo progresivo de los esquistos, otros proceden del metamorfismo de rocas graníticas. Algunos gneis se utilizan en la construcción, para pavimentación de carreteras, baldosas, aceras.

2.3.1.5 Anfibolita

Roca metamórfica regional, compuesta esencialmente de hornblenda y plagioclasa. Como accesorio, ocasionalmente contiene magnética, epidoto e ilmenita. Se forma a partir de rocas de diversa composición, de rocas ígneas máficas a ultramáficas, inicialmente puras, y de sedimentos calcáreos por procesos metasomáticos. Ocasionalmente se emplea como piedra ornamental.

2.3.1.6 Serpentina

Roca metamórfica regional, compuesta por minerales del grupo de la serpentina: talco y clorita, todos los cuales deben atribuirse a la elaboración hidrotérmica del piroxeno, en la piroxena,

la piroditita y la dunita. A menudo se utiliza en la construcción en láminas pulimentadas para revestimiento.

2.3.1.7 Mármol

El mármol resulta del metamorfismo de la caliza por presión y calor, lo cual hace que el carbonato de calcio de la caliza cristalice en granos de calcita, formándose una caliza cristalina o mármol. La roca así formada se desintegra por agentes de meteorización en una masa que es rápidamente removida por la erosión. El mármol es masivo y no muestra clivaje, pero algunas veces se quiebra en grandes bloques por las juntas. Debido a su solubilidad, el mármol es una roca que usualmente sucumbe rápidamente a los agentes de meteorización en las regiones húmedas. El mármol es de gran importancia en la construcción tanto en forma bruta como pulimentada. Los mármoles representan la materia prima más frecuente utilizada en la escultura. Con menos frecuencia se utiliza en la fábrica de cal y en la industria química.

2.3.1.8 Cuarzita

Roca metamórfica regional o de contacto de bajo o alto grado metamórfico. Se forma por metamorfismo de contacto o regional de rocas arenáceas como areniscas feldespáticas, arcillas, o calcáreas o pedernal, o de fluidos pegmatíticos, como vetas de cuarzo o pegmatitas ricas en cuarzo. Como mineral de construcción se utiliza a menudo para pavimentación. Puede emplearse también en la industria del vidrio, en cerámica y en la fabricación de refractarios ácidos.

2.3.2 Estructura de las rocas metamórficas

Las rocas metamórficas son aquellas que provienen de cambios en la forma y el carácter de las rocas preexistentes que originalmente eran totalmente diferentes. Cuando el metamorfismo es de grado muy intenso, puede ser difícil, si no imposible, determinar si la roca original fue ígnea o sedimentaria. Las siguientes rocas metamórficas presentan tal grado de metamorfismo que pueden ser consideradas por sus características especiales sin coincidir sobre su origen.

2.3.2.1 Esquisto

Roca metamórfica común que contiene gran cantidad de minerales planos como micas, con clivajes dispuestos en la misma dirección, lo que hace que la roca sea fácilmente fisionable. Los esquistos tienen tendencia a desarrollar topográficamente una superficie de valles y cadenas montañosas paralelas.

2.3.2.2 Gneis

Es una roca que se asemeja al esquisto porque es foliada, es decir, contiene mica y otros minerales que yacen en deposición más o menos paralelas, pero usualmente es una roca más granulada y con bandas. Generalmente el gneis es una roca muy consistente, sobrepasando al esquisto en su capacidad para resistir la meteorización. Topográficamente las formas pro-

ducidas por la meteorización del gneis son redondeadas y no tienen el aspecto corrugado característico de los esquistos.

2.3.2.3 Cuarzita

Es una roca compuesta de granos de cuarzo cementados con cuarzo. Es una roca muy resistente a la meteorización y a la erosión, posiblemente es la más resistente de las rocas. La meteorización usualmente fragmenta la roca a lo largo de los planos de las juntas, dando origen a grandes bloques rectangulares que forman los taludes en las bases de los ríos. Los vértices de las colinas en las cuarcitas usualmente aparecen redondeadas, presentando pocos cambios en los detalles topográficos de la región.

2.3.2.4 Mármol

La identificación del mármol es fácil, por su dureza y su efervescencia a soluciones ácidas. El mármol usualmente ocurre en estratos inclinados o plegados; y como varían en espesor y posición de un punto a otro, su prospección debe hacerse en detalle y su desarrollo planeado cuidadosamente.

Capítulo 3.

Actividades para la utilización de rocas industriales

3.1 Prospección y exploración

Para que un yacimiento mineral pueda ser explotado, es decir, antes que produzca el material requerido por la industria, debe comenzarse por probar su existencia y comprobar sus posibilidades industriales. El conjunto de trabajos orientados a la búsqueda de un testigo para comprobar la existencia de un yacimiento se conoce como prospección; mientras que el conjunto de tareas para comprobar la cantidad y calidad de minerales básicos existentes se denomina exploración o comprobación de reservas.

La prospección va precedida de un estudio geológico encaminado a conocer datos relativos a la constitución estratigráfica y petrográfica de la región, así como su tectónica. La prospección en sí consiste en que una vez analizados los datos geológicos relacionados con la zona de estudio, se ubica el yacimiento y se investiga, con los datos geológicos obtenidos en el sitio, si es aconsejable proceder con la exploración y adelantar cuál sería aproximadamente el costo de llevarla a cabo. Por lo general, la prospección consiste en la búsqueda de los afloramientos expuestos del yacimiento.

La exploración tiende a comprobar si el yacimiento mineral prospectado puede ser explotado económicamente, estableciendo su naturaleza, su estructura geológica y su grado de consistencia económica. La investigación en la exploración pueda ser dividida en preliminar y final, y debe dar como resultado la cantidad o reservas del mineral investigado dentro de los límites del yacimiento explorado. Dichas reservas se expresan en los términos siguientes:

Reservas probadas. Son aquellas en que el tonelaje y la calidad (grado) del mineral que forman –y que puede ser económicamente extraídas– han sido computados de las dimensiones y muestras obtenidas de los afloramientos, trincheras, sondeos y laborales de exploración, utilizando los análisis de cada una de las muestras.

Reservas probables. Son aquellas en que el tonelaje y calidad del yacimiento es computado en parte con las dimensiones y muestras obtenidas del yacimiento y en parte de la estimación del cómputo de la posible continuación estructural del yacimiento dentro de una distancia razonada de la estructura.

Reserva posibles o inferidas. Son aquellas en que se presume la estimación de la cantidad de mineral existente en un área donde geológicamente debería existir el yacimiento. Se basa en un conocimiento generalizado del carácter geológico de la región en la cual se presume la existencia del yacimiento, solamente por conocer algunas muestras del mineral. La estimación se basa asumiendo la continuidad o repetición de las pocas evidencias que se tienen, dentro del área considerada.

Las rocas que surten esencialmente a la industria y suplen las necesidades actuales del hombre provienen de las sedimentarias de origen clástico y no clástico, mientras las rocas ígneas y las rocas metamórficas desempeñando un papel secundario en la industria. Por consiguiente la prospección de las rocas sedimentarias clásticas y no clásticas es de importancia para el continuo mantenimiento de la materia por ellas suplidas a la industria a medida que las reservas explotadas se extinguen. En la prospección de las rocas sedimentarias no clásticas hay que tomar en cuenta la geología estructural de la región y, en especial, la litología de las rocas sedimentarias y su secuencia.

3.2 Explotación

La explotación de las rocas sedimentarias clásticas se efectúa a cielo abierto, debido, por una parte, a su localización y, por la otra, a su formación fluvial reciente. Estos yacimientos, por sus propiedades y emplazamiento en llanuras o terrazas, presentan un nivel más o menos cercano a la superficie de afloramiento. Cuando están situados en los cauces de los ríos, una parte del yacimiento se encuentra bajo el agua y otra parte en la superficie.

Un yacimiento de canto rodado es una cantera natural de balasto situada por debajo del nivel freático del río y, por lo tanto, bajo el agua; mientras que en las graveras el yacimiento está en seco. Una cantera de arena es un yacimiento de este material que puede estar bajo el agua o en seco. En realidad, los yacimientos de cantos rodados están tanto en agua como en seco, debido a las variaciones del nivel freático o de los cursos de agua, además contienen en general una cierta porción de grava y arena. Se encuentran también canteras de arena que contienen una notable proporción de grava y cantos rodados.

Si el yacimiento está bajo el agua, la maquinaria apropiada de extracción sería una excavadora equipada con dragalina, draga excavadora de cangilones, draga de cuchara, draga de cable o draga de succión. Si el yacimiento está sobre la superficie, se utilizarían scraper bulldozer, pala con equipos de empuje o retroexcavadora. El transporte de la carga desde el yacimiento a la planta de tratamiento se efectuaría con camiones, cintas de transporte etc.

La explotación de las rocas sedimentarias no clásticas que ocurren como masas compactas de minerales generalmente estratificados y que se presentan bajo diferentes tipos de estructuras geológicas amerita métodos de extracción que van desde cielo abierto (canteras) hasta mina subterránea.

La gran abundancia de rocas sedimentarias no clásticas indica que el costo de las operaciones, tanto de exploración como de explotación, no debe ser elevado pues encarecería el producto final. De allí la necesidad de realizar una investigación sobre la estructura geológica del yacimiento y de la cantidad y calidad de la roca a explotar, con el fin de identificar el método más adecuado para la explotación y conocer las posibilidades económicas que presenta la explotación del yacimiento.

En la explotación a cielo abierto, al ras de la superficie, o en canteras, el costo de la demolición depende, a partir de la dureza de la roca, esencialmente de la estructura geológica que representa el conjunto estratigráfico donde se encuentra el mineral a explotar y de los sistemas de fractura que presenta la roca, que pueden más o menos facilitar la demolición. Las capas estratigráficas pueden presentarse de tal forma que permitan ser utilizadas fácilmente como capas o planos de arranque, y mayor sería su utilidad si estas capas o planos estuvieran atravesadas por fracturas o juntas normales a la estratificación.

En el arranque a cielo abierto debe tenerse en cuenta la estratigrafía para emprender los trabajos en la dirección más conveniente. En las rocas estratificadas inclinadas, el material se arranca fácilmente atacando por los planos de buzamiento. Pero si el ángulo de estratificación de estos planos es grande, en la estructura pueden ocurrir desprendimientos peligrosos, con deslizamientos; por lo tanto conviene escoger para el ataque planos con ángulo intermedio.

Figura 15 y 16. Equipos de extracción de Minerales

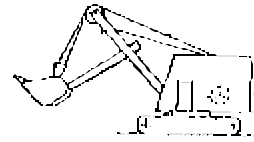


FIG. 15. EXCAVADORA SOBRE ORUGAS

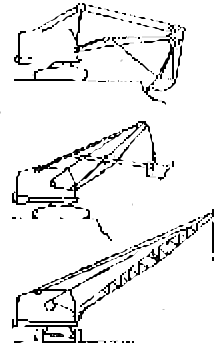


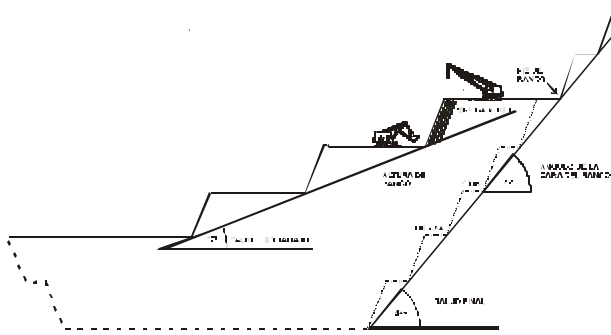
FIG. 16. EXCAVADORA UNIVERSAL DE CABLES

La disposición y diseño de una cantera están determinados por la potencia y profundidad de los estratos. Hay dos tipos de canteras: superficiales y a cielo abierto. En el primer caso, la roca se encuentra situada a un nivel más alto que el terreno colindante, de manera que la base de la cantera se encuentra situada al nivel del terreno, por lo que el laboreo es fácil y barato. En el segundo caso, la base de la cantera está muy por debajo del nivel medio del terreno colindante (por el orden de 15 a 50 metros).

Los métodos de explotación de los yacimientos a cielo abierto son aplicables solamente cuando el yacimiento aflora en la superficie del suelo o se encuentra a una profundidad relativamente pequeña para que resulten económicamente posibles las labores destinadas a poner al descubierto el yacimiento, separando el terreno estéril que lo recubre. Cuando el yacimiento aflora a media ladera en mucha extensión, la explotación no ofrece dificultad. Basta abrir la cantera sobre un frente que permita un trabajo cómodo y seguro.

Esquemáticamente, una cantera comprende un frente con uno o varios escalones o bancos según el emplazamiento del yacimiento, la naturaleza del terreno, la altura del banco explotado, los procesos y los medios de extracción previstos; una terraza por escalón suficiente para permitir el empleo y evolución de las máquinas para voladura, de carga en el frente y evacuación del material extraído. Si la altura del frente es excesiva, se abre otro frente en la parte superior, después otro si es preciso y así sucesivamente dejando entre cada frente y el banco superior una distancia horizontal igual a la altura del mismo, lo que establece una labor en bancos o escalones. De este modo, la excavación puede realizarse en todos los bancos simultáneamente, haciendo avanzar todos los frentes y conservando la anchura en los diferentes bancos.

Figura 17. Frente en escalones o gradas



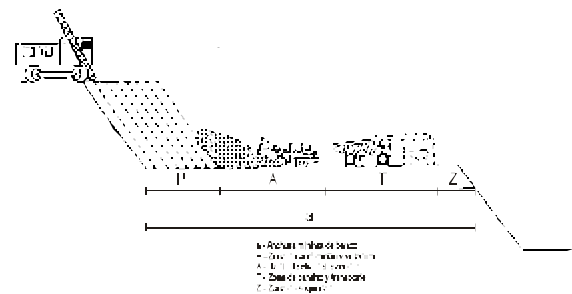
Cuando el yacimiento a explotar no sobrepasa los cincuenta metros de altura puede ser trabajado en un solo banco, es decir, con un solo frente. Pero si sobrepasa esa elevación, es peligroso trabajarlo en bancos, por lo cual es preferible separar la explotación en una serie de bancos de menor altura. La altura de un banco es determinada por una serie de factores. Siendo los más importantes la estructura geológica del yacimiento, el espesor total del yacimiento, el carácter físico de la roca, las condiciones climatológicas y los métodos de voladura utilizados. Desde el punto de vista de la seguridad, entre más alto sea el banco menos inclinado debe ser su frente, ya que un banco de frente prácticamente vertical en época seca puede deslizarse en tiempos húmedos. En teoría, bancos altos significan menos bancos y menos movimientos de maquinarias cargadas.

La altura corriente de los bancos en las canteras varía entre 5 y 20 metros y su anchura debe ser suficiente para dar cabida a la máquina cargadora –por lo regular se utilizan palas mecánicas– y banco superior debe ser suficientemente volado para que no sepulte los trabajos del banco inferior ni socave el banco inmediatamente superior. Tanto la altura de los bancos como su anchura debe ser tal que el buzamiento general, considerando todos los bancos, no sea muy inclinado. En general, este buzamiento es medido desde el punto saliente del banco superior al borde del banco inferior, y es práctica de seguridad que el ángulo, considerando la estructura geológica del yacimiento, se encuentre entre los 30° y los 45°.

En la explotación a cielo abierto en terreno llano, la excavación se comienza en trinchera y se continúa ensanchándola. En este tipo de explotación hay que resolver el problema de evacuar el agua de lluvia o la que se filtre del subsuelo. El transporte del material útil extraído se realiza por medio de una vía en la parte baja de la explotación o por medio de elevadores. El arranque del mineral se realiza ya sea por medio de pico y pala o de excavadora. El costo del arranque depende del medio del arranque.

La preparación para la explotación subterránea de un yacimiento en rocas sedimentarias no clásticas, ígneas o metamórficas requiere practicar labores de penetración suficientemente extensas que aseguren la salida del mineral arrancado y dividirlas

Figura 18. Disposición empleada en las explotaciones a cielo abierto

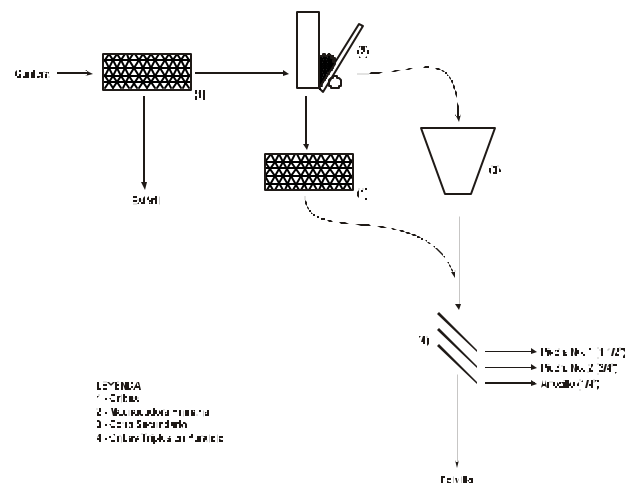


después en secciones por medio de galerías, las cuales constituirán las arterias principales de la mina.

3.3 Preparación

La preparación tiene por objeto transformar el "todo uno" de la cantera, compuesta de elementos de todas las dimensiones – desde grandes bloques hasta elementos finos –, en material propiamente comercial clasificado en las distintas granulometrías requeridas y tan homogéneo como sea posible. Los principios en el tratamiento del todo uno son simples, siempre y cuando las propiedades físicas de la roca sean de carácter sólido. Se basan prácticamente, en un problema de tamaño de fragmentos, de aquí que la operación sea dimensional.

Figura 19. Flujos generalizados del proceso de preparación mecánica de una cantera de piedra caliza



Realizado por Víctor M. López, PhD. y Valerio Guerrero

3.3.1 Operaciones de preparación

La preparación de los materiales de canteras, graveras, areneras y minas en general, se realiza mediante una serie de operaciones que pueden comprender eventualmente las siguientes:

- a. Trituración, fragmentación o machaqueo.** Operaciones que se ejecutan durante el proceso de preparación de los diferentes productos y tienden a reducir la dimensión de los diferentes fragmentos de piedra producidos sin reducirlos a polvo, para alcanzar fragmentos de las dimensiones deseadas a partir del todo uno de cantera, gravera o arenera.
- b. Molienda.** Operación que tiende a reducir los fragmentos muy pequeños a polvo.
- c. Clasificación.** Operaciones que se ejecutan durante el proceso de preparación para agrupar por tamaño los fragmentos producidos en cada operación de fragmentación.
- d. Lavado.** Operación a la cual son sometidos los fragmentos, cuando es necesario, con objeto de eliminar parte del material indeseable que los pueda acompañar.
- e. Almacenamiento.** Operación para retener una reserva suficiente del material que se pueda requerir durante el proceso.
- f. Precibado.** Tiene por objeto eliminar los mayores elementos del todo uno que puedan ser una molestia para las operaciones ulteriores. Sirve para eliminar los elementos inferiores a un determinado calibre para no someterlos a manipulaciones inútiles subsiguientes.
- g. Fragmentación o resquebrajamiento.** Operación que consiste en la reducción de las piedras de dimensiones grandes a elementos de dimensiones inferiores. Según la reducción obtenida, la fragmentación tomaría los nombres de:
- § Machaqueo o fragmentación primaria para la reducción del todo uno hasta un calibre máximo, igual o superior a 100 mm.
 - § Machaqueo o fragmentación secundaria para la reducción a un calibre comprendido entre 25 y 100 mm.
 - § Granulación para la reducción a calibre entre 6,5 y 25 mm.
 - § Trituración fina para la reducción en grano fino de 0,1 a 5 mm.
- h. Clasificación granulométrica.** Se obtiene comenzando a pasar los materiales a granel a través de los orificios de un cedazo o criba, con objeto de separar sus fragmentos por grosores diferentes hasta alcanzar dimensiones superiores a 1 mm, luego a cedazos de mallas tupidas o tamices –para la clasificación sobre mallas de 0,15 a 1 mm– y finalmente a cernidos de clasificación en seco, sobre telas y finas de aberturas comprendidas entre 40 y 150 micrones. La operación final es la decantación diferencial, operación por diferencia de los pesos específicos de los elementos, también llamados gravimétricos.

- i. Lavado.** Para obtener los materiales libres de impurezas y de polvo, se procede a varias operaciones de lavado realizadas en diversas fases del proceso. El lavado de la fragmentación o sobre productos premachacados tiene por objeto eliminar la arcilla e impurezas. El lavado se efectúa sobre criba para eliminar los residuos finos. El lavado se hace en una fase cualquiera de la preparación, para eliminar el exceso de polvo.

3.3.2 Productos de las operaciones de preparación

Cada operación en el proceso de preparación exige productos con características de granulometría, limpieza y forma bien definidas. No es cuestión de expedir el premachacado. El todo uno deberá, por el contrario, sufrir una serie de tratamientos que lo hagan apropiado al uso que se propone.

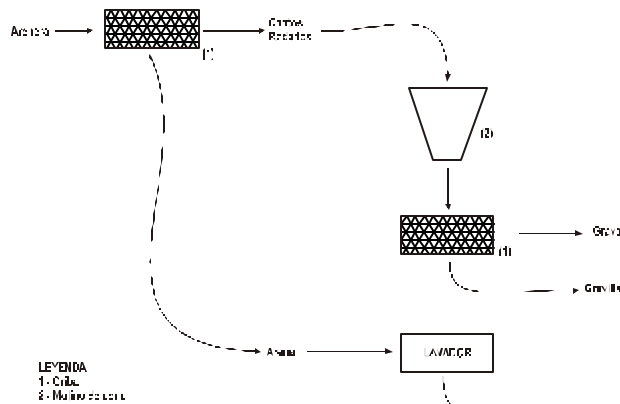
En la práctica, se dividen los productos de las diferentes operaciones en:

- Piedra picada: 60/150 mm. Para utilizar en composición de hormigones, masa y como materiales de relleno en terraplenado.
- Balasto: 45/60 y 20/45. Para utilizarlo en masa, en trabajos de carretera y construcción y como balastos en vías férreas.
- Grava: 20/60. Uso en hormigón y para fundaciones con arena.
- Gravilla: 6/10. Uso en hormigón y obras ligeras.
- Arena: Arena 0/3 mm: Uso en hormigón.
- Arena: -0/2 mm. Para usarla en filtros.
- Arena: 2/3 mm. Para obras especiales.

El todo uno del machaqueo primario, la piedra picada, se compone de un conjunto de productos de distintos tamaños, llevando en particular un cierto porcentaje de materiales de dimensiones y de pesos incompatibles con el material clasificado. Los premachacados son raramente utilizados en este estado, por consiguiente hay que someterlos a una clasificación primaria, o sea, a un .precibado. En este precibado el material generalmente se lleva a una criba con gran pendiente, situada en un emplazamiento fijo, y se utiliza usualmente el tromel clasificado. El tratamiento primario o premachaqueo tiene por objeto someter el todo uno a una primera fragmentación a un calibre máximo (generalmente comprendido entre 150 y 200) que facilita el tratamiento ulterior y la manutención de los productos.

Generalmente la fragmentación primaria recurre a uno de los siguientes procedimientos aplastamientos, percusión, cizallamiento o esfuerzo combinado. Las máquinas de fragmentación por aplastamiento, que son las más usuales, provocan la ruptura de la roca comprimiéndola entre una parte fija y un ór-

Figura 20. Diagrama de flujo de una arenera



Realizado por Víctor M. López, PhD., y Valerio Guerrero

gano animado de movimiento alternativo, el machacador de mandíbulas. Las que realizan la fragmentación por percusión provocan la ruptura por medio de masas o martillos pesados articulados o en machacadores con percutores rígidos, la machacadora de martillos y la machacadora de percusión.

Los elementos finos, arena y arcillas que provienen del todo uno del lavado sobre la criba, de la eliminación del polvo y del recibado, son recuperados y llevados a la clasificación de arena, operación que se realiza por vía seca o húmeda.

El almacenamiento de los productos clasificados se efectúa en las diversas operaciones del proceso de preparar los productos. Usualmente se organiza de la manera siguiente:

- § Línea de tratamiento primario que da un producto igual o superior a 100 mm.
- § Línea de tratamiento secundario que da un máximo de calibre comprendido entre 25 y 100 mm.
- § Línea de tratamiento terciario que da un máximo de calibre comprendido entre 6,3 y 2,5 mm.
- § Línea de tratamiento de arenas.

En estos procesos se utilizan máquinas como trituradoras de mandíbula y de martillo, molinos de barras, balas de cadenas, conos de trituración, de rodillos y otros, cribas fijas y móviles, tromeles, etc.

Tanto la fragmentación primaria como la secundaria tienen por objeto reducir las dimensiones del material. Estas máquinas funcionan bajo los mismos principios, sólo difieren en sus dimensiones y en pequeños detalles. La clasificación de los materiales que provienen de estas máquinas se verifica en cribas vibrantes y tamices, para lo cual se utilizan varios tipos.

Cada planta debe disponer de reservas importantes de los materiales clasificados en diversos puntos de la cadena de preparación, para regular las demandas de las puntas del mercado. Conformar reservas de los productos clasificados es importante para responder de la demanda de un mercado de estación o intermitente. El almacenamiento en tolvas suscita problemas de inversiones exageradas, por lo cual se debe resolver con el almacenamiento en pilas sobre el suelo.

3.3.3 Minería Subterránea Aurífera

Los depósitos minerales localizados a profundidades mayores (más de 60 metros de profundidad desde la superficie) deben ser de alto tenor (más de 7.7 gpt), para ser atractivos económicamente. Se espera que los depósitos sean de vetas paralelas, entre 1-3 metros de ancho, y buzando 30-60 grados. La poca inclinación de las vetas requerirá un método modificado de Franja Almacén (Shrink stope) para vetas (ver figura 22), donde se describe el método de minado subterráneo.

3.3.3.1 Fase de desarrollo

El proyecto de explotación subterránea contiene 2 fases: la primera es desarrollo, y la segunda fase es producción. La fase de desarrollo consiste en diseñar y preparar la misma para proceder a la explotación ingenieril de todo el planeamiento de la infraestructura de la mina; la cual incluye; instalaciones de superficie, plan de explotación y selección de equipo.

Se ha descrito una mina ideal de 500 toneladas métricas por día (timpd), con un pozo vertical de 230 metros, conteniendo 6 niveles separados 25 metros verticales. Las instalaciones de superficie consistirá de edificios que contengan las facilidades necesarias para la operación minera. Tal como, la isadora principal del pozo de extracción, compresores de 35 metros cúbicos/minuto (mcpm) a 110 psi. de aire comprimido, generación de energía eléctrica aproximadamente 1.500 KVA, taller de mantenimiento y almacenamiento de parte y equipo, baño para los mineros así como área para secado de roca y lockers para 80 trabajadores, y oficinas para el personal directivo. Otras facilidades de superficie incluye el castillete de extracción, depósito de combustible, sistema para el desagüe de la mina, así como área para el depósito de el mineral estéril. Una distribución típica de las instalaciones de superficie es mostrado en la figura 22.

Para explicar lo anterior, la figura 22, contienen un arreglo típico de plan minero subterráneo. El pozo vertical será profundizado bajo métodos convencionales, y consistirá de 2-1/2 compartimientos rectangulares, soportado con acero o madera, en algunos casos se usarán pernos con malla metálica entre los soportes. Los primeros 10 metros del pozo se protegerán con concreto reforzado, o placas de acero, dado lo inestable del terreno cerca a superficie. La parte superior del pozo es conocida como el collar se construye antes de la erigir el castillete.

La construcción e instalación de los edificios y castillete de superficie, será hecha por contratistas calificados. el collar del pozo y la profundización del mismo, se hará usando contratistas o personal de la compañía. Lo mismo sucederá con las estaciones por niveles así como el desarrollo de estos.

El desarrollo de la mina se llevará a cabo con el criterio de 400-500 tpm de mineral aurífero con un tenor aproximado de 0.67 optm (20.83 gpt) de oro. La mina ideal sería la que contenga reservas en bloques de 300 metros en dirección por 300 metros a lo largo del buzamiento. El desarrollo se llevaría a cabo en 6 niveles desde el pozo. La separación entre niveles sería de 25 metros verticales. Como cada nivel cortará las vetas, éstas se deben conectar entre sí, por medio de un tambor inclinado con el fin de establecer un circuito de ventilación, y tener otra vía de acceso y escape de los lugares de trabajo. Luego de cortar las vetas, éstas se seguirán en su dirección en cada nivel, cada 150 metros se iniciará un tambor que conecte el nivel superior.

3.3.3.2 Fase de producción

Después del desarrollo de la veta por guías y tambores inclinado, se tienen bloques de mineral desarrollado, listo para ser perforado y volado para su continúa evacuación de la mina. El método de explotación consiste en la perforación paralela a través de la veta hacia arriba y hacia abajo siguiendo la inclinación de la veta. Estas perforaciones se llevarán a cabo desde las guías. Los barrenos perforados serán de 8 cms. de diámetro y 20-22 mts. de largo con un metro de espaciamiento entre ellos y 1-1/2 metros de cara libre (burden) para la voladura.

Después de completadas todas las perforaciones, la voladura comenzará en secuencia de tal forma de crear un piso de 6 metros centrado a la guía de desarrollo. El material quebrado será removido usando un azadón (slusher) desde el nivel mas bajo de trabajo. Todo el material colgante será fácilmente desprendido y recuperado con cargadores de llantas, desde el nivel inferior. El azadón, será removido antes de reiniciar la voladura.

El sistema de arranque por rebaje (underhand stope), hace posible que azadones de doble tambor trabajen efectivamente y remuevan todo el material desde la frente de avance. Donde sea necesario reforzar con madera la labor para protegerla se hará. Mientras el minado se adelanta en la mitad de la mina, la otra mitad continúa en desarrollo. De esta manera la mina trabajará todo el tiempo sin interrupción.

El sistema de desarrollo y minado descrito, permitirá recuperar 100% de las reservas minerales. De existir zonas de estéril, se debe disponer de un almacenadero especial para este material con el fin de ser evacuado de la mina, o rellenar otras áreas. El procedimiento de mina puede ser modificado para reducir o acelerar la producción de mineral, simplemente dividiendo la mina en cuadrantes, en lugar de mitades. El procedimiento es muy eficiente y el personal minero está expuesto en una mini-

ma parte. Los requerimientos de ventilación no se esperan exceder 3.500 metros cúbicos por minuto (mcpm). Únicamente un pequeño taponamiento es requerido para remover el mineral desde el nivel inferior de la mina.

3.3.3.3 Equipo

El equipo seleccionado para el minado subterráneo, será el tipo standard usado en la industria minera para minería de rocas duras. Perforadoras tipo Jackleg, cargadores tipo LHD de 1 y 3 metros cúbicos de capacidad, y camiones diesel de 5 toneladas serán usados durante el período de desarrollo. Para la perforación profunda, equipo especial será usado. Azadones (slushers), cargadores LHD, y camiones serán usados para remover el material quebrado de los frentes de trabajo.

3.3.3.3.1 Equipo de minería subterráneo

Descripción

- Castillete, 30 mts
- Elevadora (hoist), doble tambor, 200 Hp
- Canadian I-R.
- Compresores, 20 mcm (650 pcm), I-R
- Perforadoras tipo Jackleg, Gardner Denver 83
- Cargadores tipo LHD, Wagner, HST-1A
- Cargadores tipo LHD, Wagner, HST-2D
- Azadones (slushers), 50 Hp, Domeq, 2 tambores
- Azadones, 30 Hp, Domeq, 2 tambores
- Azadones, 30 Hp, Domeq, 3 tambores
- Perforadoras Tram-Rock Hydraulic
- Ventilador, 200 Hp
- Ventiladores, 20 Hp

3.3.3.4 Personal

La operación minera subterránea, cuando se encuentre en completa producción, operará 2 turnos de 8 horas por día, 5 días por semana. Durante la fase de desarrollo, particularmente durante la excavación del pozo, la operación correrá en 3 turnos por día.

El personal típico para una operación de esta magnitud, y características es descrita a continuación:

3.3.3.4.1 Personal Mina Subterránea en Producción

Directivos

- Superintendente de Minas
- Geólogo de Mina
- Ingeniero de Minas
- Topógrafo/dibujante
- Capataz de turno
- Capataz de Mantenimiento
- Director de seguridad

- Secretario de la Mina

Cuadrilla de trabajadores minado/desarrollo/hora

- Mineros
- Ayudantes (trabajos subterráneos)
- Elevador (castillete)
- Mecánicos de mantenimiento

Servicios

Se dará especial preferencia a personal de la localidad, experiencia en minas subterráneas será deseable, pero no necesario; dado el programa de entrenamiento que se adelantará con el fin de capacitar el personal tanto en las labores mineras como en manejo de equipo y mantenimiento. Un programa de seguridad será establecido.

3.3.3.5 Procesamiento de mineral

Asumiendo que suficientes reservas de mineral fueron descubiertas dentro del área explorada, se instalaría una planta de beneficio de tamaño suficiente para procesar 125.000 toneladas métricas por año (tmpa) y extensibles a 250.000 tmpa será construida en el sitio. Un diagrama de flujo conceptual ha sido diseñado desde el cual el diseño de la planta de beneficio es descrito. El diagrama de flujo asume que el contenido de oro es recuperado usando separación gravimétrica, seguido por flotación sin utilizar reactivos tóxicos. En conjunto, con toda la infraestructura necesaria para el procesamiento del mineral, se tiene previsto un sistema de almacenamiento de desechos, con el fin de sedimentar las colas de la planta, y reciclar el agua clarificada.

3.3.3.5.1 Asunciones y Conceptos usados en el Diseño de la Planta

Con el propósito de demostrar la naturaleza y tamaño de la facilidad requerida para maximizar la recuperación de oro del mineral procesado, un diagrama de flujo conceptual fue desarrollado.

Previo a terminar el diseño de la planta, pruebas metalúrgicas serán requeridas sobre muestras obtenidas durante la fase de exploración del proyecto. Un programa de muestreo durante la fase de exploración será implementado de tal forma que muestras representativas del depósito sean obtenidas. Estas muestras serán sujetas a un análisis detallado de laboratorio, con el fin de analizar los posibles métodos de procesamiento para el mineral.

Basados en los resultados de esta evaluación, un diagrama de flujo final será desarrollado. El diagrama de flujo mostrado en figura ____ presenta un proceso que se espera sea el usado. En los minerales de la mina. El mineral se asume estar contenido en un depósito de vetas de cuarzo, con tenores o leyes de aproximadamente 0.25 Oz/Ton (7.7 gm/Ton). El diseño inicial asume que el mineral será procesado a una tasa de 350 tonela-

das métricas por día (tmpd), 7 días a la semana, con una producción futura de 700 tmpd.

El proceso asume que la mayoría del oro contenido en el mineral es oro libre, y fácilmente extraíble por separación gravimétrica. El circuito de separación gravimétrica incluye, reducción del mineral al tamaño necesario para liberar el oro libre del mineral. Un circuito de trituración convencional reducirá el tamaño del mineral proveniente de la mina a aproximadamente 10 mm de diámetro. Un molino de bolas reducirá el tamaño del mineral (menos malla 100), de tal manera la máxima recuperación puede ser obtenida a través de las otras fases del circuito (figura 22) representa la fase de trituración y molienda.

El mineral finamente triturado será enviado a un circuito Jig/ Mesa para remover el oro libre. El concentrado de oro libre será fundido directamente en el sitio, para producir el botón final o barra, que será transportado al sitio donde el oro sea comprado. Fig. 2-6 muestra el circuito de separación gravimétrica y el proceso de fundición.

Adicionalmente a la extracción de oro libre, la cual se asume representa la mayor parte del oro contenido, un circuito de recuperación de oro fino es incluido. Este circuito contiene celdas de flotación, las cuales son capaces de recuperar oro de muy pequeño tamaño.

3.3.3.6 Procedimiento de diseño y construcción

Una vez que el diseño del diagrama de flujo se ha terminado, se inicia el diseño del circuito. En el diseño incorporará el concepto "Stand alone", es decir que el circuito debe contener todos los recursos para resolver cualquier problema en el lugar de trabajo, dado lo retirado de los principales centros industriales; este concepto incluye propia energía, agua, y mantenimiento. Una compañía De gran reputación ingenieril será contratada para proveer los servicios profesionales requeridos e implementar el diseño final de la planta. Contratistas locales serán utilizados para proveer el personal indispensable, así como los materiales a usar durante la construcción del campamento e infraestructura del lugar. La planta se espera entrar en funcionamiento dentro de los siguientes 18 meses a la terminación de las pruebas metalúrgicas. Fig. 22 muestra el arreglo de la planta.

3.3.3.6 Operación

La planta de 350 tmpd será diseñada para operar 3 turnos por días, 7 días por semana. El circuito de trituración será sobredimensionado para 700 tmpd, por lo que no operará al mismo ritmo de los otros circuitos. El personal necesario para operar la planta de procesamiento se estimará inicialmente en 36 personas, no incluyendo personal de apoyo.

Este personal se distribuye como sigue:

3.3.3.6.1 Operaciones de planta

- Superintendente de Minas
- Supervisor de turno
- Operadores circuito de trituración
- Operadores circuito de molienda
- Operadores circuito de separación gravimétrica.
- Operadores de flotación
- Operadores fundición
- Capataz de mantenimiento
- Cuadrilla de mantenimiento
- Electricistas
- Operadores de equipo
- Control de calidad
- Supervisor Laboratorio
- Muestradores
- Ensayadores
- Personal de apoyo planta
- Mina/Planta secretarios
- Contador
- Director de Personal
- Almacenista
- Agente de compras
- Director del proyecto

Las instalaciones de la planta de beneficio, son asumidas proveer facilidades administrativas para la administración y personal de apoyo para el complejo total de la mina y planta.

3.3.3.7 Recuperación de áreas afectadas

Con respecto al programa de recuperación para el complejo total de la mina y planta, un programa de recuperación será propuesto, donde sea necesario retornar la zona a un ambiente similar al existente antes de que el proyecto se iniciara y se hará según las normas establecidas por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Cuando el yacimiento se encuentra a cierta altura sobre el fondo de un valle será siempre fácil alcanzarlo mediante galerías; pero, en cambio, si el mineral se encuentra a cierta profundidad debajo del cauce del valle, para penetrar en él habrá que abrir un pozo convenientemente situado. Este pozo será el pozo maestro de la mina, del cual partirán las galerías, distribuidas en diferentes niveles o pisos. El número de pozos necesarios para explotar un yacimiento depende de su naturaleza y extensión. En los yacimientos horizontales, la investigación se realiza –en la mayoría de los casos– mediante sondeos verticales por medio de pozos verticales o por una red de galerías, que se trazan con una separación terminada. En los yacimientos de inclinación moderada se emplean sondeos verticales y pozos inclinados o verticales, así como galerías en dirección y planos inclinados, y en los yacimientos de mayor potencia también se utilizan transversales cortos.

Figura 21. Sección Vertical de una Mina con pozos maestros, pozos interiores y galerías

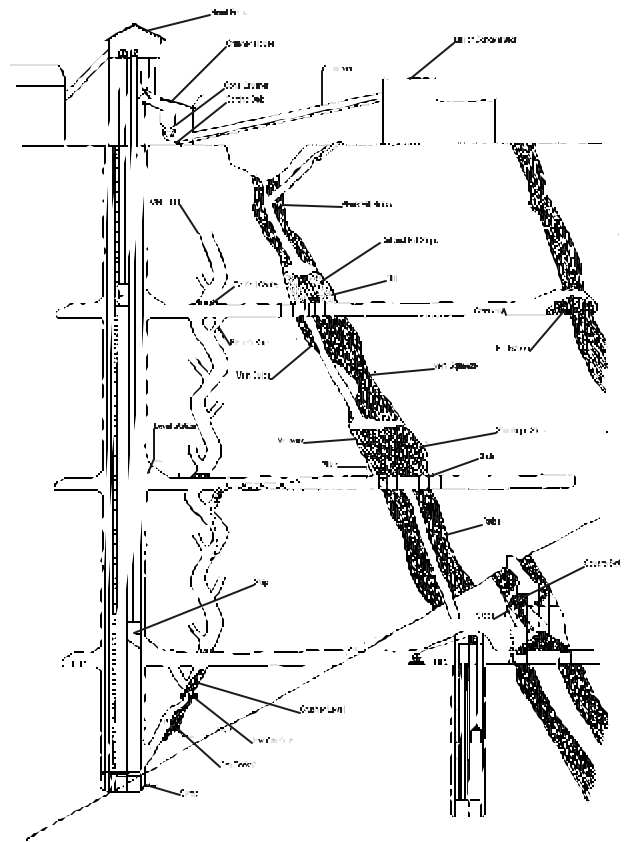
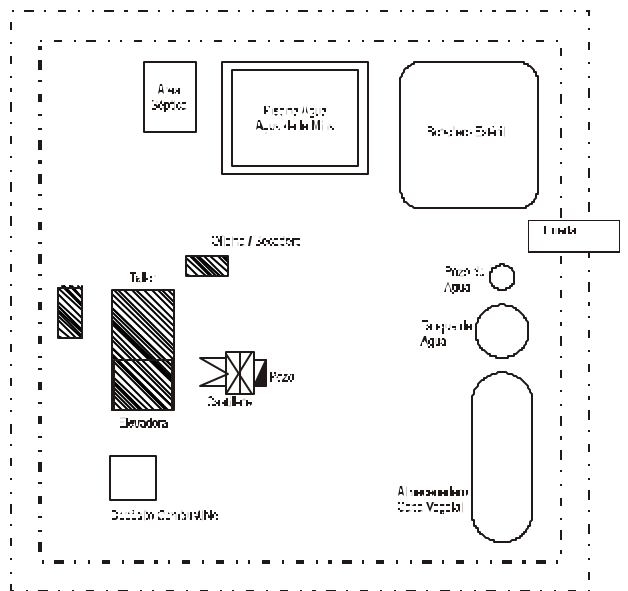


Figura 22. Instalaciones operaciones mineras del Edo. Bolívar



Muchas palabras son exclusivas en la terminología minera algunos términos comunes son listados a continuación junto con una pequeña explicación:

- Adit: Entrada horizontal a una mina.
- Alluvial: (Aluvión) Deposito de material sedimentario localizado en las nacientes de los ríos, lagos o al pié de las montañas.
- Amalgamation: Proceso mediante el cual el oro y la plata son extraídos de un "ore" mediante la disolución en mercurio.
- Autogenous grinding: proceso de pulverización donde son usadas piezas largas o medianas de el "ore" de la tierra, en vez de bolas convencionales de acero.
- Back: Techo de una excavación subterránea
- Bench (banco): Borde o saliente que en las minas de foso abierto forma un nivel sencillo de operación por encima de los minerales o materiales que son excavados de un banco contiguo o banco frontal. El mineral o desecho es removido en capas sucesivas donde cada una es un banco, muchas de las cuales pueden estar en operaciones simultáneas.
- Beneficiate (beneficiar): Concertar o enriquecer, como por ejemplo aplicado en la preparación del hierro para la fundición, a través de procesos como concentración magnética, lavado, etc.
- Berm: Saliente de roca horizontal o borde construido dentro de un embaucamiento de un foso abierto para romper la continuidad de una ladera con la finalidad de otorgar fuerza e incrementar la estabilidad de la ladera.
- Leaching biológico: Proceso de recuperar metales de minerales de bajo grado mediante la disolución de ellos en solución y ayudados por la acción bacteriana.
- Block caving: Método económico de explotar, en el cual largos bloques de minerales son cortados. El rompimiento y la excavación de éstos minerales son realizados bajo su propio peso.
- Box hole: Corto aumento o manejo abierto encima de un taladro con el propósito de delinear minerales de una ladera o para permitir su acceso.
- Chute: Abertura usualmente construida de viga y equipado con una puerta a través de la cual el mineral es jalado de una ladera dentro de carros mineros.
- Close arcuit: Lazo en proceso donde una porción seleccionada del producto de una máquina es regresado a la cabeza de la máquina para finalizar con la especificación requerida.
- Cone: Excavación en forma de embudo en el tope para recolectar rocas de el área superior.
- Core: Cilindro largo de roca, de una pulgada o más de diámetro que es recuperado por el taladro de diamante.
- Crosscut: Abertura horizontal manejada a través del curso de una veta o estructura, o en general a través de los golpes de las formaciones de las rocas.
- Cut-and-fill: Método de parado en el cual el mineral es removido en capas para después la excavación ser llenada con roca u otro material de desecho. Antes la capa subsecuente es minada.
- Development: Trabajo subterráneo llevado a cabo con el propósito de abrir el depósito de un mineral.
- Dilution: Residuo o roca de bajo grado que no se puede evitar remover cuando ocurre el proceso de minado de un mineral.
- Dip: Angulo en el cual una veta, estructura o roca es inclinada del horizontal, medido con ángulos derechos.
- Drawpoint: Lugar donde un mineral puede ser cargado y removido, localizado debajo de un área de parado y usando el flujo de la gravedad para la transferencia de mineral al lugar de carga.
- Drift: Pasaje subterráneo horizontal localizado a lo largo de una veta o formación rocosa.
- Face: Final de un "Drift", "Crosscut" o "Stope" en el cual el trabajo está en proceso.
- Fault: Ruptura en la corteza de la tierra causada por fuerzas las cuales han movido una roca de un lado con respecto a otra. Las fallas pueden extenderse por millas o están sólo en unas pocas pulgadas de longitud.
- Finger raise: Aumento por transferencia de mineral, usualmente arreglado en un sistema o aumentos similares, encañados juntos a un punto de entrega común.
- Footwall: Pared o roca de una veta o estructura mineral.
- Free milling: Minerales de oro o plata de los cuales los metales preciosos pueden ser recobrados mediante métodos de concentración sin recurrir a tratamiento químico.
- Gonge: (Ganga) Minerales sin valor en un depósito de minerales.
- Glory hole: Hoyo abierto del cual el mineral es extraído, especialmente, donde el mineral quebrado es pasado a trabajos bajo tierra.

- Grizzly: Reja (usualmente construida de rieles de acero) localizada encima de tope de un "Chute" o paso de un mineral.
- Hanging wall: Pared o roca del lado superior de una veta o depósito de mineral.
- High grade: Mineral rico. Se refiere al mejor mineral dentro de un depósito.
- Hoist: Máquina usada para subir y bajar la jaula.
- Lagging: Tablones o vigas pequeñas situadas a lo largo del techo para evitar las caídas de rocas.
- Launder: Un "Chute" obtenido a través de pulpa, agua o mineral en polvo en el proceso de pulverización.
- Level: Sistema de trabajos subterráneos horizontales, conectados al pozo.
- Longwall: Método de parar el cual extrae todo de la zona que está siendo minada, usado particularmente en el resorte de minado.
- Manway: Abertura subterránea realizada para la comunicación y acceso del personal.
- Metal nativo: Metal de naturaleza pura o que no está combinado con otras sustancias.
- Open cut: Trabajo superficial, abierto a la luz, como una cantera. También se refiere a hoyos abiertos.
- Ore: Depósito mineral que puede ser trabajado como beneficio, bajo condiciones económicas existentes.
- Ore dressing: Tratamiento de minerales mediante la remoción de algunos de los materiales de desecho.
- Ore pass: Abertura subterránea inclinada realizada para la transferencia del mineral.
- Pillar: Bloque de mineral sólido con el propósito de soportar el hoyo, paredes o techo de una mina.
- Portal: Entrada superficial de un túnel o "Adit".
- Prospect: Depósito mineral el cual el valor no ha sido provisto.
- Pulp: Mineral pulverizado en solución.
- Raise: Abertura subterránea manejada para subir de un nivel a otro.
- Ramp: Abertura subterránea inclinada para conectar niveles o áreas de producción, con una inclinación que permite el paso de vehículos motorizados.
- Roasting: Tratamiento del metal mediante el calor y el aire o mediante aire enriquecido de oxígeno.
- Room and pillar: Método de minado de depósitos planos, en el cual son separados pilares aproximadamente de igual tamaño.
- Run-of-mine: Término flojo usado algunas veces para describir mineral de un grado promedio.
- Scaling: Acto de remover planchar flojas de rocas de techos y paredes.

Capítulo 4

Rocas industriales de Venezuela

4.1 Esbozo geológico

El Terciario de Venezuela está constituido por conglomerados, areniscas, calizas, lutitas y fosforitas. Una parte de estas rocas sufrió transformaciones metamórficas a filitas, pizarras, metacalizas, metareniscas, metabasalto, metadiabasas y a otras rocas complejas como peridotitas y serpentinas.

El Cuaternario engloba dos épocas, el Pleistoceno y el Holoceno, caracterizadas por cambios de climas y cuatro glaciaciones intercaladas con lapsos cálidos. El último cambio corresponde al Holoceno. El Pleistoceno Inferior en Venezuela está integrado por sedimentos continentales que ocurren en el oriente del país y presentan formas características de mesas con topes planos y pendientes escarpadas, típicas en los llanos de Anzoátegui y Monagas.

En las terrazas andinas los sedimentos del Pleistoceno fueron acumulados en surcos. Los cúmulos más importantes son las fallas de Boconó y de Valera, en esta última se distinguen dos secuencias separadas: una secuencia en forma de grandes terrazas y otra pleistocena de arenas y gravas que forman rellenos de valles. Con relación al origen de estas terrazas, se ha llegado a la conclusión de que los sedimentos aluviales fueron controlados por condiciones climáticas, como tectónicas, con poca o ninguna relación con el origen de los depósitos glaciales.

En el piedemonte andino y la cuenca del lago de Maracaibo se encuentran terrazas del Pleistoceno Superior. En la cuenca de Maracaibo, probablemente por las condiciones climáticas del Cuaternario, donde hay una depresión profunda se depositó una secuencia de sedimentos paludales y fluviales interrumpidos.

Durante el Pleistoceno la cuenca del río Orinoco emergió lentamente hasta convertirse en tierra firme. Los extensos llanos venezolanos se desarrollaron con el aporte de los sedimentos

del Macizo de Guayana y de las Cordilleras de los Andes y de la Costa. Los lagos que se habían formado durante el Neogeno comenzaba a finalizar en el Paleógeno, algunos quedaron apresados tectónicamente como el de Valencia. La extensa superficie de los llanos se encuentra prácticamente cubierta por sedimentos del Pleistoceno reciente derivados principalmente por las altas cordilleras que lo rodean, las cuales están rodeadas por sedimentos de grano grueso en el piedemonte.

4.1.1 Precámbrico

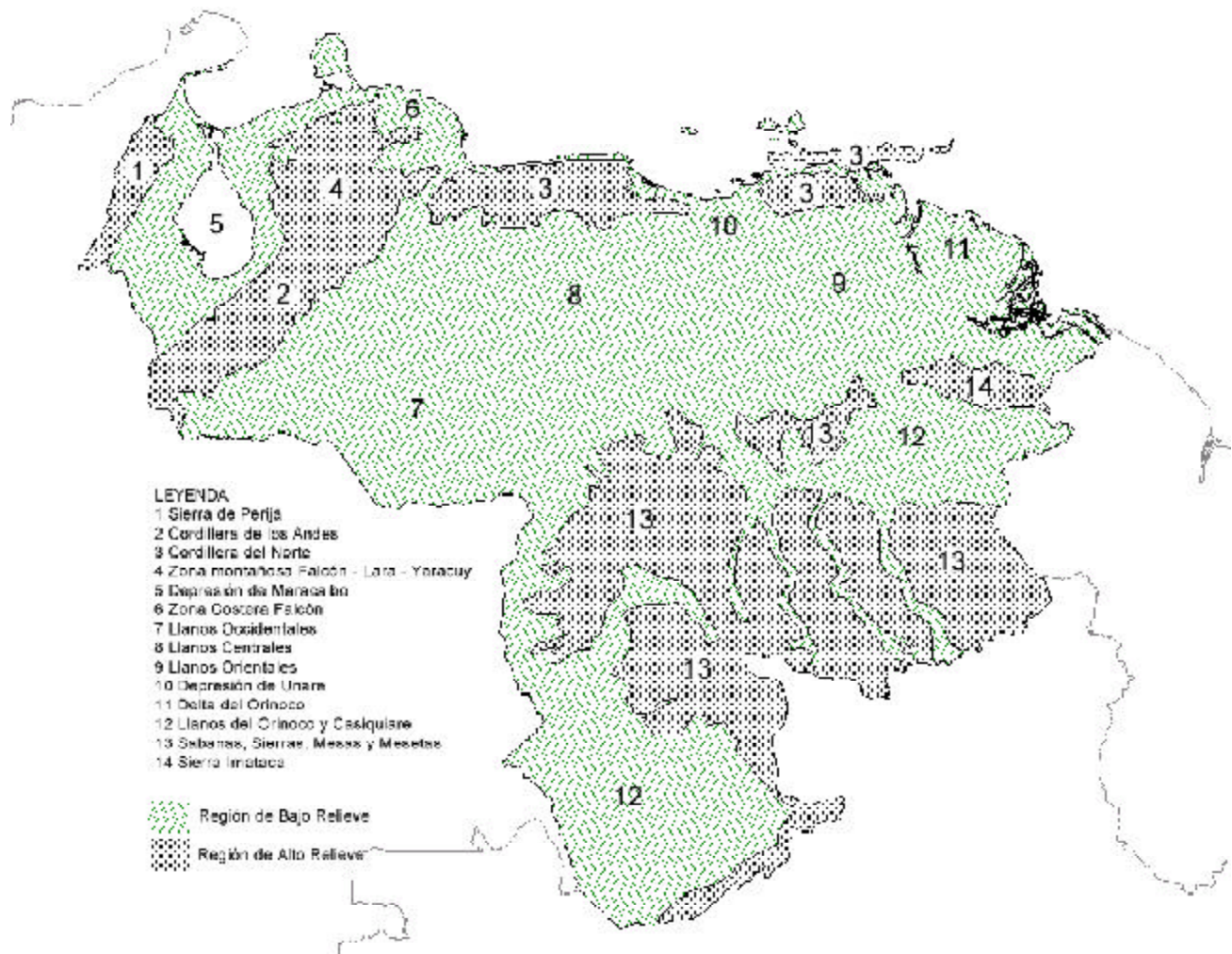
El Precámbrico constituye por entero el Macizo o Escudo de Guayana, extendiéndose en el subsuelo al Norte del río Orinoco hacia la costa y formando el basamento o plataforma continental sobre la cual yacen las rocas desde el Paleozoico al Reciente. Las rocas de este basamento o plataforma precámbrica están constituidas principalmente por rocas graníticas ácidas y metamórficas (esquistos, gneises, anfíbolitas, etc).

Sobre el basamento ígneo–metamórfico yace el Grupo Roraima, integrado por sedimentos continentales precámbricos: conglomerados, areniscas y lutitas en las cuales se encuentran intrusiones de diabasa en forma de lacolitos, diques y sills. Sobre el basamento o plataforma que se extiende al Norte del río Orinoco yace una serie de sedimentos y de rocas ígneas del Paleozoico al Reciente.

En la Cordillera de los Andes la estratigrafía incluye un núcleo cristalino precámbrico, correspondiente a las porciones central y más alta de la cordillera bordeada tanto al NE como al SO por coberturas sucesivas de rocas del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico. En el flanco SE se encuentra una faja estrecha de esquistos precámbricos en contacto de falla hacia el NO con una faja de rocas sedimentarias del Paleozoico Inferior.

En la Sierra de Perijá, la secuencia inferior es una unidad metamórfica del Precámbrico Inferior al Paleozoico Inferior.

Mapa 2. Mapa fisiográfico de Venezuela



nas de ambientes netríticos. En los flancos de los Andes, las rocas que predominan son lutitas arenosas y areniscas con capas de calizas intercaladas. En la cuenca oriental, en las áreas del flanco norte del Cratón de Guayana, la erosión del cratón produjo abundantes sedimentos que forman la base sedimentaria de la cuenca oriental de Maturín. En esta sección se reconocen areniscas cuarzosas y lutitas intercaladas. En la Cordillera de la Costa, se conocen deposiciones de calizas arenosas o margas del tipo *flysch*, que se desarrollaron en la zona externa de la cordillera durante el Paleoceno en los estados Lara, Portuguesa, Guárico y Nueva Esparta.

Los rellenos de las cuencas y la región general que se observa al final del Cretáceo se acentúan a comienzos del Cenozoico; los sedimentos de esta etapa reflejan este movimiento regresivo. En la parte suroccidental de la cuenca de Maracaibo las formaciones son marginales y representan la culminación de la regresión. Hacia el oriente, los sedimentos del Eoceno Inferior son los sedimentos paleógenos (Eoceno-Oligoceno), como los de la Serranía del Interior, que también se encuentran en los

estados Lara, Portuguesa y Guárico. En el oriente de Venezuela el Paleógeno consta principalmente de capas arenosas y limolíticas depositadas al Sur de la cuenca.

En el Terciario Superior o Neogeno, movimientos orogénicos ocasionaron extensas zonas de levantamiento, fenómeno superior por la sedimentación continental en algunas regiones e intensa erosión en gran parte de la zona elevada del país. La sedimentación ocurrió en épocas distintas y según patrones sedimentológicos en la cuenca de Maracaibo (Mioceno).

En el Mioceno Plioceno sólo había condiciones de mar abierto en la cuenca de Maturín, en la cuenca de Falcón y en una parte de la cuenca de Maracaibo, donde se acumularon sedimentos de ambientes continentales. En el lago de Maracaibo la transformación fue seguida por regresión, y la sedimentación continental continuó durante el resto del período. Los sedimentos del Cenozoico de mayor importancia económica son las arenas petrolíferas de todas las cuencas. Las más prolíferas han sido

las del Paleógeno de la cuenca de Maracaibo y las del Neogeno (Mioceno–Plioceno) de la cuenca oriental.

4.2 Rasgos fisiográficos

Venezuela tiene una superficie de 912.050 kilómetros cuadrados, de relieve cuadrado y accidentado, que presenta formas geomorfológicas que permiten distinguir las siguientes regiones o zonas: zona de alto relieve o de cordilleras en el Norte y Noroeste, zona de penillanuras, mesas y mesetas en el Sur y zonas de bajo relieve en la parte central del país y en la región costera.

La zona de alto relieve ocupa aproximadamente 140.000 km² ó 15 por ciento de la superficie del país. La zona de penillanuras del Escudo de Guayana, que es la más extensa, ocupa aproximadamente 410.000 km² ó 45 por ciento. La zona de bajo relieve de los Llanos ocupa 237.000 km² ó 26 por ciento. La zona de bajo relieve de la costa ocupa aproximadamente 120.000 km² ó 14 por ciento de la superficie emergida del país. Ochenta por ciento de la superficie de Venezuela se encuentra por debajo de los 400 m sobre el nivel del mar.

Cuadro 4. Regiones fisiográficas de Venezuela

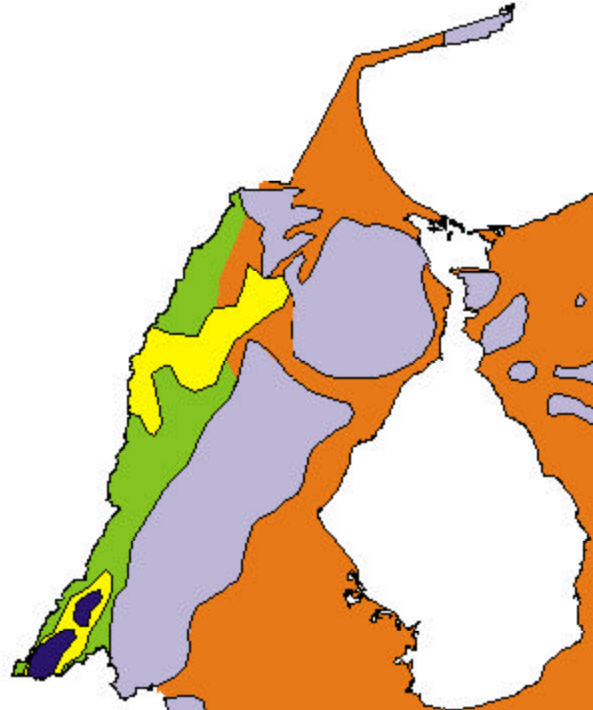
	Longitud Km	Anchura Km	Area Km ²	% territorio
Alto relieve				
<i>Cordillera de los Andes</i>	460	60	29.300	4%
<i>Cordillera del Norte</i>				
<i>Sección central</i>	320	60	21.544	3%
<i>Sección oriental</i>	220	60	12.950	2%
<i>Elev. de Falcón–Lara–Yaracuy</i>	-	-	51.700	6%
Sub-total			141.080	15%
Bajo relieve				
<i>Llanos</i>	850	280	278.796	30%
<i>Región costera</i>			163.300	10%
Sub-total			382.096	40%
Macizo de Guayana				
<i>Penillanura, mesas y mesetas</i>			413.750	45%
Sub-total			413.750	45%
Total superficie de Venezuela			912.050	100%

4.2.1 Zona de alto relieve

La Sierra de Perijá, la Cordillera de los Andes, la Cordillera de la Costa y las elevaciones de Falcón–Lara–Yaracuy constituyen los elementos más importantes de la zona de alto relieve.

Los Andes venezolanos constituyen una prolongación de los Andes colombianos, que al llegar al nudo de Pamplona en Colombia, se bifurcan en dos cadenas: la Cordillera de los Andes y la Sierra de Perijá.

Mapa 3. Mapa-croquis geológico de la Sierra de Perijá



4.2.1.1 Sierra de Perijá

La Sierra de Perijá se inicia en Venezuela con rumbo N–S–O–E y se extiende a lo largo del límite con Colombia por unos 250 kilómetros, con un ancho promedio de 80 kilómetros y cubre una extensión aproximada de 20.000 km² o dos por ciento de la superficie del país. Las altas cumbres de la sierra constituyen el límite noroccidental de Venezuela con Colombia.

La Sierra de Perijá tiene una estructura geológica dominada por fallas que dan a su relieve un carácter topográfico abrupto. Los bloques de montañas que se han formado (grabens y horts), se elevan bruscamente sobre las llanuras, de tal manera que las laderas orientales son extremadamente empinadas.

La parte Norte de la sierra está constituida por sedimentos del Mesozoico y Cenozoico buscando el Norte. Sedimentos que sobreyacen un núcleo de rocas ígneas y metamórficas del Paleozoico.

El flanco oriental, el de Venezuela se encuentra fallado, presentando una depresión en el sentido axial de la sierra (SO–NE), depresión que divide la sierra en dos unidades, en las cuales el Mesozoico (Cretáceo) queda al occidente y el Cenozoico (Mioceno–Plioceno) en la parte oriental.

En las partes bajas de la sierra, entre los 50 y 100 m de elevación, se encuentran los sedimentos del Plioceno. El Paleozoico consiste de una secuencia sedimentaria de aproximadamente 2.500 m de espesor, de conglomerados gruesos de guijarros de cuarzo de veta, areniscas cuarcíticas, lutitas y calizas.

4.2.1.2 Cordillera de los Andes

La Cordillera de los Andes es el sistema montañoso más elevado del país. Es la prolongación oriental de los Andes colombianos, que entran a Venezuela por la depresión del Táchira, desde donde se prolongan por más de 460 kilómetros con una anchura media que oscila entre 60 y 130 km hasta la depresión de Yaracuy, con rumbo SO-NE, y ocupan un área aproximada de 3.600 km², lo que representa cuatro por ciento de la superficie del país.

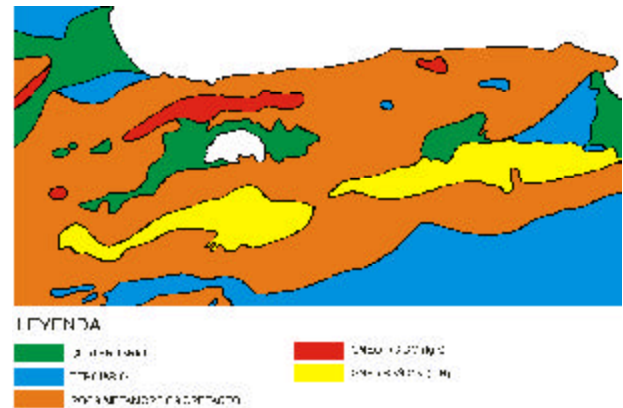
Estructuralmente, la Cordillera de los Andes de Venezuela está constituida por numerosas unidades o bloques separados por depresiones o grabens causados por fallas orientales en la dirección del eje de la cordillera. Una de las grandes depresiones divide la cordillera en dos sierras: la Sierra Nevada de Mérida y la Sierra del Norte. La depresión que separa estas dos grandes sierras, así como otras menores, forma un valle o trinchera por cuyo piso corren varios ríos: Chama en la región central, Motatán en el Norte y Torbes y Mucuchachí en el Sur. Estos ríos delimitan ambas sierras. Las fallas longitudinales están cortadas a su vez por fallas transversales que forman el drenaje secundario de la cordillera andina.

Las fases tectónicas de la Cordillera de los Andes se revelan por la presencia de terrazas en la ladera de sus valles, sobre todo en los valles longitudinales y particularmente en los ríos Chama y Motatán. La formación de las terrazas en estos valles ocurrió cuando, por la inestabilidad tectónica regional, se produjera ascenso en el nivel de base de erosión de la zona y con ello el de los pisos de los valles rellenos de aluvión. Los ríos de estos valles evolucionaron incrementando su gradiente, excavando nuevos cauces o valles en sus propios aluviones; quedando el remanente del antiguo piso en porciones elevadas de terrazas. Estas terrazas adyacentes a las laderas de los valles, por lo general, son largas y estrechas y están constituidas por material areno-gravoso.

El núcleo basal de la Cordillera de los Andes venezolanos consiste en rocas metamórficas intrusionadas por ígneas ácidas, principalmente granitos, bordeadas por rocas sedimentarias en estructura anticlinal por capas muy inclinadas y cuyas edades van desde el Paleozoico al Cuaternario. El núcleo basal consiste en una secuencia de rocas de edad precámbrica que afloran en la región meridional, la central y la centro-norte. Las rocas que constituyen estos afloramientos han sido descritas como ortogneises biotíticos, gneises apliécicos, esquistos micáceos graníticos, esquistos sericíticos y esquistos cloríticos; localmente se encuentran intrusionadas por granitos porfídicos y pegmatitas.

En el estado Táchira se ha reconocido una pequeña superficie cubierta por esquistos cloríticos y cuarcitas del Paleozoico. La parte central del estado Mérida está constituida por granitos y esquistos, cubiertos por una secuencia de filitas, lutitas y esquistos del Devónico (Paleozoico). Sobre éstos, en el flanco

Mapa 4. Cordillera de la Costa y Serranía del Interior



sureste, se encuentran areniscas rojas del Jurásico; mientras al Oeste se encuentran sedimentos del Cretáceo y del Eoceno.

En la Cordillera de los Andes, debido a su estructura geológica, se encuentran importantes afloramientos de rocas para uso industrial, como calizas para las industrias de cemento y química; cal fosfatada para la agricultura; arcillas para la industria de la cerámica y de la construcción; y gravas, arenas y rocas ígneas para la construcción.

4.2.1.3 Cordillera del Norte o de la Costa

La Cordillera de la Costa es la continuación orográfica de la Cordillera de los Andes. Se extiende desde la depresión de Lara, en su extremo occidental.

La Cordillera de la Costa no es topográficamente una sierra continua. La sección central, ubicada en la parte centro-norte de la costa, corresponde a un rectángulo irregular de casi 320 km de longitud por 60 km de ancho promedio, cubre una superficie aproximada de 20.500 km² y está representada por un espacio marítimo de unos 200 km de la sección oriental. En ésta se encuentran las penínsulas de Araya y Paria, con forma irregular de 220 km de longitud y 60 km promedio de ancho y cubre aproximadamente 2.000 km².

Las cadenas de montañas que constituyen la sección central de la Cordillera de la Costa forman dos alineaciones mayores, separadas por una serie de depresiones longitudinales intermedias. Estas cadenas se denominan Cordillera del Litoral, ubicada al Norte, y Serranía del Interior, localizada al Sur.

La Cordillera de la Costa está constituida principalmente por rocas metamórficas originadas en el Cretáceo, escasas rocas sedimentarias y algunas rocas ígneas ácidas y básicas. La Cordillera del Litoral estratigráficamente comienza con un conglomerado basal que descansa sobre un augeo-gneis granítico, sobre la cual yacen una serie de esquistos calcáreos, grafitosos, micáceos y calizas. La Serranía del Interior está constituida de sedimentos metamorfizados que incluyen conglome-

rados, areniscas, calizas y pizarras calcáreas. En estas series se conocen afloramiento de rocas ígneas básicas.

4.2.1.4 Región montañosa Falcón–Lara–Yaracuy

La región de Falcón–Lara–Yaracuy es una zona de relieve variado y poco elevado, que ocupa la casi totalidad de los estados Falcón, Lara y Yaracuy, en un área aproximada de 52.000 km². Está situada al Norte de la Cordillera de los Andes, al Oeste de la depresión de Maracaibo, al Este de la Cordillera del Norte y al Sur del mar Caribe.

La región esta constituida por una serie de sierras de poca elevación, cuyos ejes están casi todos orientados aproximadamente de Oeste–Este, o sea, con el mismo rumbo de la Cordillera de la Costa situada al Este. Además de las sierras mayores, hay numerosas colinas aisladas y otras formadas como resultado de la erosión diferencial sobre rocas de distintas resistencias que forman las sierras. Al Sur, en el estado Lara, se encuentra una zona de pequeñas sierras y colinas, separadas por cuencas o depresiones entre los cuales se hayan la de Carora y la de Barquisimeto. Estas depresiones o cuencas internas se encuentran a altitudes que oscilan entre 400 y 700 metros.

La cuenca de Carora es una unidad geomorfológica de relieve muy plano, situada entre 520 y 420 metros. La cuenca de Barquisimeto es una fosa tectónica a 560 m de altitud. La ciudad de Barquisimeto se encuentra en una terraza cortada por el río Turbio, en esta depresión. La falla de Boconó es una falla de desplazamiento, activa, regional y que se encuentra en la depresión de Barquisimeto; a esta falla se le atribuyen los terremotos recientes.

El drenaje regional subsecuente vierte sus aguas en las depresiones longitudinales por las cuales corren los ríos consecuentes. El drenaje de la vertiente occidental vierte sus aguas hacia el lago de Maracaibo y el de la vertiente oriental hacia el mar Caribe.

El desarrollo demográfico de esta región se explica principalmente por su posición geográfica que ayuda al intercambio comercial y las comunicaciones, pero no es favorable al desarrollo de grandes centros urbanos futuros debido a las dificultades que presenta el clima seco predominante; además, las depresiones se encuentran en zonas de fallas activas con alta peligrosidad sísmica.

4.2.2 Zona de bajo relieve

A lo largo de los 3.796 km de longitud que tiene la costa venezolana se encuentra la cuenca de Maracaibo, la costa de los estados Falcón, Yaracuy y Carabobo, la depresión de Unare y la región del delta del Orinoco.

La cuenca de Maracaibo es una de las unidades fisiográficas más grandes de Venezuela. Su superficie es de aproximadamente 81.500 km², de los cuales 13.500 km² corresponden al

lago de Maracaibo y 68.000 km² a la superficie de bajo relieve, la cuenca. Las llanuras costeras de Falcón comprenden aproximadamente 11.500 km².

La depresión del Unare es una región que ocupa una superficie de aproximadamente 25.000 km² de bajo relieve, dentro de la cual se reconoce las siguientes unidades:

- § La laguna de Tacarigua, con 300 km² de superficie
- § El valle de Uchire, con 400 km² de superficie
- § El valle de Unare, con 1.500 km² de superficie
- § El llano de Aragua de Barcelona, con 7.000 km² de superficie.

La región del delta del Orinoco está constituida por sedimentos fluviales recientes, tiene una topografía plana en abanico y cubre aproximadamente 30.000 km² de superficie plana no inundable, ya que gran parte de la superficie del delta se convierte en un inmenso pantano en época de las aguas altas del Orinoco.

4.2.2.1 Depresión de Maracaibo

La depresión de Maracaibo se encuentra situada entre la Sierra de Perijá por el Oeste, la Cordillera de los Andes por el Sur y las serranías de Falcón al Este. Esta depresión es de origen tectónico, o sea, la de un enorme bloque de la corteza terrestre hundido dentro de bloques elevados de la cordillera circundante. La depresión está rellena por sedimentos más o menos recientes.

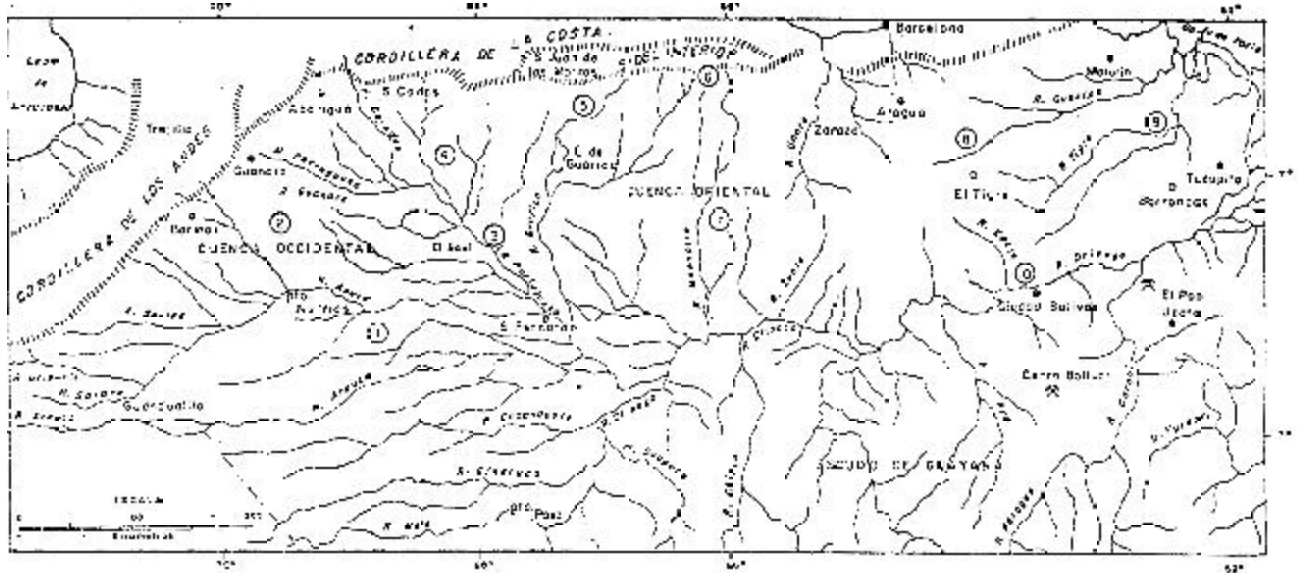
El área de la depresión es de aproximadamente 80.000 km², de los cuales alrededor de 13.000 km² están ocupados por las aguas del Lago, prácticamente ubicado en el centro. El relieve de la depresión es de llanuras notablemente planas donde las mayores diferencias del nivel no rebasan, por lo general, los 75 metros.

Desde el punto de vistas del drenaje, la depresión puede ser considerada como una hoya interna, cuyo centro colector de aguas es el lago. Los ríos más caudalosos proceden del Sur, donde las llanuras abundan; en tanto que hacia el Norte, al disminuir las precipitaciones, las llanuras se hacen más estrechas, los ríos disminuyen en volumen y longitud, y aumenta el número de quebradas sujetas a estiaje. Los cursos de aguas más importantes que drenan la depresión en la sección Sur son los ríos Catatumbo (110 m³./seg), Zulia (100 m³./seg), Escalante (50 m³./seg) y Motatán (37 m³./seg).

El gran volumen de sedimentos que acarrea los ríos en la zona meridional de la depresión da lugar a un proceso ininterrumpido de relleno en las zonas próximas a las orillas lacustres, provocando la formación de extensas ciénagas, lagunas y pantanos por el escaso declive.

En las zonas ribereñas del lago se ha eludido el trastorno de inundaciones levantando en la costa muros de contención o malecones para detener las aguas. Estos muros fueron cons-

Mapa 5. Croquis de la región de los Llanos de Venezuela



truidos por la compañía petrolera holandesa Shell para ganarle terreno al lago cuando todavía no se había desarrollado la tecnología para perforar dentro del agua.

El lago ocupa más de la mitad de la superficie de la depresión. Las zonas bajas y próximas al lago, mal drenadas y pantanosas, constituyen una seria limitación para la ocupación del territorio; además existen los problemas de subsidencia del suelo y escasa profundidad de la capa freática.

El clima es tropical húmedo, sobre todo en la zona suroccidental de la cuenca; tropical seco en el centro de la depresión; y tropical muy seco y desértico en el Norte.

Debido a las observaciones anotadas, el área de la depresión de Maracaibo no es adecuada al desarrollo de urbes de magnitud, además el cordón poblacional de la costa oriental del lago y la tendencia a expandirse de los centros poblacionales al Norte de Maracaibo plantean problemas de abastecimiento de agua y de contaminación en las aguas del lago.

4.2.2.2 Llanuras costeras

Las llanuras costeras se extienden con desiguales características desde el golfo de Venezuela hasta la península de Paría. Este litoral tiene 2.718 km de extensión sobre el Mar Caribe. Sus accidentes principales son el golfo de Venezuela, la península de Paraguaná, la depresión del Unare, la península de Araya, el golfo de Cariaco, la península y el golfo de Paría.

Los llanos costeros del estado Falcón comprenden la península de Paraguaná y una angosta franja costera cuya altura no supera a los 100 metros sobre el nivel del mar. En las inmediaciones de Coro, las dunas desérticas costeras constituyen las únicas formas geomorfológicas. En la zona central hasta Barlovento, la franja de llanuras de las costas se limita a algunas terrazas litorales, ya que la vertiente septentrional de la Cordi-

llera de la Costa penetra la depresión del Unare hasta 150 km hacia el Sur y constituye la cuenca del río Unare. En la zona oriental del litoral del Caribe, se repiten las condiciones de la de la región central. En la región del golfo de Paría y el océano Atlántico, las llanuras son extensas y cenagosas.

La larga y estrecha zona costera de Venezuela no presenta posibilidades para un desarrollo urbano futuro extenso, excepto para pequeños puertos que pueda requerir el comercio regional.

4.2.2.3 Región de los Llanos

Los Llanos de Venezuela geomorfológicamente ocupan la parte central del país, la cual se encuentra situada entre las Cordilleras de los Andes y de la Costa y el Escudo de Guayana, con una superficie aproximada de 237.280 km² ó 26% de la superficie de Venezuela.

Esta región limita por el Norte con las Cordilleras de los Andes y de la Costa, por el Sur con el Escudo de Guayana, por el Oeste con el piedemonte andino y al Este con el delta del Orinoco. La longitud Este-Oeste de la región alcanza casi 850 kilómetros, con una anchura de variable de casi 200 kilómetros en la sección más oriental y alrededor de 400 kilómetros en su parte más ancha en el occidente.

La región se caracteriza topográficamente por su bajo relieve, de un promedio de 150 a 200 metros sobre el nivel del mar, con la excepción de algunas alturas aisladas, como El Baúl y las más altas de los Llanos orientales. Por lo general, su relieve es el de una llanura muy plana y suavemente ondulada que va descendiendo de N a S y de O a E, junto a la Serranía del interior y al pie de los Andes. Las altitudes alcanza alrededor de 200 m y van disminuyendo hacia el río Orinoco con un gradiente tan pequeño que ha sido calculado en 70 cm por kilómetro.

La región de los llanos morfológicamente se divide en dos grandes cuencas sedimentarias, separadas por una división de rocas ígneas intrusivas y metamórficas que pueden considerarse como una extensión noroccidental del Escudo de Guayana. Esta división ígnea-metamórfica aflora en forma de varias prominencias en la zona de El Baúl. La separación o divisoria ocurre a lo largo del paralelo 68°, quedando una cuenca en la parte oriental y la otra cuenca en la parte occidental.

El drenaje de estas cuencas sedimentarias se verifica en el curso de sus ríos, los cuales debido a la poca inclinación de la superficie de los llanos tienen cauces tortuosos y meandros hacia la parte sur. Las respectivas cuencas consisten en llanuras suavemente onduladas, con ocasionales mesetas o colinas.

4.2.2.4.1 Cuenca sedimentaria occidental

La cuenca sedimentaria occidental, ubicada al Oeste de la divisoria de El Baúl hasta el piedemonte sur de la Cordillera de los Andes, cubre aproximadamente 50% de la superficie de la región de los llanos, ó 114.000 km², incluye los llanos de Apure (66.500 km²), los de llanos de Barinas y Portuguesa (47.500 km²) y una pequeña porción de los llanos de Cojedes.

Los ríos que cortan la cuenca occidental tienen su origen en la Cordillera de los Andes y tienen curso S-E. La mayoría son ríos de montañas en sus comienzos, de gradiente empinado en las laderas y con rumbos rectos, convirtiéndose al llegar a la parte baja de la llanura en ríos fortuosos con meandros. En la parte alta, en sus cabeceras, casi no presentan sedimentación, solamente cuando llegan al piedemonte comienza a depositar los sólidos que arrastran o en suspensión, en forma de peñones, gravas, arenas, arcillas y limos. Por lo general, los cauces de estos ríos en las llanuras son pocos profundos. El movimiento de sus aguas es siempre lento, debido a la pendiente mínima, de tal manera que el volumen de agua producido en la estación de lluvias aumenta su caudal rápidamente, inundando extensas áreas al unirse las aguas de las cuencas inmediatas. Estas inundaciones extienden la sedimentación de los detritos finos – arenas finas, arcilla y limos – hacia los bordes de la cuenca.

En la cuenca occidental se conocen tres tipos de sabanas: sabanas de mesetas, sabanas secas y sabanas de estero. Las sabanas de mesetas se extienden a lo largo del piedemonte andino y corresponden a las zonas altas, las sabanas secas corresponden a las áreas ligeramente más altas que las llanuras inundables y las sabanas de estero son las más bajas y de relieve deprimido.

La formación de los sedimentos en esta cuenca ocurre de la siguiente manera: el piedemonte andino se forma por el material arrastrado por los ríos, originando terrazas y bancos compuestos de peñones redondeados, grandes y pequeños, y una relativa cantidad de suelo arcillo-arenoso. La zona del piedemonte varía considerablemente de ancho, disminuyendo del Suroeste, donde alcanza 50 km, al Noreste, donde tiende a desaparecer.

Los llanos de la cuenca occidental forman una gran superficie cubierta casi en su totalidad por sedimentos blandos del Pleistoceno y grandes extensiones de depósitos aluviales y aluviales recientes, los cuales yacen sobre gruesas capas de sedimentos del Terciario que aumenta en espesor al acercarse a las estribaciones de la Cordillera de los Andes. Los sedimentos del Pleistoceno consisten en capas superpuestas en forma de lentes de gravas, arenas y arcillas, que se encuentran intercaladas.

4.2.2.4.2 Macizo de El Baúl

El macizo de El Baúl consiste en un conjunto de colinas bajas aisladas, filas y serranías, las cuales emergen abruptamente del nivel de los llanos –unos 18 metros sobre el nivel del mar– hasta alcanzar alturas cercanas a los 600 m sobre el nivel del mar. Esta unidad orográfica desaparece abruptamente hacia el Sur de los sedimentos de los llanos.

Esta región montañosa se encuentra ubicada en el área axial de la región, aproximada al meridiano 68°, entre la cuenca occidental y la oriental de los llanos venezolanos, como una delimitación estructural geológica regional. El Macizo, como unidad, ocupa una superficie de 680 km² en el distrito Girardot del estado Cojedes, entre los ríos Cojedes y Pao.

En el área del macizo aflora un conjunto de rocas metasedimentarias con 1.200 m de espesor, cuya edad corresponde al Paleozoico Inferior. Dichas rocas están constituidas por filitas grafitosas, cuarcitas micáceas, esquistos cloríticos, cuarcitas gruesas, metagranitos; todas ellas intrusionadas por un granito que aflora en la parte occidental del macizo. Este granito es generalmente porfídico, pasando a grano grueso a medida que se aleja del contacto. Esta intrusión granítica corresponde a la orogenia del Paleozoico Superior. Sobre estas formaciones ocurre una secuencia de rocas volcánicas, principalmente efusivas, no deformadas, discordantes sobre la metasedimentación y el granito. Las volcánicas constituyen las rocas expuestas más jóvenes.

4.2.2.4.3 Cuenca sedimentaria oriental

La cuenca oriental de los llanos ubicados al Este de la divisoria de El Baúl se extiende al Sur del piedemonte de la Serranía del Interior, entre esta serranía y el río Orinoco. Cubre una superficie aproximada de 118.000 km², casi 50% de la superficie de los llanos venezolanos. Esta región geomorfológicamente puede ser separada en dos secciones: la que limita con la cuenca occidental conocida como los llanos centrales –que incluye la parte oriental de los llanos de Cojedes, la parte sur de los estados Carabobo y Aragua y casi todo Guárico– y los llanos orientales, que incluye la región de las mesetas, los llanos de Maturín y los llanos orientales del Orinoco.

4.2.2.4.4 Llanos centrales

Esta región, también conocida con el nombre de llanos del Guárico, tiene una extensión aproximada de 71.400 km² de tie-

rras planas o suavemente onduladas, con un promedio de elevación de casi 120 m sobre el nivel del mar, los cuales oscilan entre los 80 m en las riveras del río Orinoco hasta 500 m en las laderas de la Serranía del Interior. La región se divide en las siguientes unidades:

- § Llanos de Cojedes, con 8.000 km² de superficie.
- § Llanos de Carabobo, con 2.900 km² de superficie.
- § Piedemonte de los Llanos, 9.000 km² de superficie.
- § Llanos del Guárico, con 51.500 km² de superficie.

Los Llanos centrales están constituidos principalmente por sedimentos del Terciario, incluyendo las areniscas y galeras de Guarumen. El Terciario de esta región consta de arenisca y pizarra arenosa del Oligoceno. Movimientos orogénicos han producido la inclinación de las areniscas, formándose las galeras de Guarumen. Al Sur del cinturón Terciario se encuentran formaciones irregulares de lutitas arcillosas y areniscas calcáreas del Plioceno; más al Sur y al Oeste aparecen gravas del Cuaternario. En gran parte de esa sección de los Llanos es frecuente encontrar terrazas aluviales del Cuaternario. En los cauces de los ríos se encuentran sedimentos recientes, especialmente en las áreas vecinas a las riveras del río Orinoco.

4.2.2.4.5 Llanos orientales

Esta región de los Llanos alcanza una superficie en torno a los 40.000 km², en la cual se reconocen tres unidades fisiográficas: a) región de las Mesas, b) Llanos de Maturín, y c) Llanos orientales del río Orinoco.

4.2.2.4.6 Región de las mesas

Esta región constituida topográficamente por terrenos elevados y llanos de gran extensión, rodeados de acantilados o barrancos, forma las denominadas mesas. Los acantilados o flancos occidentales de estas mesas son muy verticales. El relieve en general de la región va disminuyendo hacia el Oriente y hacia el Sur. Las mesas presentan acantilados verticales que alcanza a veces 70 m. Esta unidad fisiográfica se extiende por 13.000 km² de superficie y ocurre políticamente en el estado Anzoátegui y en la parte occidental del estado Monagas. La formación Mesa es de edad Plioceno, en la parte occidental de la región y de edad Pleitoceno en la oriental, que yacen sobre sedimentos de Oligoceno. Estos sedimentos consisten en areniscas no consolidadas en estratificación cruzada, gravas y una arcilla moteada arenosa. Los suelos de la región son silíceos en algunas partes y en otras se desarrolla una costra laterítica (moco de hierro).

4.2.2.4.7 Llanos de Santa Bárbara o de Maturín

Esta sección de los Llanos, con una extensión superficial de casi 13.400 km², está ubicada en el extremo oriental de la cuenca oriental sedimentaria y políticamente corresponde al estado Monagas. Dentro de esta sección se encuentra la ciudad de Maturín. Es una zona petrolera donde se encuentran los campos petroleros más importantes del oriente del país. Geológicamente corresponden a sedimentos del Pleistoceno y

algunos aluviales recientes en madurez fisiográfica. En la región del piedemonte de la Serranía del Interior oriental, se encuentran afloramientos de calizas de la formación El Cantil.

4.2.2.4.8 Llanos orientales del Orinoco

Desde la unión del río Apure con el río Orinoco rumbo al Este hacia el océano Atlántico, la sección del margen izquierdo del río es conocida como Bajo Orinoco o Llanos orientales del Orinoco. Esta sección tiene una superficie aproximada de 1.300 km². Es un área de bajo relieve, de etapa fisiográfica madura, donde el río Orinoco tiene un impresionante caudal de corriente relativamente lenta, lo cual se explica por el desnivel mínimo, ya que entre Caicara y Ciudad Bolívar –una distancia de 490 km– la pendiente superficial apenas es de 6 cm por km. El área está cubierta por sedimentos finos no consolidados del Pleistoceno y Reciente.

4.2.3 Escudo de Guayana

Se denomina Escudo de Guayana al conjunto de rocas de edad precámbrica, limitado por las cuencas de los ríos Amazonas y Orinoco, el océano Atlántico y las cuencas sedimentarias subandinas. La parte norte del Escudo de Guayana que aflora en Venezuela equivale a 45% del territorio nacional emergido.

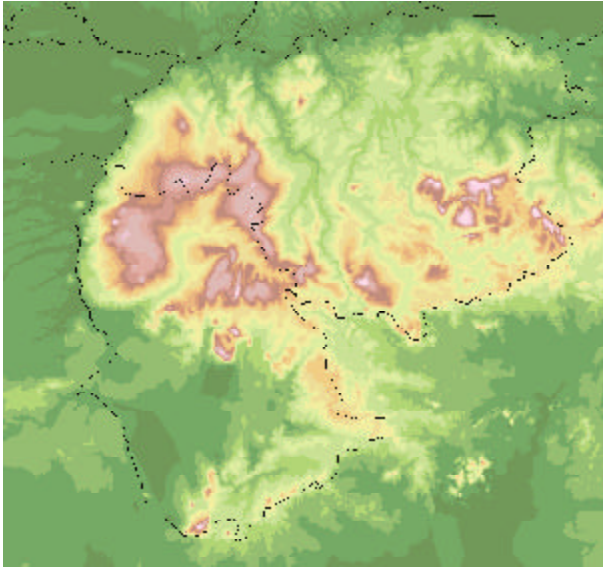
Las estructuras geológicas del Escudo de Guayana en Venezuela tienen dirección Noroeste, la cual adoptó el drenaje principal de la región hasta cuando el río Orinoco, a causas del levantamiento de la Cordillera de los Andes, fue obligado a correr hacia el Este. El río Cuyuní drena hacia el Este controlado por la Gran Sabana, la Sierra Imataca y la Sierra de Nuria. La Sierra Imataca, donde aflora el complejo ígneo–metamórfico del mismo nombre, tiene dirección Noreste a partir del Cerro Bolívar.

El Macizo de Guayana en Venezuela está bordeado en sus partes norte y oeste por una zona de topografía baja, de menos de 100 metros de elevación. En ella se destacan las porciones boscosas del delta del Orinoco al Noreste y la del Casiquiare al Suroeste. En el resto del área se observan restos de penillanuras a los 500 metros y a los 100 metros. Dentro de esta última se destacan restos de erosión de hasta 2.800 metros de elevación. Sobre estos detalles cinceló sus valles el drenaje de las hoyas hidrográficas del Orinoco y del Cuyuní. Las elevaciones por encima de los 1.000 metros están sostenidas por rocas del llamado Complejo Granítico y del Grupo Roraima.

En el área del Escudo de Guayana correspondiente a Venezuela se han descrito cuatro provincias litológicas denominadas Imataca, Pastora, Amazonas y Roraima.

La provincia de Imataca está ocupada por el complejo del mismo nombre, el cual está constituido por una sucesión de rocas metasidimentarias e ígneas completamente plegadas que forman una faja al Sur del río Orinoco, desde el río Caura hasta Delta Amacuro. Los rasgos más característicos de estas rocas

Mapa 6. Fisiografía del Escudo de Guayana



son la presencia de estratos de formación de hierro en una secuencia compuesta predominantemente de gneises cuarzo-feldespáticos, con algunos miembros hornabléndicos o piroxénicos; y el grado de metamorfismo variable desde el de la anfibiolita al de la granula piroxénica.

La provincia de Pastora está constituida por las unidades Supergrupo Pastora, Grupo Botanamo y Complejo de Supamo. El Supergrupo Pastora consiste en metalavas basálticas, metandesitas, metegrauvas, filitas, *cherts* y metadacitas. El grupo Botanamo consiste en tobas andesíticas, grauvas, limolitas, filitas, arenisca roja y conglomerados. El Complejo de Supamo está integrado por un conjunto de unidades graníticas: paragneisis que constituyen cuerpos dómicos concordantes mayores. Las cubetas tectónicas adyacentes a los cuerpos dómicos están ocupadas por unidades del Supergrupo Pastora.

La provincia de Amazonas está constituida por el Supergrupo Cedeño y el Complejo Granítico del Amazonas. El Supergrupo Cedeño está formado por dos conjuntos de rocas ígneas ácidas: Grupo Cuchivero y Grupo Suapure. El primero está integrado por lavas tobáceas y granitos biotíticos-pertíficos. El segundo está conformado por el granito de Parguaza y el granito de los Pijiguaos.

La provincia de Roraima está formada por conglomerados, areniscas y lutitas de origen continental que reposan sobre los complejos de rocas ígneas y metamórficas descritos anteriormente. Forman un afloramiento continuo al Sureste del estado Bolívar, al Este de los ríos Paragua y Caroní hasta las fronteras con Brasil y Guyana Esequiba. Hacia el Oeste, hasta la arcada orinoqueña, se encuentran afloramientos esporádicos del Grupo Roraima, que ocupan áreas extensas. Se ha dividido en cuatro formaciones: Uairén, constituida por areniscas intercaladas

conglomeradas; Cuquenán, constituida por lutitas; Uaimapué, constituida por conglomerados en la parte inferior y por areniscas de grano medio a muy fino en la parte media y superior, con capas de tobas intercaladas; y Matuai, constituida por areniscas conglomeráticas y de grano medio. A excepción de la formación Cuquenán, que puede ser de origen marino, todas las formaciones del grupo Roraima son de origen fluvial.

4.3 Producción de rocas industriales en Venezuela

Las rocas utilizadas por la industria en Venezuela provienen principalmente de rocas sedimentarias de origen químico, seguidas en importancia por rocas sedimentarias de origen clástico y en muy pequeña escala de rocas ígneas y de rocas metamórficas. En el Cuadro 8 se presenta la producción registrada en el Ministerio de Energía y Minas de las rocas utilizadas en la industria desde 1971 a 1981.

Cuadro 5. Producción de rocas industriales en Venezuela (1971-1981, en tm)

Roca	Producción
Sedimentaria de origen químico	
<i>Caliza</i>	78.800.000
<i>Dolomita</i>	5.800.000
<i>Yeso</i>	1.500.000
Sedimentaria de origen clástico	
<i>Arcilla</i>	13.150.000
<i>Caolín</i>	435.000
<i>Arena</i>	70.700.000
Ígnea	
<i>Granito</i>	850.000
<i>Feldespato</i>	150.000
Metamórfica	
<i>Mármol</i>	1.000

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

De estos datos se desprende que las calizas, las arenas y las arcillas son las rocas más importantes desde el punto de vista de la producción para la industria.

Cuadro 6. Producción nacional de rocas industriales (1971-1981)

Año	Arena*	Arcilla*	Caolín*	Caliza*	Dolomita**	Feldespato**	Fosforita**	Granito**	Mármol*	Yeso**
1971	8.156.912	896.506	--	4.015.182	--	--	49.101	191	15	92.015
1972	3.961.416	952.700	--	4.001.715	--	--	44.396	115	16	86.162
1973	5.215.811	1.000.966	9.516	2.125.122	--	--	95.395	98	11	71.162
1974	3.456.810	1.115.215	7.161	7.218.251	15.118	16.188	141.484	--	13	115.117
1975	4.248.710	1.016.815	--	6.151.215	22.291	--	116.416	168	11	164.164
1976	6.651.179	1.315.915	9.599	6.821.121	21.116	2.800	79.999	289	--	210.841
1977	8.750.292	1.481.393	10.960	8.767.068	98.033	34.484	161.815	346	214	155.287
1978	10.825.156	1.301.285	21.596	11.580.069	84.405	28.760	97.125	19	105	187.072
1979	8.115.121	1.753.524	29.662	8.666.790	NHP	36.874	33.137	122	182	260.140
1980	7.496.070	1.240.321	11.058	7.176.445	86.494	28.302	15.118	385.668	209	117.477
1981	3776.212	1.095.447	65.692	11.650.865	254.540	28.257	3.547	465.308	292	218.234

Leyenda:

--: No hubo producción

*: metros cúbicos

**: tonelada métrica

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

Cuadro 7. Producción registrada de minerales no metálicos (1982-1991, en miles de toneladas métricas, tm)

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Anfibolita	--	258	169	183	297	261	174	164	274	197
Arcilla blanca	199	93	72	118	217	265	329	254	250	219
Arcilla roja	2.286	1.746	1.796	1.932	1.749	1.911	1.910	2.307	3.254	2.482
Arena sílicea	201	230	334	297	349	455	455	396	443	576
Arenas y gravas	7.403	5.826	5.989	6.338	6.545	7.226	7.305	5.036	4.744	4.577
Caliza	14.464	12.209	11.561	13.907	15.686	17.520	16.775	14.904	13.321	13.719
Caolín	15	16	13	19	15	30	24	16	15	35
Carbón	46	39	51	41	57	238	1.072	2.113	2.243	0
Cuarzo	79	0	0	111	105	126	99	41	51	31
Dolomita	290	239	87	274	303	257	313	230	300	300
Feldespato	37	37	40	42	37	43	97	84	101	145
Fosfatos	6	3	3	9	174	99	84	174	138	131
Granito	1.431	771	336	656	530	418	353	267	262	459
Yeso	237	213	142	189	258	247	222	319	249	247
Bauxita	0	0	0	0	0	245	521	702	771	0

Fuente: Anuario Estadístico Minero, Ministerio de Energía y Minas

Cuadro 8. Producción registrada de minerales no metálicos (1992-2000, en miles de toneladas métricas, tm)

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Anfibolita	0	143	50	66	77	59	0	0	0
Arcilla blanca	243	302	258	277	248	0	139	201	120
Arcilla roja	1.672	1.734	2.176	3.103	2.489	2.759	1.960	201	2.060
Arena silícea	557	822	141	598	763	798	344	1.979	331
Arenas y gravas	6.637	3.562	4.165	4.629	3.660	4.218	4.753	295	3.106
Caliza	15.182	12.621	11.649	12.189	15.873	14.177	14.246	5.431	11.302
Caolín	41	32	10	3	8	5	4	13.735	0
Cuarzo	0	0	0	0	20	70	39	12	101
Dolomita	300	300	300	300	225	204	71	44	0
Feldespatos	182	187	137	170	205	160	148	0	139
Fosfatos	21	0	95	179	200	290	322	125	389
Granito	228	394	264	236	286	400	807	466	581
Cristal de roca	0	0	0	0	0	777	0	2	5
Bauxita	247	210	135	135	57	80	72	42	25

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, Anuario Estadístico Minero.

Cuadro 9. Principales minerales de importancia económica en la región central

Mineral	Clasificación	Reservas estimadas
Arena	No metálico	99.595.226,18 m3
Caliza	No metálico	147.734.315,00 m3
Arcilla	No metálico	21.324.691,95 m3
Granzón	No metálico	36.720.963,06 m3
Feldespatos	No metálico	1.879.872.128,00 m3
Dolomita	No metálico	4.700.000,00 m3
Anfibolita	No metálico	1.055.115,00 m3
Diatomitas	No metálico	3.000.000,00 m3
Bentonita	No metálico	30.000.000,00 m3
Asbesto	No metálico	15.000.000,00 m3
Carbón	No metálico	3.400.000,00 t
Cobre	Metálico	288.000,00 t
Níquel	Metálico	49.466.111,00 t

Leyenda:

m³: metro cúbico

t: tonelada

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, Región Central.

Capítulo 5.

Rocas industriales sedimentarias de origen químico

5.1 Calizas

La caliza es una roca formada básicamente por carbonato de calcio (CaCO_3) y otros elementos que le comunican impurezas, entre los cuales los más comunes son el magnesio (Mg), la sílice (Si) y el fosfato (PO_4). Cuando la concentración de alguno de estos elementos es de cierto tenor, se conviene en denominar las calizas como calizas magnesianas, calizas silíceas o calizas fosfatadas, según sea el caso. En las calizas magnesianas, de muy alta concentración de magnesio, se forma la sal doble de calcio y magnesio, dando lugar a un tipo diferente de caliza, que se conoce con el nombre de dolomita. Las combinaciones en las calizas silíceas son las más desfavorables, ya que el material resulta insoluble y abrasivo. Las fosforitas son rocas que tienen en su fórmula el radical PO_4 . En esta roca, el fosfato es el compuesto de mayor importancia. La riqueza de la roca se indica por el porcentaje de fosfato tricálcico.

La mayoría de las calizas pulverizadas y otros productos procesados en las canteras son llamados productos crudos. En la práctica se distinguen dos tipos de productos: enmiendas y abonos, uno de ellos se obtiene por pulverización mecánica de la caliza y el otro por proceso de cocción. Las calizas sometidas al proceso de cocción en hornos de cuba pierden el dióxido de carbono (CO_2) y el óxido de calcio (CaO), conocido como cal viva, la cual al ser trata con agua (H_2O) da lugar al hidróxido de calcio Ca(OH)_2 o cal apagada.

Las calizas tienen múltiples usos. Se emplean en la fabricación de cemento, como material de construcción, como grava en la construcción de carreteras y vías de ferrocarril, como piedra en la fabricación de cal y como fundente en la industria siderúrgica. Desde el punto de vista de su utilización como insumo agrícola, en la caliza cobra especial importancia el elemento calcio (Ca), ya que éste resulta un macronutriente para plantas y animales y un corrector de los complejos arcillosos húmicos en los suelos. La cal se usa para morteros, estucos o enlucidos en la industria de la construcción; como fundente en la industria metalúrgica; como re-

fractario para revestimiento de hornos de solera abierta; en la agricultura para agregar al suelo como fertilizante; como estabilizante en las carreteras; y como materia prima en la depuración de aguas residuales, la fabricación de pulpa y de papel, en la refinación de azúcar, en la refinación de petróleo, en la refinación de curtidos, etc.

5.1.1 Yacimientos de calizas en Venezuela

En Venezuela existen yacimientos de calizas primordialmente en las zonas de alto relieve o de cordilleras, las cuales por su constitución geológica poseen numerosas formaciones de calizas y, por consiguiente, las mayores posibilidades de reservas.

Las calizas en las cordilleras ocurren en formaciones sedimentarias del Mesozoico.

5.1.1.1 Cordillera del Norte o de la Costa

En la Cordillera Norte o de la Costa las calizas se encuentran en las siguientes formaciones del Mesozoico Inferior y Medio:

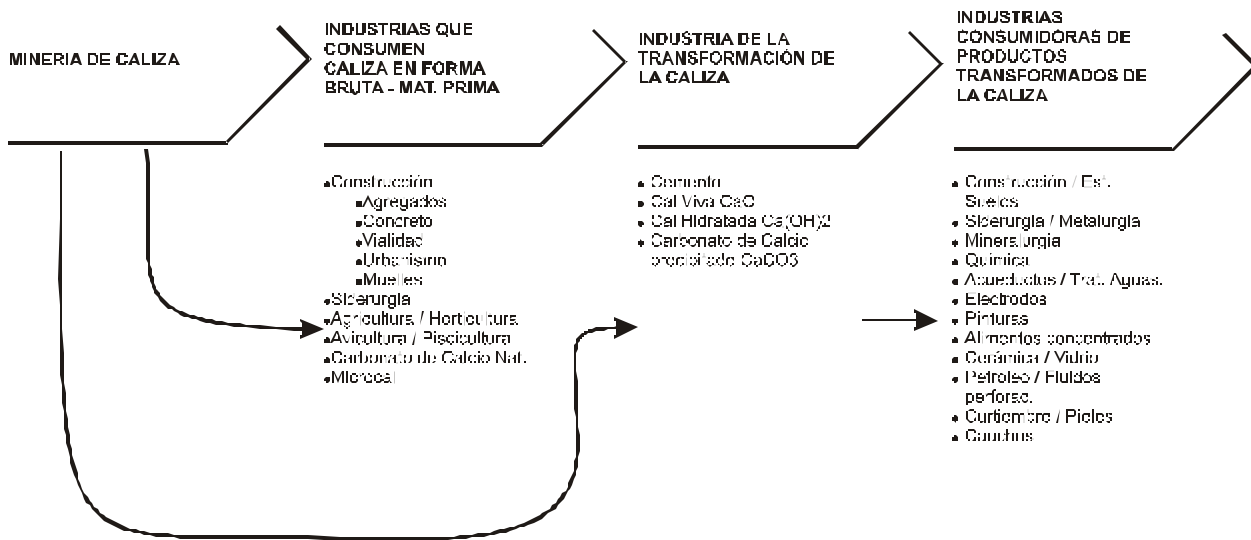
§ Formación Antímamo. Constituida por calizas cristalinas en capas gruesas, que alternan con capas delgadas de esquistos micáceos. Localidad: Zona Norte de Antímamo, Distrito Federal, al Sur de San Pedro, estado Miranda.

§ Formación Las Brisas. Consiste principalmente de capas de esquistos cuarzo feldespático micáceos–sercíticos y gneises, con lentes de mármoles. Localidad: Caracas, Distrito Federal.

§ Formación Las Mercedes. Esquistos principalmente calcáreos, con filones de calizas intercaladas. Localidad: Distrito Federal.

§ Formación Nirgua. Esquistos cuarzo–micáceos con capas de calizas masivas intercaladas. Localidad: La unidad aflora extensamente en los estados Lara, Cojedes y Carabobo.

Figura 23. Encadenamiento de negocios de la caliza en Venezuela



§ **Formación Capadare.** Capas de calizas arrecifales blandas, que forman abruptos filones. Localidad: Chichiriviche, Sanare, Riecito y Capadare, estado Falcón.

5.1.1.2 Cordillera de los Andes

En la Cordillera de los Andes y en el piedemonte de los Llanos, las calizas cretácicas yacen en las siguientes formaciones del Mesozoico Superior–Cretáceo:

§ **Formación Capacho.** Constituida de lutitas con capas de caliza dura. Localidad: Capacho, Palmira y Lobatera, estado Táchira.

§ **Formación La Luna.** Consiste en calizas laminares delgadas, arcillas calcáreas y concreciones de calizas. Localidad: Lobatera, estado Táchira y estado Zulia.

§ **Formación Cogollo.** En la región del Zulia las calizas ocurren en el Grupo Cogollo en capas macizas infrayacentes a la Formación La Luna. Localidad: Isla de Toas y El Rosario, estado Zulia.

§ **Formación Colón.** Consiste de capas de lutitas con capas de calizas. La Formación Colón se extiende por todo el occidente de Venezuela, constituyendo un horizonte de carácter regional. Localidad: Colón, estado Táchira.

5.1.1.3 Cordillera de la Costa

En la Cordillera del Norte o de la Costa y en el piedemonte, las calizas cretácicas ocurren en las siguientes formaciones del Mesozoico Superior–Cretáceo:

§ **Formación Barranquín.** El miembro Venado de esta formación se caracteriza por calizas estratificadas potentes. Localidad: Cubre extensas áreas en las Serranías del Interior de Anzoátegui, Monagas y Sucre.

§ **Formación El Cantil.** Consiste en calizas, que constituyen el mayor volumen de la formación. Ésta tiene un espesor que oscila entre 300 y 800 metros. Localidad: sección nororiental de la Serranía del Interior.

§ **Formación Chimana.** Consiste en calizas, lutitas y areniscas. Localidad: sección nororiental de la Serranía del Interior.

§ **Formación Cariaquito.** (Grupo Patao) Esquistos grafitosos, cuarzosos, micáceos. Posibles grandes reservas de calizas y yeso en el miembro Patao. Localidad: ensenada de Cariaquito, Macuro, Península de Paria.

5.1.1.4 Secciones Central y Occidental

En las secciones Central y Occidental, las calizas ocurren en las siguientes formaciones del Mesozoico Superior–Cretáceo:

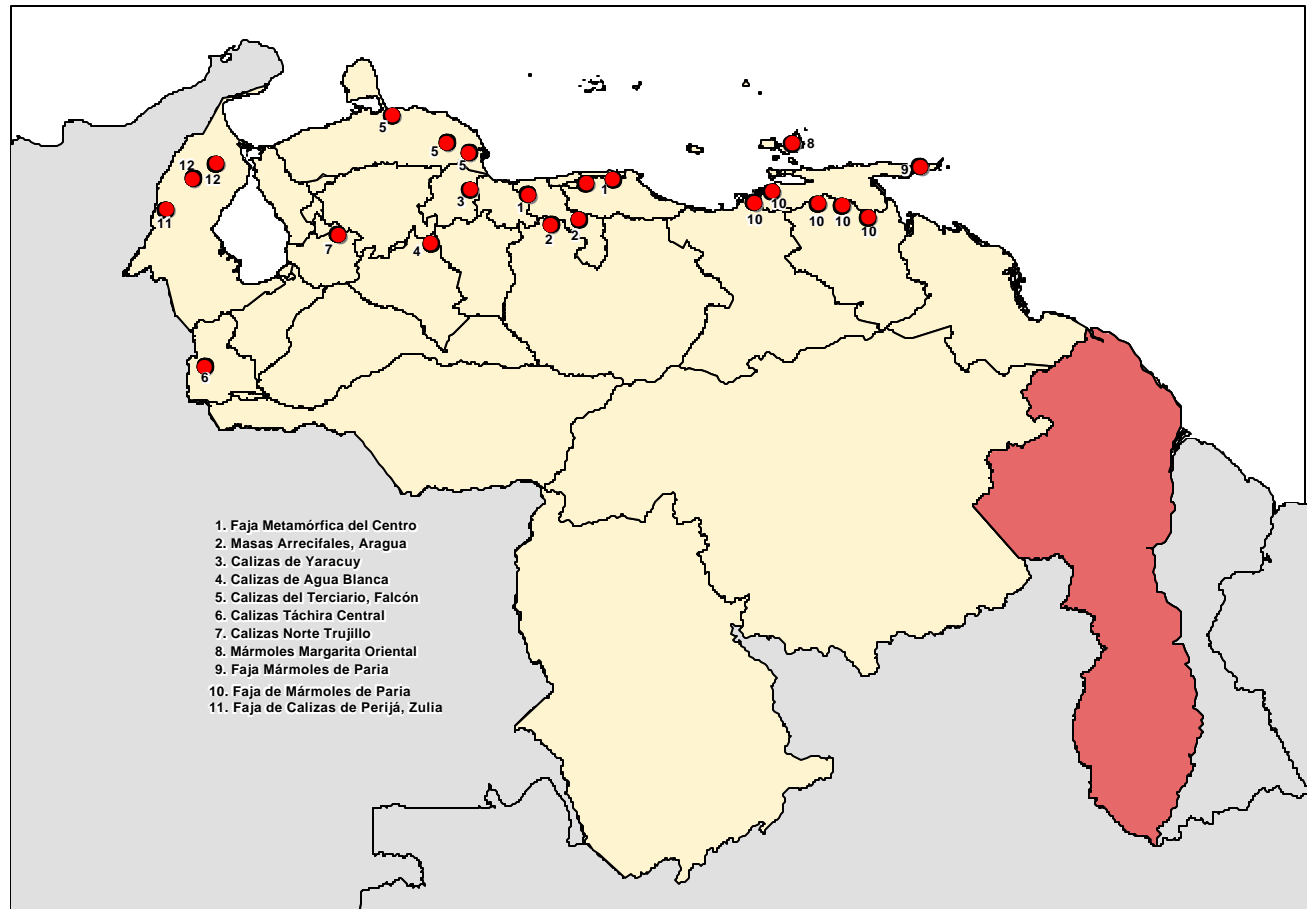
§ **Formación Carorita.** La parte superior de la formación está compuesta de calizas lenticulares que pasan lateralmente a areniscas calcáreas y silíceas. Las calizas tienen hasta dos metros de espesor. Localidad: Norte de Barquisimeto a Carorita, estado Lara.

§ **Formación Mamey.** Consiste esencialmente de esquistos sericiticos con calizas arenáceas intercaladas. Localidad: Sanare, estado Lara.

§ **Formación Aguas Blancas.** La unidad de una sección basal de 20 metros de espesor de calizas, a continuación siguen filitas intercaladas con calizas y cuarcitas. Localidad: flanco meridional de la Serranía del Interior desde Aguas Blancas hasta San Rafael de Onoto, estado Portuguesa.

§ **Formación Guárico.** Es esta formación la unidad de calizas arrecifales ocurren topográficamente en forma de morros elevados. Localidad: en la región entre San Juan de los Morros y San Sebastián, estado Guárico y en San Casimiro, estado Aragua.

Mapa 7. Depósitos de calizas de Venezuela



5.1.2 Composición química de las calizas explotadas en Venezuela

La calidad de las calizas varía según los diferentes yacimientos. La localidad de un yacimiento de caliza está en relación directa con la concentración (%) de calcio (CaO_3) que posea y al grado de cristalización presente en el yacimiento. En el Cuadro 10 se muestran los análisis de las calizas provenientes de diferentes regiones y formaciones del país. Estos análisis denotan que las calizas de donde provienen las muestras dan un promedio aceptable para los usos industriales.

5.1.3 Reservas de calizas en Venezuela

Las reservas probadas y probables de calizas en Venezuela han sido estimadas por la Compañía Nacional de Cal (CONACAL) en 3.419.100.000 toneladas métricas.

5.1.4 Explotación de calizas en Venezuela

El proceso utilizado en Venezuela en la explotación de calizas es el de bancos a cielo abierto. El mayor número de las plantas de explotación se localiza en la zona norte del país, en la región nororiental y en la región capital. Estas regiones corresponden al crecimiento espacial y demográfico que ha caracterizado al país a través de su historia, en la cual se dan desequilibrio territoriales y

económicos con el macrocrecimiento demográfico de algunas áreas, en tanto que otras permanecen estancadas o deprimidas. El caso de la industria de la explotación de las calizas es muy marcado, por cuanto su explotación se vincula directamente a la rama de la construcción, típicamente urbana.

Los yacimientos de calizas explotados en Venezuela se encuentran a lo largo de las cordilleras de los Andes y del Norte o de la Costa, principalmente en las regiones nororiental, capital, central-Llanos y zuliana. Estos yacimientos son explotados por industrias que usan la caliza como materia prima, principalmente la industria del cemento. En el Cuadro 12 se resume la producción de calizas en el país desde 1978 a 1981.

La disminución en la producción de calizas durante el lapso de 1978 a 1981 se debe a la decreciente actividad de la industria de la construcción como consumidora de calizas, lo que ha obligado a muchas empresas a cerrar y a otras a permanecer inactivas. La baja del presupuesto nacional también trajo como consecuencia que las actividades de fiscalización y control a las empresas explotadoras no se realizaran en forma total; además fue derogada la Resolución N° 680, la cual obligaba al productor a presentar planes de explotación ante el Ministerio de Energía y Minas y daba a dicho ministerio derechos de fiscalizar las explotaciones de no metales.

Cuadro 10. Composición química de las calizas en Venezuela

Formación	Localidad	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	PAF
Región Capital						
Las Mercedes	Dtto. Federal	43,46	9,15	1,37	-----	45,56
Región Central						
Valencia	Carabobo	45,47	0,38	5,11	10,7 6	38,26
El Pao	Cojedes	54,0	-----	*	3,24	42,70
Tinaquillo	Cojedes	44,48	*	0,82	18,0 1	35,67
Región Los Llanos						
Guárico	Guárico	49,90	*	3,45	4,71	40,83
Región Centro-Occidental						
Capadare	Falcón	53,80	*	1,04	1,94	42,30
Sanare	Lara	50,92	*	2,13	9,55	39,20
Región Zuliana						
Cogollo	Zulia	55,4	*	0,4	0,6	43,50
Región Los Andes						
Capacho	Táchira	54,46	*	0,22	0,22	43,84
Región Nororiental						
El Cantil	Sucre	55,91	0,49	0,19	0,27	43,4

Cuadro 11. Reservas de calizas en Venezuela

Cordillera del Norte	
<i>Región administrativa</i>	<i>Reservas (tm)</i>
Capital	100.000.000
Central	19.900.000
Centro-oriental	2.482.000
Centro-occidental	703.000.000
Subtotal	3.305.600.00
Cordillera de los Andes	
<i>Región administrativa</i>	<i>Reservas (tm)</i>
Los Andes	80.500.000
Los Llanos	27.500.000
Zuliana	113.500.000
Subtotal	221.500.000
Total	3.419.000.000

5.2 Cemento

El cemento es una combinación de silicatos dicálcicos, silicatos tricálcicos, aluminato tricálcico, férrico, aluminato tetracálcico, etc. Por ello para su obtención se requiere de materia prima enriquecida en óxido de calcio, alúmina y óxidos de hierro. La materia prima puede ser de origen natural y productos industriales.

Los requerimientos químicos básicos para fabricar el cemento rara vez se encuentran en las proporciones deseadas en una sola sustancia; por lo tanto, en la mayoría de los casos es una combi-

nación de tres o más sustancias. Las materias primas para la industria de cemento se pueden dividir en cuatro tipos: (1) componentes calcáreos, (2) componentes ricos en alúmina (arcillas), (3) componentes silíceos (arenas) y (4) componentes ferruginosos.

Los componentes calcáreos usados frecuentemente en la industria del cemento son "cement rock", calizas, margas, conchas de ostras, coquinas, caliche, etc. La caliza es la materia prima más usada en el mundo, principalmente por su abundancia y su gran aporte de calcio. Raramente llega a tener 99% de carbonato de calcio, frecuentemente contiene cantidades de arcillas y arena, componentes que no son impurezas objetables para la fabricación de cemento por cuanto aportan alúmina, sílice y óxido de hierro. El factor más importante que controla la utilización de la caliza en la industria de cemento es el contenido de óxido de magnesio. El contenido máximo permitido es 3%, por ello se descarta el uso de caliza dolomítica con este fin. La marga, debido a su abundancia y al hecho de contener material calcáreo y arcilloso en estado homogeneizado, constituye una excelente materia prima. En otros países se usan conchas de ostras, coquina y caliche, pero en Venezuela no hay depósitos suficientes que soporten los requerimientos de una planta de cemento.

Cuando la caliza empleada no contiene suficiente alúmina y sílice, es necesaria la adición de material arcilloso. Por eso la arcilla es la segunda materia prima importante para la fabricación de cemento. Como sabemos, las arcillas están formadas principalmente por hidrosilicatos de alúmina, sin embargo, exhiben una amplia variación en su composición mineralógica y química. Varían desde las compuestas exclusivamente por silicatos de aluminio (blancas), hasta las que pueden contener más de 50% de sílice libre, o contener hidróxido de hierro, sulfuro de hierro, carbonato de calcio, etc. El hidróxido de hierro es el componente colorante más frecuente de las arcillas. La granulometría es importante, lo preferible es la presencia de sílice finamente dividida. La arcilla es igualmente la principal fuente de álcalis en el proceso de fabricación de cemento.

Aunque las arcillas sí representan un elemento importante por su composición y las cantidades necesarias, generalmente no constituyen un gran dolor de cabeza. Siempre es posible conseguir una arcilla de composición apropiada dentro del área relativamente cercana a la planta de cemento, La mineralogía y la composición química de las arcillas es muy amplia y es fácil conseguir la apropiada para ser usada como aditivo. En Venezuela hay arcillas de distintas composiciones químicas y en grandes volúmenes.

Para corregir las deficiencias de alúmina también es común el empleo de otros materiales como bauxita, esquistos, estaurólita, granodioritas, escoria de siderurgias y plantas de aluminio. Mientras que para compensar la deficiencia de sílice se utiliza arena o arenisca. Aunque estos materiales son principalmente ricos en cuarzo, contienen cantidades variables de arcillas y otros minerales. También se usan cuarcitas, tierras de diatomeas, etc.

Cuadro 12. Resumen de la producción de calizas en Venezuela

Región	1978	1979	1980	1981
Nororiental	1.845.192	1.556.618	1.135.231	2.023.854
Andina	201.106	207.328	166.654	24.525
Zuliana	889.708	1.856.927	1.810.018	5.567.662
Centro-Occidental	1.012.911	1.371.115	588.913	581.509
Central y Llanos	3.269.246	1.444.396	1.437.026	1.485.858
Capital	3.750.922	3.369.184	1.138.050	1.731.339
Total	10.969.085	9.805.568	6.275.892	11.414.747

Cuadro 13. Producción de calizas en Venezuela (por estados, 1999-2000)

Estado	Años	
	1999	2000
Anzoátegui	2.529.192,34 m ³	1.719.430,62 m ³
Aragua	1.123.534,50 m ³	661.846,00 m ³
Carabobo	340.127,22 m ³	88.074,38 m ³
Lara	220.513,64 m ³	106.327,58 m ³
Monagas	219.228,65 m ³	136.356,34 m ³
Nueva Esparta	153.309,25 m ³	139.896,95 m ³
Portuguesa	7.000,00 m ³	
Sucre	114.061,20 m ³	117.359,20 m ³
Táchira	129.857,50 tm	162.000,00 m ³
Trujillo	621.985,00 tm	655.292,00 tm
Yaracuy	17.617,23 m ³	
Total	4.659.355,38 m³	3.131.291,07 m³

Los cementos de bajo calor de hidratación requieren la incorporación de aditivos ricos en hierro. La materia prima comúnmente usada para cumplir este fin es la mena de hierro y ceniza producto de la calcinación de la pirita.

La materia prima condicionante para la fabricación de cemento, ya lo hemos visto, es la caliza; los demás componentes (arcilla, arenas, mena de hierro, bauxita, etc.) son componentes correctores y se agregan en la proporción necesaria hasta obtener la composición química deseada. A excepción de las arcillas, esos otros elementos son incorporados generalmente en cantidades menores.

Como hemos visto, el óxido de magnesio es el condicionante más importante para las materias primas en la fabricación de cemento. Los álcalis están limitados por una concentración no mayor de 0,6% en el cemento elaborado. Comúnmente la materia prima puede contener un porcentaje mayor, ya que parte de ellos se volatilizan durante el proceso de cocción. El azufre suele presentarse combinado como sulfuro (pirita) en casi todas las materias primas para cemento, a lo que hay que agregar el azufre incorporado por los combustibles empleados. Los contenidos de azufre, cloruros, fluoruros y fósforos de la materia prima de la mayo-

ría de las fábricas de cemento están en los siguientes rangos: de 0,16 a 0,5% de azufre, de 0,01 a 0,3% de cloruros, de 0,03 a 0,08% de fluoruros y de 0,05 a 0,25% de fósforos.

Al final del proceso de fabricación de cemento se hace necesaria la incorporación de pequeñas cantidades de yeso con objeto de regular el tiempo de fraguado; por ello constituye una materia prima importante que se debe tomar en cuenta para la instalación de una planta de cemento.

Existe la tendencia a fabricar cementos de distintas clases, adaptadas a usos determinados, tales como: cementos de gran resistencia para albañilería, de baja temperatura, de elevado contenido de alúmina y para pozos petroleros.

El cemento Portland es un conglomerado hidráulico constituido principalmente por silicatos de calcio. Las materias primas utilizadas en su fabricación son principalmente materiales como la piedra caliza (entre 76% y 80% de calizas, o sea 42,5% de CaO), materiales arcillosos (20% de SiO₂ y Al₂O₃) y 5% de álcalis y magnesio. Las materias primas deben tener un contenido muy bajo de óxido férrico, el Mg no debe exceder 5% del producto acabado. Las materias primas se mezclan y muelen a la misma finura que el propio cemento, operación que se puede realizar en seco (vía seca) o con agua (vía húmeda). La mezcla pulverizada se cuece en grandes hornos rotativos a entre 1370° y 1550° C para producir el clínker de cemento Portland. Al clínker se le añade 3% de sulfato de calcio (yeso) antes del pulverizado final, para impedir un fraguado demasiado rápido del producto. Después, la mezcla de clínker y yeso se muele hasta un grado de finura donde 90% de la mezcla pase por un tamiz 200. Hay diferentes tipos de cementos Portland (principalmente cinco), dependiendo de su composición química, granulometría, tiempo de fraguado, resistencia en la actividad química, etc.

5.2.1 Industria del cemento en Venezuela

La distribución de las plantas de cemento en Venezuela es amplia, debido a la necesidad de que éstas estén ubicadas cerca tanto de las fuentes de materias primas como de los mercados de consumo, para evitar el encarecimiento causado por el transporte. Es por eso que las plantas de cemento se encuentran en las regiones fisiográficas de alto relieve del país –zonas de las cordilleras, principalmente en la sección central de la Cordillera de la Costa–, las cuales, además de ofrecer por su geología las materias primas –calizas y arcillas– requeridas por la industria, han sido las zonas más densamente pobladas a través de la historia del país. La única excepción es la planta de Cemento Ordaz, que produce cemento metalúrgico, el cual se obtiene mediante la mezcla de clínker de cemento artificial, escorias de alto horno y un poco de sulfato de calcio.

En Venezuela la industria del cemento arranca en el año de 1907, cuando se estableció la primera planta con un horno vertical en el pueblito de La Vega, para aquel entonces situado en las afueras de Caracas. La producción inicial era de 20 toneladas diarias. Para 1940 se establece la segunda planta del país en Valen-

Cuadro 14. Distintas materias primas usadas en la fabricación de cemento

Materia prima	Frecuencia de uso (%)
"Cement rock" o caliza sola	5
Caliza y arcilla	12
Caliza y lutita	21
Caliza y "cement rock"	6
Caliza, arcilla y lutita	5
Caliza, lutita y arena	11
Caliza, arena y óxido de hierro	4
Caliza, arcilla, lutita y mena de hierro	5
Conchas marinas, arcilla, arena y materiales ferrosos	4
Otras combinaciones	27
Total	100

cia, con el nombre de Cemento Carabobo, funcionando con un horno vertical y produciendo 100 toneladas diarias. A continuación presentamos una lista con las plantas de cemento existentes en el país, señalando año de fundación, compañía y ubicación.

- Cementos La Vega, Caracas, Distrito Federal (1907)
- Cemento Carabobo, Valencia, Carabobo (1940)
- C.A. Venezolana de Cementos, Barquisimeto, Lara (1945)
- C.A. Venezolana de Cementos, Maracaibo, Zulia (1947)
- C.A. Cementos Táchira, Palmira, Táchira (1948)
- C.A. Venezolana de Cementos, Pertigalete, Anzoátegui (1949)
- C.A. de Cementos, Coro, Chichiriviche, Falcón (1955)
- Fábrica Nacional de Cementos, Ocumare del Tuy, Miranda (1970)
- Consolidada de Cementos, San Sebastián, Aragua (1970)
- Cemento Guayana S.A., Puerto Ordaz, Bolívar (1970)
- Cementos Caribe, Puerto Cumarebo, Falcón (1972)
- Cemento Catatumbo C.A., Villa del Rosario, Zulia (1979)
- Cemento Andino (1980).

La producción de cemento en Venezuela ha aumentado siguiendo el ritmo del establecimiento de las plantas en el país, el cual fue lento durante el lapso de 1907 a 1940, o sea desde la fundación de la primera planta en la vecindad de Caracas al del establecimiento de la segunda planta en Valencia. A partir de 1940 se inicia un período de altas tasas de producción, con el crecimiento vertiginoso de la industria del cemento. En la década del setenta, la producción de cemento se duplica rápidamente, al entrar en funcionamiento cuatro nuevas plantas. La producción anual pasa de 8 millones de toneladas en 1971 a 4,9 millones en 1981. A partir de 1990 se incrementa la exportación de cemento a Estados Unidos y las islas del Caribe. Ese año las plantas de cemento venezolanas fueron vendidas a grupos extranjeros suizos, mexicanos, franceses y estadounidense, entre otros.

Según la Asociación Venezolana de Productores de Cemento (AVPC), en el año 2001 las ventas nacionales de cemento registraron un crecimiento de 6,65% con relación al 2000. En el primer semestre de 2001 el crecimiento fue de 8,52%, disminuyen-

do a 4,90% en el segundo semestre. Las variaciones negativas se observaron en los meses de febrero, noviembre y diciembre. La recuperación de las ventas nacionales se inició en el año 2000 con un incremento de 1,92%, después de haber registrado en 1999 una fuerte caída de -19,16% con relación a 1998. Las ventas nacionales de 2001 se ubican en 87,86% con relación a 1998; es decir, que para alcanzar el nivel de 1998 -el más alto registrado en el período observado- aún debería incrementarse en 12,17%. En 1999 las exportaciones registran un fuerte incremento de 28,83%, para luego registrar sendos decrecimientos de -10,05% en 2000 y -13,0% en 2001. Las ventas totales como producto del crecimiento de las ventas nacionales y el decrecimiento de las ventas de exportación muestran un decrecimiento de -3,67% en el año 2001.

En Venezuela se fabrican los siguientes tipos de cementos:

§ Tipo I: para ser usado en las construcciones de concreto. El cemento Portland blanco pertenece a este tipo.

§ Tipo II: para ser usado en obras expuestas a los sulfatos o donde se requiera un calor de hidratación moderado.

§ Tipo III: para ser usado en construcciones que requieran altas resistencias iniciales.

5.2.2 Ubicación de las plantas de cemento en Venezuela

5.2.2.1 Sierra de Perijá

Noventa por ciento de las calizas que afloran en la Sierra de Perijá corresponden al llamado Grupo Cogollo, de edad cretácea. Este grupo litológico está constituido por tres formaciones: Apón, Lisure y Maraca. De éstas, la Formación Apón (la más antigua) posee los mejores desarrollos calcáreos tanto en volumen como en pureza (porcentaje de CaCO₃). Las formaciones más jóvenes, Lisure y Maraca, alternan capas -a veces potentes- de arenisca y lutitas, lo cual las hace menos atractivas para la industria de cemento.

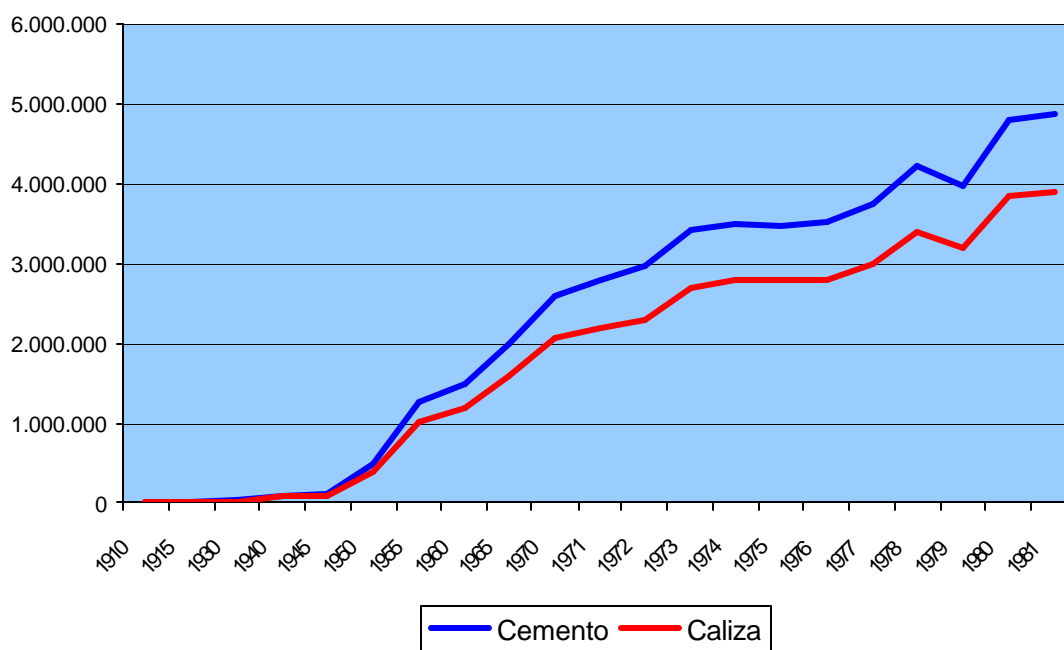
La formación La Luna, del Cretáceo Superior, posee desarrollos de roca caliza intercaladas con lutitas negras y lentes de chert. Los espesores son menos espectaculares que los de la Formación Apón; se presentan más bien discontinuos lateralmente. Con frecuencia las rocas de La Luna presentan contenidos variados de hidrocarburos, esto puede ser nocivo para el proceso de fabricación por cuanto eleva la temperatura del horno. La formación Guasare, más joven que las anteriores (Paleoceno), localmente presenta espesores considerables de caliza; pero es una caliza impura, a veces arenácea o arcillosa (margosa). Estas rocas en muchos sitios están tectonizadas y como consecuencia de ello enriquecidas en silicio.

En resumen, en la Sierra de Perijá las calizas pertenecientes a la Formación Apón presentan las mejores características, tanto volumétricas como físicoquímicas para su uso como materia prima en la industria de cemento. De estas rocas, las que afloran en el

Cuadro 17. Composición química de los componentes correctores en la fabricación de cemento

Componente %	Diatomeas	Bauxita	Cenizas de pirita	Mineral de hierro	Polvo de tragante de h alto	Cenizas volantes	Arena
Pérdida al rojo	6,2	15-20	-	5-12	5-15	0,2-4,0	0,2
SiO ₂	77,0	16-22	6,6-25,0	20-25	11,22	26-36	99,2
Al ₂ O ₃	9,6	44-58	2-16	3-9	5-14	6,5-9,5	-
Fe ₂ O ₃		10,16	62-87	45-60	54-69	5-8	0,5
CaO	0,3	2-4	0,7-0,9	0,5-2,5	1-9	42-50	-
HgO	0,9	0,2-1,0	0,2-2	1,5-7	0,5-2,5	3-4	-
SO ₃	-	-	0,8-8	0,3-0,6	0,2-2,5	2,5-3	-
Na ₂ O	-	-	-	-	-	0,8-3,5	-
K ₂ O	1,5	-	-	-	-	-	-

Cuadro 19. Producción de cemento y consumo de rocas calizas (1910–1981, en toneladas métricas, m³)



frente de montaña son accesibles a través de carreteras asfaltadas o de tierra en buen estado. En cambio el conjunto de rocas que aflora en la cuenca media del río Guasare (al Norte) y el valle de Motilonia (al Sur) es de difícil acceso. En la isla de Toas hay buenos desarrollos de calizas de la Formación Apón. En el Cuadro 26 se muestran los análisis químicos de muestras de calizas tomadas en diferentes sitios de la Sierra de Perijá, provenientes de las formaciones Apón, La Luna (Cretáceo) y Guasare (Paleoceno).

En esta zona funcionan actualmente dos plantas de cemento que se nutren de las calizas de la Formación Apón.

5.2.2.2 Cordillera de los Andes

Las calizas de la Cordillera de los Andes están relacionadas genéticamente a las de la Sierra de Perijá. Dentro de esta zona se pueden diferenciar dos subzonas: la de Táchira y la de Lara-Trujillo. La diferencia entre las dos subzonas, para nuestro interés, estriba fundamentalmente en que mientras en la subzona de Táchira es posible separar las unidades areniscas-calizas, lutita-caliza y las calizas masivas dentro del Grupo Cogollo, en la subzona Trujillo-Lara esta separación es más difícil y por ello en el mapa de áreas calcáreas en esta subzona mucho de lo señalado como caliza masiva puede incluir espesores arenosos y lutíticos

Cuadro 20. Ventas nacionales de cemento (1998–2001, clasificadas por mes y trimestre)

Meses	Ventas nacionales de cemento (toneladas métricas, m ³)				Variación puntual (%)		
	1998	1999	2000	2001	1999/1998	2000/1999	2001/2000
Enero	335.224	283.922	268.964	304.917	-15,30	-5,27	13,37
Febrero	376.990	329.231	326.074	314.887	-12,67	-0,96	-3,43
Marzo	458.462	384.540	353.779	379.115	-16,12	-8,00	7,16
Abril	394.652	315.161	279.047	312.921	-20,14	-11,46	12,14
Mayo	415.336	330.031	333.218	383.241	-20,54	-0,97	15,01
Junio	406.284	327.320	314.544	340.351	-19,44	-3,90	8,20
Julio	424.283	319.693	307.584	326.733	-24,65	-3,79	6,23
Agosto	406.784	337.800	357.981	375.190	-16,96	-5,97	4,81
Septiembre	398.532	299.891	305.123	337.670	-24,75	-1,74	10,67
Octubre	388.665	280.003	326.870	374.094	-27,96	16,74	14,45
Noviembre	396.948	336.252	387.124	382.968	-15,29	15,15	-1,09
Diciembre	300.290	257.482	313.861	299.867	14,26	21,90	-4,46
Total del año	4.702.455	3.801.326	3.874.239	4.131.954	-19,16	1,92	6,65
1er. Trimestre	1.170.676	997.693	948.817	998.919	-14,78	-4,90	5,28
2do. Trimestre	1.216.272	972.512	926.809	1.036.513	-20,04	-4,70	11,84
1er. Semestre	2.386.948	1.970.205	1.875.626	2.035.432	-17,46	-4,80	8,52
3er. Trimestre	1.229.604	957.384	970.688	1.039.593	-22,14	1,39	7,10
4to. Trimestre	1.085.903	873.737	1.027.925	1.056.929	-19,54	17,65	2,82
2do. semestre	2.315.507	1.831.121	1.998.613	2.096.522	-20,92	9,15	4,90

Cuadro 21. Exportaciones de cemento (1998–2001, clasificadas por mes y trimestre)

Meses	Exportación de cemento (toneladas métricas, m ³)				Variación puntual (%)		
	1998	1999	2000	2001	1999/1998	2000/1999	2001/2000
Enero	346.722	271.982	201.985	261.834	-21,56	-25,74	29,63
Febrero	253.604	301.111	303.637	261.631	18,73	0,84	-13,83
Marzo	204.372	361.504	343.455	209.610	76,89	-4,99	-38,97
Abril	253.338	376.747	273.480	301.951	48,71	-27,41	10,41
Mayo	249.723	303.796	316.502	275.796	21,65	4,18	-12,86
Junio	233.579	417.700	351.326	275.909	78,83	-15,89	-21,47
Julio	313.526	334.894	324.784	273.867	6,82	-3,02	-15,68
Agosto	306.402	334.382	375.736	268.574	9,13	12,37	-28,52
Septiembre	207.333	379.749	301.728	274.495	83,16	-20,55	-9,03
Octubre	308.349	347.039	271.204	223.187	12,55	-21,85	-17,71
Noviembre	286.144	290.709	354.611	291.510	1,60	21,98	-17,79
Diciembre	204.128	354.288	245.835	267.411	73,56	-30,61	-8,78
Total Año	3.167.220	4.073.901	3.664.283	3.185.775	28,63	-10,05	-13,06
1er. Trimestre	804.698	934.597	849.077	733.075	16,14	-9,15	-13,66
2° Trimestre	736.640	1.098.243	941.308	853.656	49,09	-14,29	-9,31
1er. Semestre	1.541.338	2.032.840	1.790.385	1.586.731	31,89	-11,93	-11,37
3er. Trimestre	827.261	1.049.025	1.002.248	816.936	26,81	-4,46	-18,49
4° Trimestre	798.621	992.036	871.650	782.108	24,22	-12,14	-10,27
2° Semestre	1.625.882	2.041.061	1.873.898	1.599.044	25,54	-8,19	-14,67

Cuadro 22. Total de ventas nacionales y exportaciones (1998–2001, clasificadas por mes y trimestre)

Meses	Ventas totales (toneladas métricas, m ³)				Variación puntual (%)		
	1998	1999	2000	2001	1999/1998	2000/1999	2001/2000
Enero	681.946	555.904	470.949	566.751	-18,48	-15,28	20,34
Febrero	630.594	630.342	629.711	576.518	-0,04	-0,10	-8,45
Marzo	662.834	746.044	697.234	588.725	12,55	-6,54	-15,56
Abril	647.990	691.908	552.527	614.872	6,78	-20,14	11,28
Mayo	665.059	633.827	649.720	659.037	-4,70	2,51	1,43
Junio	639.863	745.020	665.870	616.260	16,43	-10,62	-7,45
Julio	737.809	654.587	632.368	600.600	-11,28	-3,39	-5,02
Agosto	713.186	672.182	733.717	643.764	-5,75	9,15	-12,26
Septiembre	605.870	679.640	606.851	612.165	12,18	-10,71	0,88
Octubre	697.014	627.042	598.074	597.281	-10,04	-4,62	-0,13
Noviembre	683.092	626.961	741.805	674.478	-8,22	18,32	-9,08
Diciembre	504.418	611.770	559.696	567.278	21,28	-8,51	1,35
Total del año	7.869.675	7.875.227	7.538.522	7.317.729	0,07	-4,28	-2,93
1er. Trimestre	1.975.374	1.932.290	1.797.894	1.731.994	-2,18	-6,96	-3,67
2° Trimestre	1.952.912	2.070.755	1.868.117	1.890.169	6,03	-9,79	1,18
1er. Semestre	3.928.286	4.003.045	3.666.011	3.622.163	1,90	-8,42	-1,20
3er. Trimestre	2.056.865	2.006.409	1.972.936	1.856.529	-2,45	-1,67	-5,90
4° Trimestre	2.016.070	1.978.864	1.938.642	1.853.210	-1,85	-2,03	-4,41
2° Semestre	4.072.935	3.985.273	3.911.578	3.709.739	-2,15	-1,85	-5,16

Cuadro 23. Análisis químico de calizas de distintas formaciones en la zona de Perijá (todos los valores expresados en porcentaje, %)

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	PF	Total
Cantera Rosarito (Grupo Cogollo)	52,15	5,47	0,66	0,14	0,15	41,40	99,96
Oeste de la Villa (F. Apón)	53,0	2,26	2,50	Trazas		42,15	99,99
Oda. La Luna (F. Apón)	46,3	8,8	1,1	1,2		42,0	99,6
Arimpia-La Luna (F. Lisure)	39,90	24,45	0,75	0,45	2,15	32,65	99,85
Oeste Tule (F. Guasare)	42,40	22,50	1,90	0,20	trazas	32,90	99,99
Hacienda Reina (F. La Luna)	48,8	1,8	1,75	0,45	3,20	42,15	99,15
Formación Apón							
Los Manantiales *	53,20	2,58	1,10	0,33	trazas	42,05	99,26
Hacienda La Luna **	51,10	3,20	1,70	0,24	0,61	40,42	99,26
Promedio de perforaciones	52,65	6,34	0,35	0,65	0,81	38,78	99,59
Costa oriental del lago							
Oeste Cabimas (F. Churugarita)	50,30	2,90	0,90	0,20	1,00	43,20	98,50
Oeste Bachaquero	53,10	1,90	0,45	0,30	1,65	42,55	99,95

intercalados. De cualquier manera, en esta subzona es posible reconocer grandes áreas de afloramientos de caliza de excelente calidad, en el espacio comprendido por las ciudades de Trujillo, El Tocuyo y Carora. En el Cuadro 27 se presentan los resultados analíticos de muestras superficiales de caliza y núcleos de perforación. Se nota un aumento de los valores de sílice a profundidad.

Las calizas de la Formación Capacho (Cretáceo) tienen altos contenidos carbónicos y afloran en grandes volúmenes. Existen igualmente áreas más pequeñas, donde afloran calizas más antiguas (Formación Palmarito) en diferentes zonas de los Andes (Sur de Trujillo y límites de Mérida y Táchira), que por su aspecto masivo y pureza pueden ser buena materia prima.

Cuadro 25. Análisis químico de calizas de la Formación Capacho (todos los valores expresados en porcentaje, %)

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	PF
<i>Formación Capacho</i>						
Estado Táchira	54,46		0,22	0,22	trazas	43,48
Estado Táchira	51,62		0,99	0,12	trazas	41,08
Estado Mérida	53,45	1,82			0,96	43,14
Estado Trujillo	51,59	3,42	2,14		0,80	41,50

Cuadro 26. Comparación entre calizas de la región Carora-Trujillo y la Formación Apón

	Región de Carora-Trujillo (promedio 50m superficiales)	Formación Apón (promedio 30 perforaciones)
CaO	51,40	45,06
SiO ₂	1,20	12,51
Al ₂ O ₃	0,18	3,21
Fe ₂ O ₃	0,12	2,81
MgO	0,40	0,50
NaO ₂		0,02
K ₂ O		0,03
ClO		0,10
PF		34,55

Además de las áreas de predominio de caliza de buena calidad para las industrias de cemento, cal y cal agrícola existen rocas calcáreas en los estados Tachira y Mérida con concentraciones fosfáticas que las hacen atractivas para la producción de cal agrícola fosfática. En la zona de los Andes existen actualmente en producción dos plantas de cemento.

5.2.2.3 Cuenca de Falcón

La existencia de calizas en Falcón está relacionada principalmente al desarrollo de arrecifes durante la evolución geológica de la cuenca. Así, existen dos desarrollos importantes: uno al Norte, que corresponde a lo que es hoy en día la Sierra de San Luis y el área de Cumarebo, y otro al Sur, paralelo al primero, que es la franja calcárea de Churuguara y que se extiende hacia el este, hasta las inmediaciones de Tucacas.

De todas las calizas de Falcón, las de mejor calidad y mayor volumen son las pertenecientes a las formaciones San Luis y Churuguara. Son calizas arrecifales, densas, con altos porcentajes de carbonato de calcio.

Las calizas de la Formación Capadare, en la parte oriental de Falcón, desarrollan grandes espesores, pero su alto contenido de fósforo y magnesio las hacen indeseables para la industria del cemento. En el clínker, el límite permisible de P₂O₅ y el producto final el valor máximo permisible para el MgO es de 5,2%. En el Cuadro 31 se señala el resultado de los análisis químicos de muestras de rocas de ésta unidad litológica; se destaca que los valores de esos dos elementos están muy por encima de los límites permitidos. Sin embargo, por esta misma razón, estas calizas son altamente deseables para la producción de cal agrícola fosfatada.

Dos fábricas de cemento están localizadas en la zona de Falcón.

5.2.2.4 Cordillera de la Costa

Las calizas que afloran en la Cordillera de la Costa (desde Barquisimeto hasta Cabo Codera) son en general calizas metamorizadas (marmóreas o mármoles propiamente) intercaladas con esquistos cuarzo-feldespáticos-micáceos en la parte central de la cordillera o bloques alóctonos en el extremo occidental, específicamente en el área de Barquisimeto. Estas rocas presentan las ventajas e inconvenientes que se detallan a continuación. En el área de Barquisimeto, son típicos los grandes bloques de caliza (1–20 km) embebidos en rocas lutáceas y areniscas. En general estas calizas son arcillosas (margas) y, por ser bloques, la reserva como materias primas es a veces limitada. En todo caso es conveniente el estudio geológico de detalle en cada localidad.

Las calizas que afloran en la parte central de la Cordillera de la Costa pertenecen, en su mayoría, a unidades litológicas metamorizadas y generalmente se presentan intercaladas con esquistos, gneises y rocas volcánicas. Son desarrollos calcáreos de espesores delgados, con continuidad lateral impredecible. Son rocas de buena calidad pero en capas delgadas a laminales, generalmente lenticulares, aunque localmente pueden desarrollar engrosamientos (bolsones) considerables. Favorablemente, el metamorfismo ha producido recristalización y enriquecimiento de carbonato de calcio. El enriquecimiento local en sulfuros condiciona el uso de estas calizas como materia primera para cemento.

Dentro de esta zona, tan compleja geológicamente y de tanta extensión, es posible sin embargo diferenciar las distintas unidades litológicas que contienen importantes desarrollos calcáreos. Así, en la parte más occidental de esta zona (estados Lara, Falcón, Yaracay y Portuguesa) afloran rocas calcáreas de las formaciones Nirgua, Carorita y Mamey. En la parte central de la zona predominan las formaciones Antimano, Las Mercedes y las Brisas del Grupo Caracas, con sus típicos desarrollos de caliza cristalina formado depósitos lenticulares, intercalados con otras rocas metamórficas, e incluyendo mármoles grafitosos.

Con litología semejante afloran las formaciones Tucutunemo y Paracotos en los estados Aragua, Miranda, Cojedes y Carabobo. Finalmente constituyen interesantes depósitos, aunque de extensiones limitadas, los miembros calcáreos de la Formación Guárico, que se destacan en las estribaciones meridionales de la Serranía del Interior en el estado Guárico.

Cuadro 27. Análisis químico de calizas de la zona de Falcón (todos los valores expresados en porcentaje, %)

	Formación San Luis				Formación Capadare			
CaO	48,21	49,66	45,33	90,61	48,33	53,80	49,12	44,80
SiO ₂	3,06	0,98	2,06	1,01	2,41	1,94	0,58	1,56
Al ₂ O ₃	0,08	0,10	0,09	0,30	0,12	0,12		
Fe ₂ O ₃	1,06	0,98	0,92	0,46	1,08	1,04	0,39	0,40
MgO	0,96	1,01	0,98	0,98	1,20	trazas	trazas	trazas
Na ₂ O	0,12	0,21				PF	43,48	47,17

PF: Pérdida al Fuego.

Cuadro 29. Análisis químico de calizas de distintas formaciones en la zona la Cordillera de la Costa (todos los valores expresados en porcentaje, %)

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CO ₂	PF
Sanare (F. Agua Blanca)									
	50,92	9,55		2,13	trazas				39,20
	55,12	-							
	54,86	-							
Guatire (F. Las Mercedes)									
	49,83	8,03	0,78	0,64	0,48	0,04	0,06		40,09
	49,83	7,19	1,20	0,85	0,55	0,04	0,06		40,26
	49,62	6,48	1,13	0,82	0,58	0,06	0,05		40,45
	52,76	3,33	0,72	0,55	0,47	0,06	0,05		42,05
Tinaquillo (Cantera El Cocuy)									
	52	3,20	0,35		2,50	0,15	0,02		41,80
	44,48	18,01	0,21		trazas				35,67
Valencia (edo. Carabobo)									
	50,10	3,52	0,33		1,56				41,99
	53,10	2,01	-		trazas				43,03
El Pao (edo. Cojedes)									
	45,47	10,76		5,11	0,38				
	46,62	6,39		4,23	0,40				
	54,00	3,24		trazas	-				
Los Morros (F. Guárico)									
	49,90	4,71		3,45	trazas				40,83
	54,70	0,55		0,80	0,09				43,26
Villa de Cura (F. Tucutunemo)									
	41,86	11,68	0,70	0,11	6,43	0,11	0,17	38,62	38,63

En esta zona las calizas soportan actualmente cuatro plantas de cemento.

5.2.2.5 Cuenca oriental

La mayoría de los depósitos de caliza de esta zona presentan semejanza genética y litológica con los de las zonas de Perijá y Los Andes, aunque en esta zona oriental incluimos cuerpos alargados, lenticulares, de calizas marmóreas y mármoles. Las rocas calcáreas abarcan grandes extensiones en los estados Anzoátegui, Sucre y Monagas, incluidas en las unidades estratigráficas denominadas Formación Barranquín, (principalmente el miembro Morro Blanco), Formación El Cantil, Formación Borracha, Formación Querecual y Formación San Antonio. Estas formaciones desarrollan potentes espesores de caliza masiva, color gris, localmente tipo arrecifales, a veces con intercalaciones menores de capas arenáceas y lutíticas. De todas las formaciones nombradas en el área, El Cantil es una de las más atractivas, en cuanto a pureza y a sus afloramientos espectaculares.

En cantidad mucho menor y presentes como capas delgadas, lenticulares, afloran calizas marmóreas y mármoles en la parte oriental de la Península de Paria. La Formación Patao es representativa de ésta litología en asociación con capas de yeso y anhidrita.

A pesar de los grandes volúmenes de caliza en esta zona, aspectos tectónicos (fallas, pliegues, etc.) y a veces el difícil acceso, condicionan su explotación. Sin embargo existen considerables desarrollos calcáreos de gran pureza, en áreas accesibles, en esta zona. En el estado Sucre existe la única planta de cemento de la zona y en el estado Anzoátegui está ubicada la mayor planta productora de cal agrícola del país.

5.3 Cal

Bajo la denominación cal se incluyen todos los productos de calizas sometidas al proceso de cocción. Estos productos aportan el calcio (Ca) en forma de óxido de calcio (CaO), conocido con el nombre de cal viva, y el hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, conocido con el nombre de cal apagada. La calcinación de caliza (CaCO_3), proceso que se realiza en hornos, libera el anhídrido carbónico (CO_2), dando origen al carbonato de calcio (CaCO_3) por $\text{CaO} + \text{CO}_2$.

La cantidad de cal viva depende de la pureza de la roca caliza utilizada, ésta debe estar en tenores que oscilan de 75% hasta 98% de carbonato de calcio. La cal apagada resulta de tratar la cal viva con agua. La cal se hidrata y da lugar a un polvo que alcanza de 5% a 72% de cal, bajo la forma de hidróxido de calcio.

Para 1978 la producción de cal agrícola alcanzaba 54.600 metros cúbicos y en 1980 llegó a 59.800 metros cúbicos, al registrar un incremento de 9,5% en comparación con dos años atrás. Las empresas que explotan yacimientos de calizas y producen cal agrícola como producto complementario. No existen estadísticas

Cuadro 31. Análisis químico típico de la cal viva comercial

Componente	Cal viva con alto calcio	Cal viva dolomítica
CaO	93,25 – 98,00	55,50 – 57,50
MgO	0,30 – 2,50	37,60 – 40,80
SiO ₂	0,20 – 1,50	0,10 – 1,50
Fe ₂ O ₃	0,10 – 0,40	0,40 – 0,50
Al ₂ O ₃	0,10 – 0,50	0,50
H ₂ O	0,10 – 0,90	0,10 – 0,90
CO ₂	0,40 – 1,50	0,40 – 1,50

Cuadro 32. Granulometría de la cal agrícola

Malla	Porcentaje de retención (%)
20	10
40	11,8
80	18,4
120	8
170	9
200	7
Lama	45,8

Fuente: Cementos Severino, C.A.

Cuadro 33. Composición química de la cal agrícola

Componente	Porcentaje (%)
H ₂ O	0,34
SiO ₂	0,30
R ₂ O ₃	0,70
MgO	0,53k
Na ₂ O	0,014
K ₂ O	0,081
Cl	0,17
SO ₃	0,020
Pérdida al rojo	43,17

sobre la producción de cal y las informaciones recientes son deficientes.

La cal tiene múltiples usos en sus diferentes formas. La cal viva se utiliza en la industria siderúrgica, en el tratamiento de los metales no ferrosos, en el frisado de muros anclados de pared y en la fabricación briquetas y morteros. La cal apagada se usa en el tratamiento de agua potable, en la estabilización de carreteras y corrección de suelos y en la agricultura. La industria de papel utiliza la cal en sus diferentes formas.

En Venezuela, las plantas de mayor importancia que coccionan calizas para formar cal se encuentran en las regiones nor-orien-

tal y de los Andes. Una parte de la producción de cal es utilizada por la industria de la construcción y la otra parte por la agricultura como enmienda para los suelos.

El calcio (Ca) es un macro-nutriente para plantas y animales y para los suelos, así como también un corrector de la textura que condiciona de manera absoluta la eficiencia del complejo arcilloso húmico y arenoso de los mismos. El calcio es el intermediario entre la planta y los elementos nutritivos que ésta toma del suelo. Se comporta como un elemento nutritivo importante que favorece el crecimiento, da resistencia a los tejidos vegetales e influye en la formación y maduración de los frutos y semillas. Para la formación ósea de los animales se requieren cantidades considerables de calcio, por cuanto éste participa en la formación del esqueleto del animal. Un nivel insuficiente de alimentación cálcica o bien una mala asimilación de estos elementos pueden provocar serias enfermedades óseas en el rebaño.

Las necesidades de cal en un suelo dependen de su pH inicial, contenido de Al y Mn, del pH que se desea obtener al final del proceso del encalado, de las posibilidades del suelo para soportar variaciones en su pH, es decir, su poder *buffer* o tapón y del tipo de cultivo. Si el suelo presenta un pH menor a 5 se le debe agregar caliza agrícola al terreno. Cabe destacar que de los métodos conocidos para mejorar el suelo, a excepción de los propios de abono y cultivo, ninguno ha dado mejores resultados que la incorporación de cal al terreno. Dentro de las técnicas blandas de manejo de suelos está la práctica del encalado, la cual por su papel de neutralización de la acidez de corrector del pH y de suplidor de Ca y Mg al terreno, plantas y animales se comporta como un evidente factor de incremento de la productividad.

La cal resulta más activa cuando es mayor su grado de descomposición, el cual depende a su vez, de la granulometría del material. De manera que el módulo de finura está en relación directa con la descomposición: en las calizas empleadas como correctoras de los suelos, el grosor de sus partículas debe estar en función de lo dura y soluble que sea la caliza utilizada. Investigaciones realizadas dan cuenta de que: (1) la efectividad del producto está en relación con el tamaño de partícula lograda en el triturado; (2) mejor será la acción en la medida en que el producto esté bien mezclado con el suelo; (3) la caliza puede incorporarse al suelo en cualquier momento, siempre y cuando se haga con antelación a la siembra; y (4) el tiempo de incorporación al suelo estará dado por el grado, debido a la importancia de éste en la relación del material. El efecto de la caliza agrícola se reduce en el tiempo por las cosechas, las precipitaciones y los fertilizantes empleados.

5.3.1 Materia prima para la fabricación de cal

El proceso de fabricación de la cal es mucho más sencillo que el del cemento y solo comprende la trituración, calcinación e hidratación de la materia prima, que puede ser caliza pura (CaCO_3) o caliza dolomítica ($\text{CaCO}_3 - \text{MgCO}_3$). Igualmente, las exigencias en cuanto a la calidad de la materia prima son mucho menores; además no se requiere combinación de varios materiales, sino que la materia prima es exclusivamente caliza o dolomita.

La pureza de la cal depende de la calidad de las calizas utilizadas y en menor grado de su manufactura. La mayoría de la cal es obtenida a partir de caliza con porcentaje de carbonatos alrededor de 95% y excepcionalmente se emplea caliza con más de 98% de porcentaje de carbonatos. La cal viva con mayor valor de pureza contiene de 94 a 96% de óxido de calcio; sin embargo la mayoría de las especificaciones exigen sólo 90% y para algunos usos pueden tener menos de 90%.

La cal apagada, con un contenido de 74% de óxido de calcio equivale a la cal viva con 100%, ya que la cal apagada contiene 26% de agua combinada químicamente.

El proceso para la fabricación de cal agrícola es mucho más sencillo que el proceso para fabricar cal viva y sólo requiere de la trituración de la caliza hasta una granulometría deseada. La caliza dolomítica es quizás la materia prima ideal, por su aporte combinado de Ca y Mg.

5.3.2 Distribución de áreas calcáreas en Venezuela

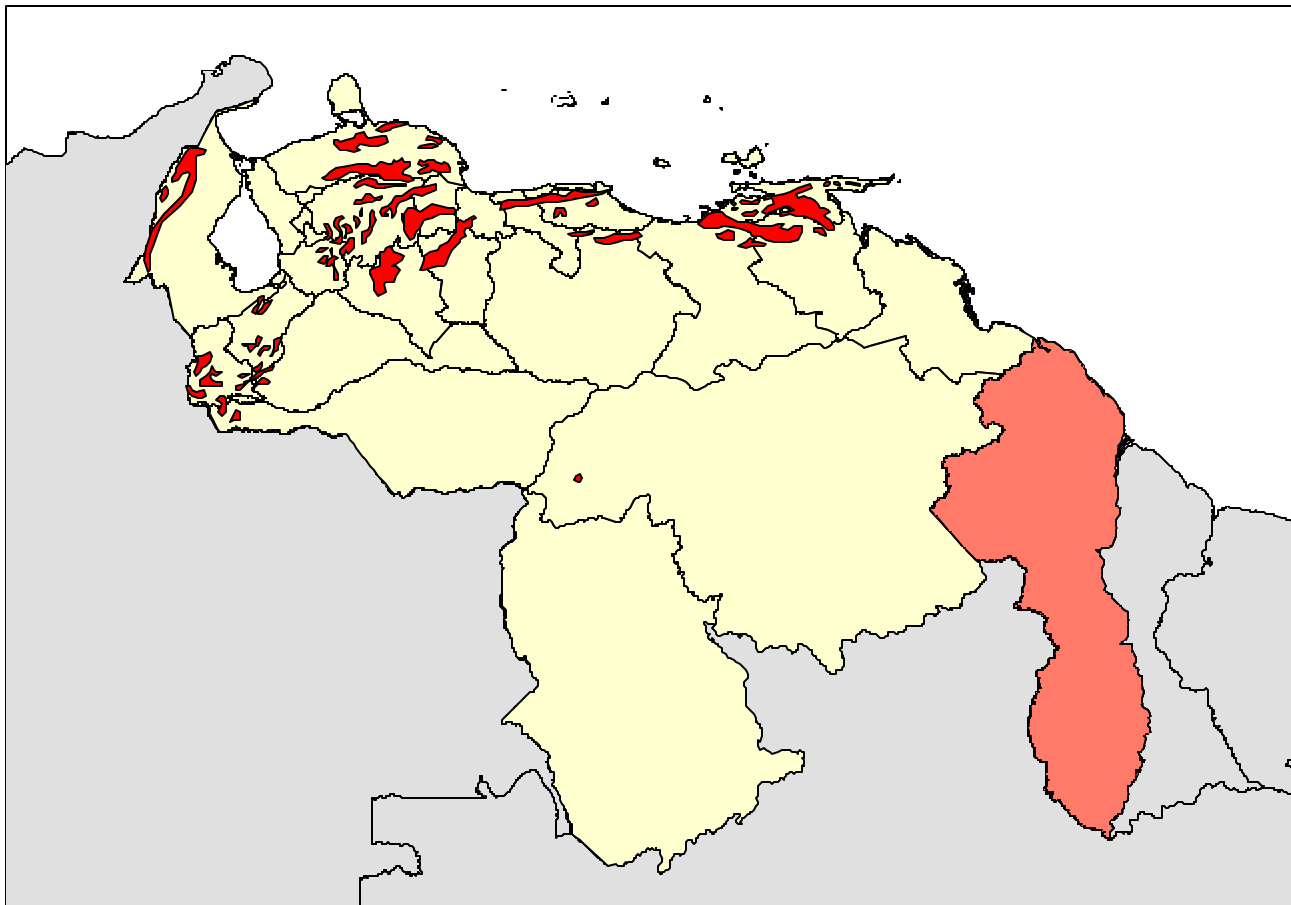
Las rocas calcáreas en Venezuela conforman una granja que en sentido general este-oeste abarca la parte septentrional del país. La mayoría de estas rocas están relacionadas a un evento geológico denominado Trásgresión Cretácica, el cual afectó tanto el extremo oriental como la parte occidental del país. De allí que la mayoría de las unidades litológicas calcáreas que hoy conocemos sean de edad cretácea, a excepción de los desarrollos calcáreos de la región de Falcón, que son más jóvenes (Oligo-Mioceno), y las calizas metamorfozadas alóctonas de la Cordillera de la Costa (cretáceas).

Para efectos prácticos dividiremos el país en cinco grandes regiones calcáreas que de Oeste a Este serían: Sierra de Perijá, Cordillera de los Andes, Cuenca de Falcón, Cordillera de la Costa y Cuenca Oriental. Estas cinco zonas, aunque en general presentan características litológicas y genéticas semejantes, muestran muchas variaciones cuando se les compara en detalle e igualmente hay grandes variantes en cuanto a las características químicas y físicas de las rocas dentro de una misma zona.

En el Mapa 13 se señalan las áreas de afloramientos de rocas calcáreas en Venezuela en las cinco zonas nombradas. Estas rocas las hemos reunido en cinco grupos atendiendo a criterios de homogeneidad litológica y genética y son (1) caliza masiva predominantemente, (2) caliza intercalada con areniscas, (3) calizas intercaladas con lutitas, (4) calizas marmóreas y mármol, y (5) calizas marmóreas intercaladas con esquistos y filitas.

La representatividad de las unidades litológicas en el mapa está condicionada por la escala del mismo (1:500.000). Formaciones señaladas en el mapa como predominantemente masivas puede incluir intercalaciones arenáceas, lutáceas, margosas, etc., diferenciación litológica que es imposible representar en un mapa a esta escala. Sin embargo, es una orientación importante dirigida a señalar los mayores desarrollos calcáreos del país y tratar de hacer una diferenciación preliminar. Con la inclusión de este mapa

Mapa 13. Áreas calcáreas de Venezuela



hemos querido ubicar geográficamente las áreas de afloramientos de calizas más importantes en el país a fin de poder relacionarlas con centros poblacionales importantes, vialidad, servicios, etc.

5.4 Dolomitas

Los yacimientos de dolomitas, que se conocen en Venezuela se encuentran en los estados Bolívar, Falcón, Sucre y Nueva Esparta.

5.4.1 Estado Bolívar

Las rocas dolomíticas ocurren en la Sierra de Imataca, en el Distrito Piar del estado Bolívar, asociadas al complejo metamórfico de Imataca. Los yacimientos están ubicados al Este del Pueblo de Upata, en las serranías de Guacuripia, donde alcanzan los mayores espesores a lo largo de más de veinte kilómetros en las siguientes localidades: Cerro Paja, Cerro Hacha, Cerro Abanico, y San Rafael. Estos yacimientos son explotados por la Corporación Venezolana de Guayana (CVG).

Los análisis de la dolomita de la región indican que están constituidas de la manera siguiente: 20 por ciento de MgO y 80 por ciento de CaO, SiO₂ y Al₂O₃.

Las reservas probables de la región se estiman por encima de los 50 millones de toneladas métricas y las reservas posibles en más de 100 millones de toneladas métricas.

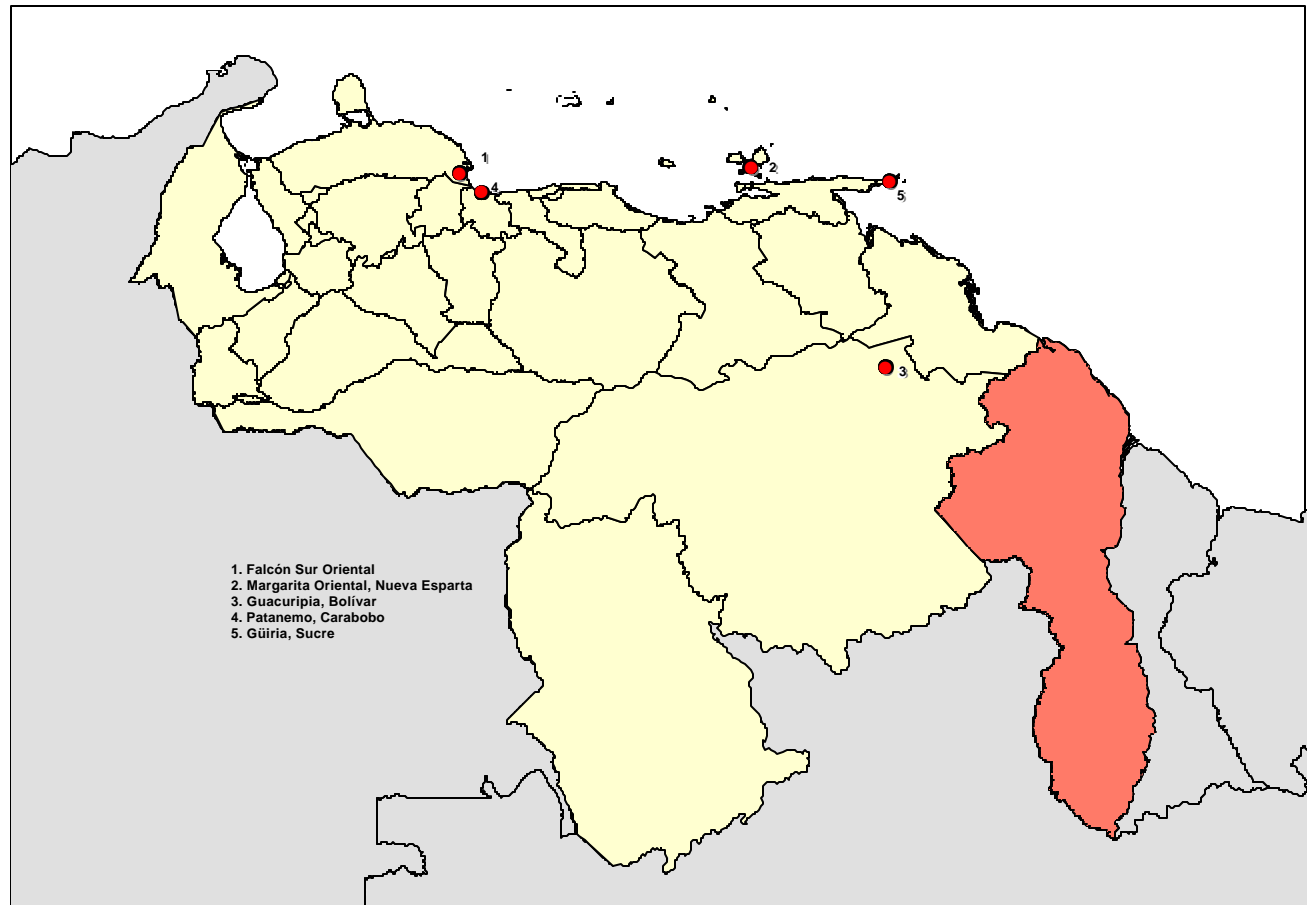
5.4.2 Estado Falcón

En el estado Falcón las dolomitas se encuentran en la Formación Capadare, la cual consiste en calizas, lutitas calcáreas, lentes de arenisca y dolomitas. Las grandes reservas de dolomitas se encuentran en una faja o capa que se extiende por más de 40 kilómetros desde Morrocoy hasta el Cerro Misión, en la vecindad de Riecito. Los espesores de las capas de dolomitas oscilan entre 30 y 100 metros. La dolomita es de color amarillento y bien estratificada. En su mayor extensión, las capas estructuralmente se encuentran en posición horizontal. Según el análisis químico, esta dolomita es muy magnesiana, siendo el contenido de magnesio (MgCO₃) mayor de 30 por ciento.

5.4.3 Estado Sucre

En la sección central de la Península de Paria, en la vecindad de Puerto Macuro, aflora la Formación Patao del Grupo Cariaquito, el cual en esta región consiste en calizas marmóreas y calizas magnesianas o dolomitas. En los niveles de mármoles de la Miembro Patao, la capa inferior es la más dolomitizada. El volumen de estas capas ha sido estimado en 20 millones de toneladas métri-

Mapa 14. Depósitos de dolomitas en Venezuela



cas. Las grandes calizas del Miembro Patao presentan mejores condiciones de explotación. Sus afloramientos se extienden en forma interrumpida desde Patao, al Este, hasta más al Oeste del meridiano de Güiria, con una longitud de 25 kilómetros y un espesor variable entre 150 metros y 200 metros.

Los afloramientos de los Morros de Patao presentan reservas superiores a los 20 millones de metros cúbicos. La caliza tiene el siguiente análisis químico promedio: SiO_2 (5,5%), R_2O_3 (3,0%), CaCO_3 (66,5%), MgCO_3 (25,0%) y P (0,2%).

Los afloramientos de Puerto de Hierro (Cerro de la Antena) muestran reservas de calizas superiores a los 10 millones de metros cúbicos, con el siguiente análisis promedio: SiO_2 (0,8%), R_2O_3 (2,7%), CaCO_3 (83,0%) y MgCO_3 (12,5%).

Hacia el oeste disminuye la proporción de magnesio, hasta un promedio de 7% de MgCO_3 , pero la sílice permanece alta (± 65)

5.4.4 Estado Nueva Esparta

Las dolomitas se encuentran en el Grupo Los Robles, el cual aflora en la Isla de Margarita a unos 20 kilómetros al Oeste de los puertos de Porlamar y Pampatar, ocupando una estrecha faja en dirección Norte-Sur desde el Cerro El Pilar hasta las faldas del Cerro Matasiete. La dolomita se presenta como mármoles unifor-

mes en la parte inferior de la Formación Los Robles. La dolomita se presenta en capas uniformes, masivas blancas y verdes claros, en espesores que sobre pasan los 40 metros.

5.5 Fosfatos

Nada es más importante para la vida como el fosfato. Este elemento es esencial para las funciones energéticas de todos los seres vivos y para la formación de huesos y dientes. Los animales toman fosfato al comer plantas y otros animales; las plantas lo toman del suelo. El uso más importante de los fosfatos por parte del hombre es como fertilizante, aunque también se emplea en grandes cantidades en la industria química.

El fosfato aparece en todas las rocas ígneas y sedimentarias y en las aguas de ríos y mares. La corteza terrestre tiene un contenido promedio de 0,1 a 0,2 por ciento de P_2O_5 . Alrededor de 200 minerales contienen más de uno por ciento de P_2O_5 . La roca ígnea más importante es el fluorapatito ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$), la cual contiene cerca de 42% de P_2O_5 y 3,8% de F_2 . En las rocas sedimentarias, el mineral más importante es la francolita, un fluorapatito carbonatado que contiene más de 2% de CO_2 . Ambos son de la familia de los apatitos.

Aunque el fosfato ocurre en casi todas las rocas, sólo algunos depósitos son menas ya que de alguna manera hubo una concentración del mineral fosfático. Ocasionalmente el tenor natural es suficiente y puede utilizarse directamente luego de ser extraído del yacimiento. En otros casos, el tenor mineral es bajo y la compañía de ciertas impurezas no deseables hacen que tenga que beneficiarse en plantas específicas.

5.5.1 Ocurrencia de fosfatos en Venezuela

En Venezuela, aparte de unas pocas miles de toneladas de guano provenientes de las islas, el fosfato ocurre solamente como roca fosfática. De esta forma se encuentra en los sedimentos del Cretáceo Superior en varios estados de la parte occidental del país, los cuales están asociados a los Andes venezolanos, y también en rocas del Mioceno Inferior en el Norte de Aroa, estado Falcón, donde la explotación de la mina Riecito, iniciada en 1956, suministraría casi todo el material que el país requiere. Ningún fosfato ígneo ha sido reportado. Según un decreto oficial promulgado en 1965, todos los fosfatos existentes en el territorio nacional fueron declarados reservas nacionales.

Las ocurrencias cretáceas en Venezuela occidental están casi todas desarrolladas en sedimentos de edad senoniense, en el flanco del miogeosinclinal bordeando los bordes noroccidental y norte del Escudo Guayana: Sin embargo la mayoría de las ocurrencias reportadas son más de edad Coniaciense que Santoniense. Casi todas las ocurrencias del fosfato Cretáceo en Venezuela están en capas no económicas cuyo espesor varía de 5 a 25 centímetros, y sólo una exploración más detallada puede revelar secciones en las cuales estas capas están mejor desarrolladas, tal es el caso del depósito La Molina, cerca de Lobatera.

Otras ocurrencias reportadas son:

5.5.1.1 Miembro La Morita, estado Táchira

Intercalaciones calcáreas con fosfato pelletal y restos de peces ocurren con el gris oscuro parcialmente calcáreo Miembro La Morita, en afloramientos de la sección tipo en Agua Fría, 36 kilómetros al Noroeste de La Morita. El Miembro La Morita entrelaza con la Formación La Luna, descansa sobre la Turoniense Formación Escandalosa y es suprayacente a la Formación Quevedo.

5.5.1.2 Chert Táchira

Capas de fosfato pelletal de 5 a 25 centímetros de espesor, a veces silíceo, ocurren en el chert negro. Arcillas endurecidas silíceas y lenticulares, calizas silíceas de color gris oscuro con sílice concrecionaria son características del Chert Táchira. La base está correlacionada con el Miembro Timotes de la Formación La Luna, entrelaza con la Formación Quevedo hacia el Este y es suprayacente a la Formación Colón.

5.5.1.3 Formación Colón, estado Mérida

(Santoniense). La zona glauconítica en la base de la Formación Colón mostró ser fosfática donde apareció expuesta en afloramientos a lo largo de la carretera Ejido-La Azulita.

5.5.1.4 Miembro Timotes, Formación La Luna, estado Trujillo

Margas glauconíticas con fosfato pelletales ocurren en el tope del Municipio Timotes de la Formación La Luna.

5.5.1.5 Formación Quevedo, estado Barinas

La Formación Quevedo está correlacionada con el Chert Táchira. La sección tipo se encuentra 2 km al Este-Noroeste de la quebrada Quevedo y unos 30 km al Noroeste de Santa Bárbara de Barinas. Su litología incluye además intercalaciones de areniscas gruesamente estratificadas en su parte media, lutitas negras, calizas fosfáticas y capas de flanita que constituyen hasta 40% de la sección. De las lutitas silíceas aparecen abundantes restos de peces de color marrón, ostracodos y radiolarios.

5.5.1.6 Mina Riecito, estado Falcón

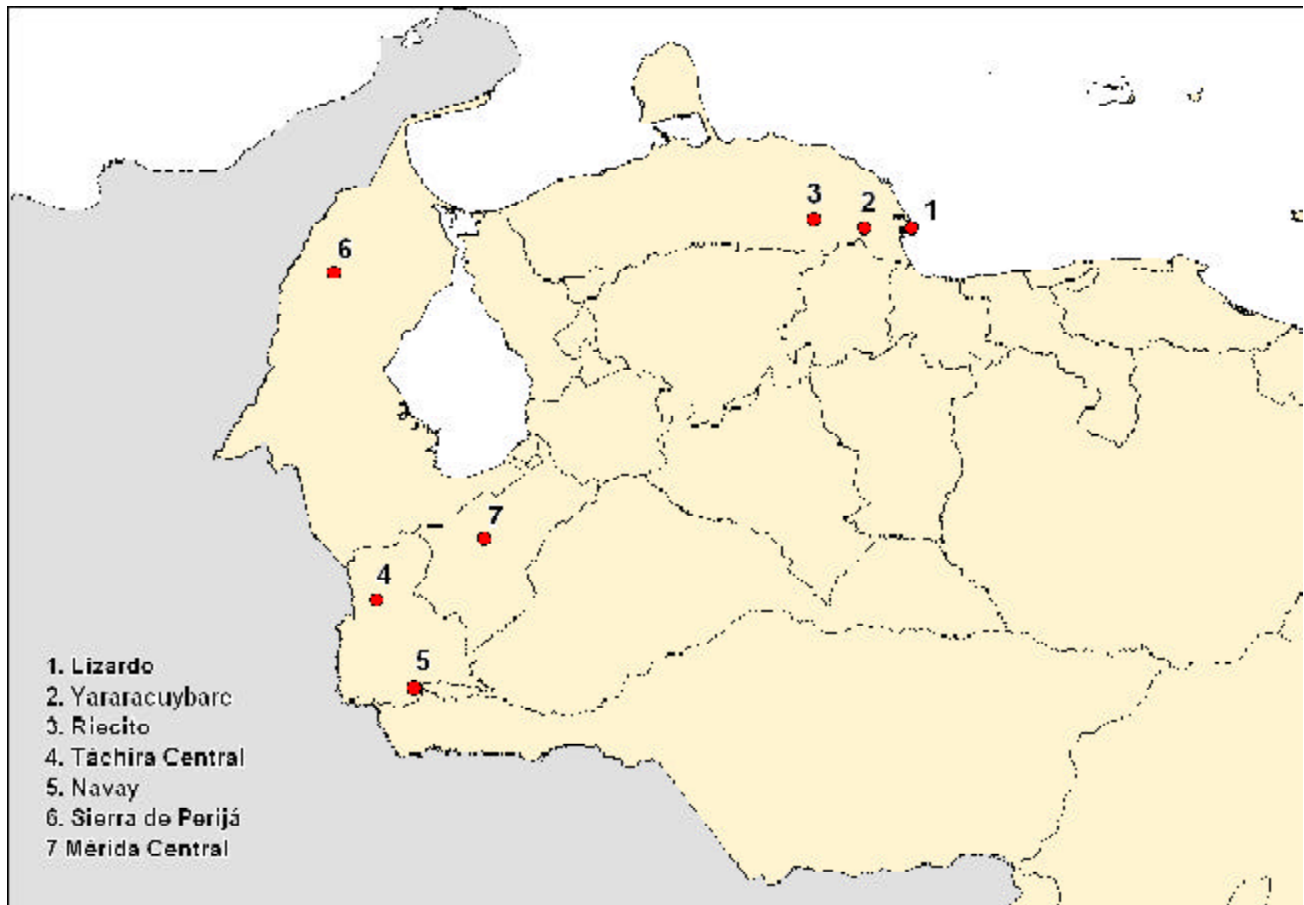
La Mina Riecito está localizada en el cerro del mismo nombre, aproximadamente a 4 km al suroeste del poblado de Riecito, en la Municipalidad de Jacura, Departamento Acosta, estado Falcón. La mina está conectada por carretera con el Complejo de Morón, aproximadamente a 250 km de la mina. Las capas de fosfato ocurren hacia la base de la caliza Riecito, la cual es una serie de margas, toraminíferos y bandas arcillosas. Su edad corresponde al Mioceno Inferior y considera esté relacionada con el miembro de arcillas de uso de la Formación Pozón.

En el cerro Riecito, las rocas de esta formación han sido plegadas en un anticlinal asimétrico o un eje largo alineado aproximadamente Norte-Oeste/Sur-Este, y son cruzadas por una falla transversal la cual divide al depósito en dos porciones desiguales. Los dos horizontales fosfáticos, A y B, ocurren en tres distintas áreas de afloramiento: una, de 129 kilómetros cuadrados de extensión, hacia el Este de la falla, y las otras dos, de 34 y 20 kilómetros cuadrados respectivamente hacia el Oeste de la falla. Hacia el Este de la falla, aflora solamente el horizonte A. Ambas capas de fosfato están compuestas de una brecha fosfática silícea de colores gris claro o marrón oscuro, dura, masiva y compacta, consistente de cristales angulares de cuarzo en una matriz amorfa de calofana. El fosfato es de origen secundario. El horizonte A tiene aproximadamente 156 metros de espesor y un contenido promedio de 27% de P_2O_5 más que el horizonte B, que contiene un promedio de 22% de P_2O_5 y tiene cinco metros de espesor promedio.

5.5.2 Depósitos de rocas fosfáticas en Venezuela

En Venezuela se han localizado hasta el momento tres distritos principales de rocas fosfáticas, a saber: flanco oriental de la Sierra de Perijá, zona meridional del estado Táchira y Falcón suroriental. De estos tres distritos los de mayor importancia son

Mapa 11. Principales áreas de Rocas Fosfáticas de Venezuela.



los de Falcón y Táchira. Se han ubicado otras manifestaciones en Mérida, Anzoátegui y Sucre, pero hasta el momento se desconocen los parámetros relacionados con calidad y extensión.

Los depósitos fosfáticos del estado Zulia se asocian exclusivamente con la Formación La Luna. Constituye capas muy delgadas de color oscuro con un espesor que raramente sobrepasa los 1,50 metros. Afloran desde el Norte de Machiques hasta el Noreste de la Villa del Rosario. El contenido de P_2O_5 es muy bajo, variando entre 3% y 10%. Se estima que la zona puede contener más de 10 millones de toneladas métricas de rocas fosfática. Aparentemente depósitos mayores y de mejor calidad pueden ubicarse hacia el Oeste de la Sierra de Perijá, donde se han localizado extensas anomalías radioactivas asociadas con niveles fosfáticos de la Formación La Luna.

El estado Táchira posee dos áreas fosfáticas muy diferentes entre sí. Una aflora al Suroeste del estado a lo largo de la Faja Lobatera–El Corozo–San Cristóbal. Los depósitos asociados con esta zona se ubican estratigráficamente con la Formación La Luna. Constituyen capas delgadas, muy oscuras, replegadas y falladas con un espesor o promedio de 1,10 mts. El contenido de P_2O_5 varía entre 8% y 20% y sus reservas son muy bajas en comparación con el total regional. La minería debe ser subterránea y presenta

problemas continuos debidos a la tecnología de la zona. En la actualidad los depósitos se explotan en la zona de Lobatera.

La otra zona fosfática del Táchira se ubica al Sureste del estado, comprendida entre San Joaquín de Navay y Abejales, muy cerca de la frontera con el estado Barinas. Los depósitos están constituidos por capas gruesas, algunas veces sobre los 10 metros, de areniscas fosfáticas. Su color varía entre el blanco amarillento y el blanco grisáceo. No presentan una alta tectónica y pueden ser explotados a cielo abierto. El porcentaje de P_2O_5 varía entre 10 y 25 por ciento.

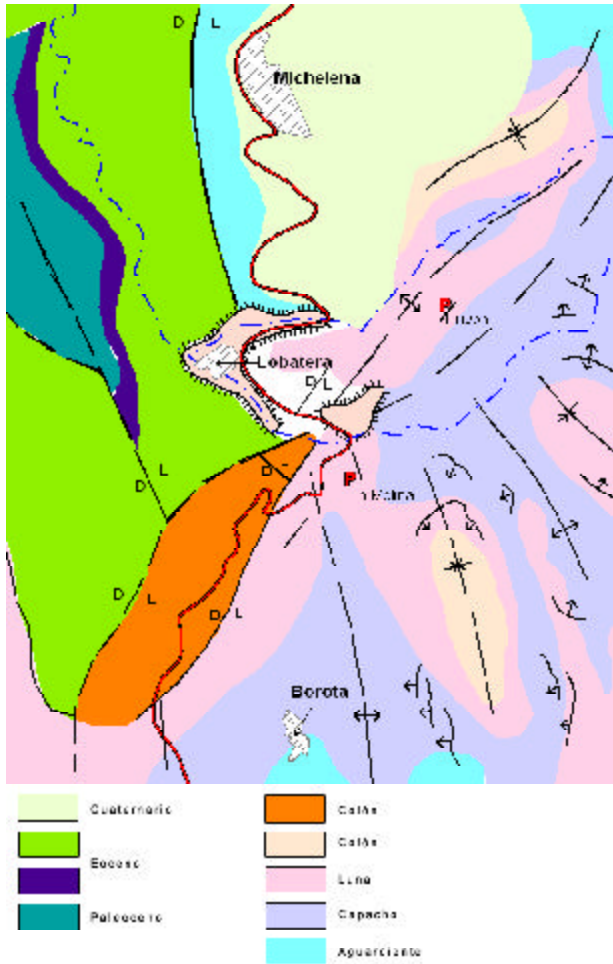
Mapa 16. Croquis geológico del estado Táchira

Leyenda:

	Cuaternario	Cretáceo
Eoceno		Triásico
Cretáceo	Jurásico	
		Igneas–metamórficas

Fuente: V.M. López, 1982.

Mapa 17. Croquis geológico de Lobatera, estado Táchira



Fuente: V.M. López, 1982.

Se estima que las reservas de rocas fosfáticas del estado Falcón son las más importantes del país. Se asocian con la Formación Capadare, una extensa unidad del terciario que aflora a lo largo de Falcón suroriental. Los depósitos constituyen capas lenticulares con un espesor que varían entre dos y doce metros. Concentraciones económicas han sido ubicadas en Lizardo, Yaracuybare y Riecito. La mena contiene un porcentaje de P_2O_5 que varía entre 10% y 30%. Se estima que el distrito de rocas fosfáticas de Falcón suroriental guarda más de 50 millones de roca fosfática.

Los yacimientos de fosfato en el estado Falcón se encuentran en la Formación Riecito, al Sureste del estado, en forma de una ancha faja que se extienden de Oeste a Este desde el Cerro Riecito a la ensenada de Chichiriviche, como capas gruesas fosfáticas intercaladas en tres capas de calizas arrecifales y dolomíticas. Los yacimientos conocidos en la región son la Formación Riecito y el yacimiento de Lizardo.

Mapa 18. Croquis de localización de los yacimientos de fosfato Riecito y Lizardo



La Formación Riecito consiste en calizas fosilíferas y margas. La roca de la zona donde ocurre el yacimiento fosfático no es homogénea, es lenticular, de un espesor que alcanza hasta 20 metros, siendo 18 metros el espesor medio. Las reservas de rocas fosfáticas probadas para 1974 alcanzan los 21 millones de toneladas métricas. La composición de la roca fosfática varía entre 23 y 27 por ciento de P_2O_5 , 17 y 3 por ciento de SiO_2 , 5 y 3 por ciento de óxidos combinados de hierro y alumina y 2 por ciento de flúor. El método de explotación utilizado ha sido el banco a cielo abierto.

El yacimiento de Lizardo está ubicado en el cerro de Chichiriviche, Distrito Silva, Municipio Tucacas del estado Falcón, a unos 50 km al este del yacimiento de Riecito. El yacimiento se encuentra dentro del Parque Nacional Morrocoy. El yacimiento de fosfato forma parte de la Formación Capadare (Mioceno Superior) asociado a calizas, dolomitas y arcillas, presentando niveles de fosfatos de calcio a profundidad y de fosfato de aluminio en la superficie. Estructuralmente el yacimiento de Lizardo está localizado en el flanco norte del anticlinal de Chichiriviche.

Las reservas del yacimiento de Lizardo se han estimado en casi 18,6 millones de toneladas de rocas fosfáticas de una superficie de 75 hectáreas exploradas mediante la perforación de 300 sondeos de una profundidad media de 50 metros. Las reservas contienen 20 por ciento de P_2O_5 y 38 por ciento de SiO_2 . Las reservas de fosfato de aluminio son de 3,9 millones de toneladas.

5.6 Yeso

El yeso representa una parte muy importante de la familia de los minerales industriales. Los dos minerales de sulfato de calcio, yeso y anhidrita, ocurren en muchas partes del mundo. La forma deshidratada, el yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), y la forma anhidra, la anhidrita ($CaSO_4$), frecuentemente se encuentran juntos en íntima asociación y aunque los depósitos de yeso son numerosos, los de anhidrita constituyen las reservas más grandes de sulfato de calcio, aunque con menor uso económico. Por esto, la discusión siguiente tratará más que todo del yeso.

Cuadro 37. Volumen de producción de la Formación Riecito (1961–1981, en toneladas métricas, tm)

Año	Roca fosfática	Fosfática molida	Ácido fosfórico
1961	178.000*	14.806	
1962	24.000	3.655	16.443
1963	16.995	15.113	2.463
1964	21.274	14.142	9.233
1965	44.972	34.845	12.670
1966	33.036	35.925	9.901
1967	31.556	14.732	4.900
1968	60.442	95.286	15.499
1969	41.498	32.255	9.511
1970	30.983	20.232	12.733
1971	49.101	25.467	8.177
1972	44.396	49.465	10.952
1973	95.395	31.945	6.708
1974	141.484	50.618	9.914
1975	116.416	99.380	28.835
1976	79.999	41.773	9.904
1977	48.090	96.471	28.647
1978	38.260	57.857	16.879
1979	15.997	29.586	8.027
1980	22.699	31.216	25.615
1981	25.161	29.615	11.061

Nota:

*Almacenadas en las minas y explotadas antes de 1981.

Fuente: Gerencia de Operaciones de Pequiven–Morón.

El sulfato de calcio es uno de los principales constituyentes de los depósitos de evaporitas, los cuales vienen acompañados de impurezas tales como carbonatos de calcio o magnesio, cloruros u otros sulfatos, minerales arcillosos y sílice. El tenor mineral debe estar entre 85% y 95% de yeso puro para ser mena. En algunos casos se usa directamente luego de ser extraída del depósito; en otros se emplea como producto beneficiado. Cabe señalar que el sulfato de calcio constituye la mayor reserva de azufre en el mundo. Así que tanto el yeso como la anhidrita se usan en menor medida para producir ácido sulfúrico u otros componentes de azufre, tal como sulfato de amonio.

El sulfato de calcio se presenta en seis formas: anhidrita, basanita, yeso, alabastro, espato satinado y selenita. El alabastro es una variedad traslúcida de grano fino y en masa. El espato satinado es sedoso y fibroso y la selenita es la forma cristalina transparente. La basanita es una fase intermedia entre la anhidrita y el yeso identificable solo por difracción de rayos X o por técnicas petrográficas de muestras cuidadosamente preparadas. El yeso se presenta en forma de evaporita en capas regulares o lentejones, en distintos estados de pureza y en una gran variedad de espe-

Cuadro 38. Producción reportada de fosfato de la concesión Riecito (1999–2000, en toneladas métricas, tm)

Mes	Año	
	1999	2000
Enero	27.098,20	0,00
Febrero	24.715,00	0,00
Marzo	38.653,00	25.191,74
Abril	27.484,00	34.100,27
Mayo	38.078,00	42.662,00
Junio	43.442,21	46.286,50
Julio	38.804,03	46.286,50
Agosto	38.005,53	50.099,10
Septiembre	37.752,00	39.547,00
Octubre	33.199,60	39.407,00
Noviembre	7.445,91	46.054,45
Diciembre	11.656,00	19.463,66
Total	366.333,51	389.212,02

sores. El yeso se puede encontrar solo o con anhidrita en forma de depósito primario o bien como producto de hidratación superficial de la anhidrita.

La gran utilidad del yeso se debe a la única propiedad del sulfato de calcio de rápidamente ceder o tomar agua de cristalización. Con la aplicación de una moderada cantidad de calor en un proceso conocido como calcinación, el yeso se convierte en yeso de París ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), el cual cuando se mezcla con agua endurcerá retornando a sulfato de calcio deshidratado. Este producto semiterminado, usualmente llamado estuco, se produce en gran variedad de yesos de fraguado rápido y se emplea principalmente en la industria de la construcción en forma de morteros para recubrir paredes, bloques y yesos industriales (molduras). Aproximadamente 70% del yeso se calina para estos propósitos. El yeso no calcinado se emplea principalmente como retardador del cemento Portland, acondicionador de suelos (agricultura), relleno mineral u otras aplicaciones. En Venezuela los principales usos del yeso se distribuyen de la siguiente manera: plantas de cemento 42%, ferreterías 24%, industria de la construcción 14%, industria cerámica 11%, industrias de maniqués 5% y artistas y escultores cuatro por ciento.

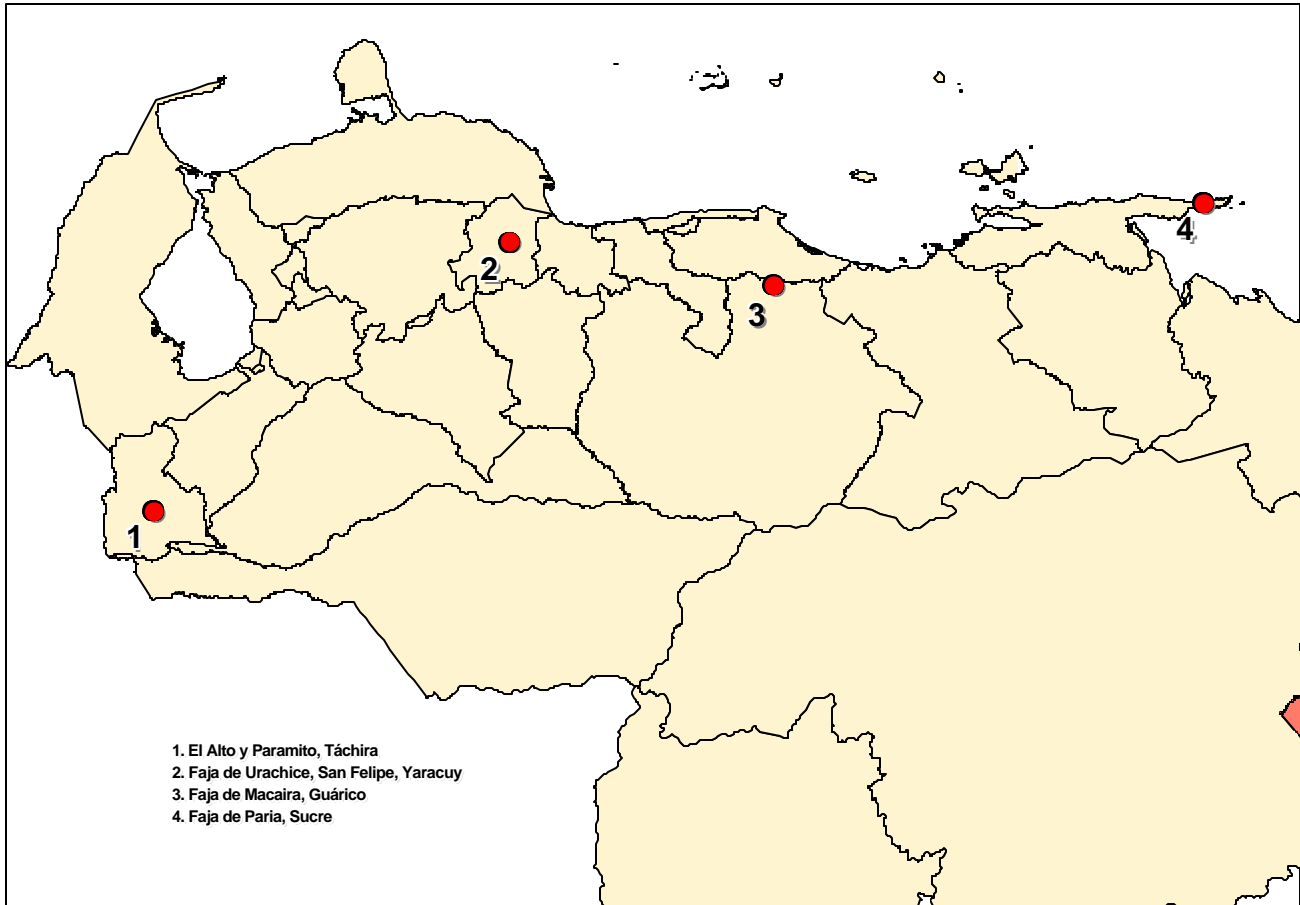
5.6.1 Yacimientos de yeso en Venezuela

Los principales yacimientos de yeso conocidos hasta el presente en Venezuela se encuentran en los estados Sucre, Guárico y Yaracuy.

5.6.1.1 Estado Sucre

El cinturón yesífero del estado Sucre se encuentra situado en la parte suroriental de la Península de Paria en el Distrito Valdés. La capa de yeso se extiende aproximadamente en dirección Oeste-

Mapa 19. Depósitos de yeso en Venezuela



Este por 17 kilómetros, a lo largo de la costa sur de la península, desde la ensenada de Cumaca el Pueblo de Macuro.

La capa de yeso ocurre en la unidad intermedia de la Formación Cariaquito. El Miembro Patao es una gruesa capa de caliza con una capa suprayacente de yeso con intercalaciones calizas. La capa de yeso no se ha reconocido al Oeste de la ensenada Cumaná. El espesor de la capa de yeso varía a lo largo de su longitud entre 20 y 120 metros.

La composición química del yeso de esta región es poco variable, como lo señala los análisis de las muestras provenientes de diferentes canteras.

El yeso en la región es explotado en forma de bancos de cantera a cielo abierto. Los yacimientos de yeso de la Península de Paria presentan las mejores condiciones favorables a la explotación por encontrarse en costa de aguas profundas. Sus condiciones geomineras hacen la explotación relativamente fácil. Por consiguiente, las condiciones tanto geográficas como geológicas hacen estos yacimientos sean los más interesantes del país. En 1999 la producción de yeso en el estado Sucre totalizó 41.503,97 toneladas métricas, registrándose un notable descenso en el año 2000, cuando la producción bajó a 24.629,35 toneladas métricas.

En el Cuadro 41 se muestran las reservas estimadas en el año 1965 para las diferentes canteras en explotación.

5.6.1.2 Estados Guárico y Yaracuy

Los yacimientos de yeso de los estados Guárico y Yaracuy son de menor importancia. Los del estado Yaracuy se encuentran entre las poblaciones de Cocorote y Urachiche en la Formación Nirgua. Las reservas de este yacimiento han sido estimadas en tres millones de toneladas métricas y es explotado por la Compañía Cemento del estado Lara.

Capítulo 6.

Rocas industriales sedimentarias de origen clástico

La mayoría de los sedimentos depositados mecánicamente consisten en detritos provenientes de la corteza terrestre que representan a los materiales del intemperismo y la erosión, produciendo los principales grupos de rocas sedimentarias denominadas arcillas, limos, arena y grava. Esta división se basa en el tamaño de las partículas que componen el yacimiento, por lo general sin tener en cuenta su naturaleza mineralógica.

§ Arcilla: Se da este nombre a las partículas de diámetro menor de 0,002 mm. Tiene la propiedad de volverse plástica cuando se humedece.

§ Limo: Es el nombre que se da a los compuestos de partículas de tamaño intermedio entre la arena y la arcilla, es decir, de 0,053 a 0,002 mm de diámetro.

§ Arena: Es el nombre que se da a los materiales granulares finos procedentes de la denuncianción de las rocas o de su machaqueo artificial, cuyos elementos varían entre 0,053 y 2 mm de diámetro.

§ Grava: Son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas procedentes de su desintegración mecánica que tiene más de 2 mm de diámetro. Suelen llamarse gravillas de 4 a 64 mm, grava los 64 a 256 mm y peñones los que sobrepasan los 256 mm de diámetro.

6.1 Arcillas

Las arcillas son rocas sedimentarias clásticas, constituidas principalmente por silicatos aluminicos con material coloidal y trozos de fragmentos de roca. La composición de las arcillas es tan variable que se clasifican según los diversos tipos utilizados diferentemente en la industria. Las arcillas que contienen menos de dos por ciento de óxido de hierro y de titanio con una composición aproximada de $\text{Si}_2\text{O}_5\text{Al}_2(\text{OH})_4$ se denominan caolín y constituyen el grupo utilizado por la industria cerámica. Las arcillas que contienen más de dos por ciento de óxido de hierro y titanio y los elementos Ca,

Mg Na y K son las más abundantes y constituyendo diferentes tipos. Las arcillas tienen demasiados empleos en la industria para poder hacer una lista completa de ellos, aunque el más destacado a través de la historia de la humanidad ha sido la alfarería.

6.1.1 Formaciones de arcillas y lutitas en Venezuela

El tipo y la composición de las arcillas en Venezuela dependen de la geología regional de donde proceden, ya que se derivan de las rocas de la región. A continuación se presentan las formaciones que contienen arcillas, lutitas arcillosas y lutitas en las diferentes regiones fisiográficas.

6.1.1.1 Región de alto relieve

6.1.1.1.1 Cordillera de la Costa

Paleozoico

§ Formación Palmarito. Consiste en intercalaciones de calizas y Lutitas. Espesor mínimo. Localidad: Carache, estado Trujillo.

Triásico–Jurásico

- **Formación La Quinta.** Consiste en conglomerados, areniscas y lutitas arcillosas. Las capas de lutita alcanzan hasta 15 m espesor. Localidad: su distribución es extensa en la cordillera meridiana, desaparece en la vecindad de Carache, estado Trujillo.

Cretáceo

- **Formación Río Negro.** Consiste en areniscas y lutitas, en capas que alcanzan hasta ocho metros de espesor. El espesor de esta formación alcanza los 1.500 m. Hay lugares donde es menor de un metro. Localidad: Aflora al Sureste del estado Táchira.

- **Formación Aguardiente.** Consiste en intercalaciones de areniscas calcáreas. Las lutitas de color negro, blandas a duras, laminadas, a veces limolíticas a arenosas y micáceas afloran con hasta 50 m de espesor. Localidad: Su distribución es extensa en los Andes meridionales.

Terciario

- **Formación: Trujillo.** Consiste principalmente en lutitas y areniscas; localmente se encuentran calizas de arrecifes en capas delegadas. Localidad: estados Trujillo y Lara, desde Humucaro Bajo hasta Carora.
- **Formación Mirador.** Consiste principalmente en areniscas con delgadas intercalaciones de lutita. Localidad: estado Táchira.
- **Formación Carbonera.** Consiste en lutitas, areniscas y algunas calizas. Localidad: La formación se extiende por los estados Táchira y Mérida.
- **Formación Palmar.** Consiste en una serie de arcillas, lutitas y areniscas intercaladas. Localidad: Se restringe al flanco noroeste de los Andes.
- **Formación Betijoque.** Consiste en conglomerados, arenas pocos consolidadas y arcillas. Localidad: Cubre un área extensa en la vecindad de Valera, estado Trujillo.
- **Formación El Pegón.** Consiste en arcillas, arenas y gravas interestratificadas. El espesor es variable, de 0 a 75 m. Localidad: Una distribución muy pequeña, cubre un área de aproximadamente 16 km cuadrados. Cerro Alto, Yaritagua, estado Lara.

Cuaternario

- **Aluvión Reciente.** Consiste en material arcilloso de color que varía de gris claro a mediano, a marrón y a amarillento. Son blandas, plásticas, localmente limosas, arenosas y ocasionalmente micáceas. Donde aflora esta unidad trunca las formaciones más viejas. Puede alcanzar hasta 100 m de espesor.
- **Terrazas del Pleistoceno:** Las terrazas afloran esporádicamente en los Andes aún en grandes alturas. La mayoría consiste en conglomerados y arenas, pero también se encuentran arcillas blandas ocasionalmente limolíticas, que afloran hasta de 4 m de espesor por 100 m de largo.

6.1.1.1.2 Cordillera de la Costa

6.1.1.1.2.1 Sección Central

Cretáceo

- **Formación Las Brisas.** Consiste en areniscas y conglomerados arcósicas metamórficas, varios tipos de esquistos, gneis

y calizas metamórfizada. Localidad: Tiene un espesor de unos 900 m y una distribución extremada en la Cordillera de la Costa o del Litoral.

- **Formación Las Mercedes.** Consiste generalmente en intercalaciones de esquistos cuarzosos, seriliticos, grafíticos, calcáreos y calizas metamórfizada. Localidad: Tiene un espesor mínimo de 1.800 m y una extensión vasta en la Cadena del Litoral.
- **Formación Caroritas, Aguardiente.** Consiste en lutitas de color gris a blancas, limitadas a veces por capas arenosas. Localidad: Surco de Barquisimeto, zona de transición de las rocas cretáceas no metamórficas de los Andes de Mérida y las metamórficas de la Costa.

Terciario

- **Formación Guárico.** Consiste en conglomerados, areniscas limolitas, lutitas, calizas y rocas volcánicas. Localidad: Se extiende a lo largo del flanco sur de la Serranía del Interior.

Cuaternario

- **Formación Nirgua.** Consiste en conglomerados, arenas, y arcillas no bien consolidadas, Localidad: Tiene un espesor Su extensión es grande en la parte norte de la Serranía del Interior.
- **Formación El Cantil.** Consiste en calizas y lutitas, con unos 300 m de espesor. Localidad: Su distribución es extensa en la Serranía del Interior.
- **Grupo Guayuta.** Consiste en intercalaciones de calizas arenosas, lutitas, calcáreas, lutitas y areniscas. Localidad: Extensa distribución en la Serranía del Interior oriental.
- **Formación San Juan.** Consiste en lutitas arcillosas, duras y blandas. Localidad: Se extiende a lo largo de la franja de la Serranía del Interior. Tiene un espesor de 310 metros.

Terciario

- **Formación Caratas.** Consiste en areniscas, lutitas, limolitas y calizas. Localidad: Distribución limitada al flanco sur de la Serranía del Interior oriental.

6.1.1.1.2 Elevaciones de Falcón–Lara–Yaracuy

Terciario

- **Formación El Paraíso.** Consiste en areniscas y lutitas. Las lutitas son de color negro, duras o blandas. Se encuentran en intervalos macizos de gran espesor. Localidad: Sección centro y suroccidental del estado Falcón

- **Formación Patiecitos.** Consiste en areniscas conglomeráticas, lutitas y calizas. Localidad: Flanco norte de la Sierra San Luis, Falcón.
- **Formación Churuguara.** Consiste en calizas arenosas, calizas y areniscas. Localidad: Aflora en la Serranía de Churuguara, Falcón.
- **Formación Castillo.** Consiste en conglomerados, areniscas, limolitas, lutitas y arcillas. Las arcillas son micáceas y arenosas en capas de hasta 6 metros de espesor. Localidad: Cerro Frío, Falcón.
- **Formación Guyarabal.** Consiste en conglomerados, areniscas macizas gruesas, limolitas y lutitas. Localidad: Flanco norte de la Serranía San Luis, Falcón.
- **Formación Casupal:** Consiste en lutitas con areniscas y calizas. Localidad: Cuenca occidental de Falcón.
- **Formación Cerro Pelado.** Consiste en conglomerados, areniscas y lutitas intercaladas. Localidad: Norte de la Serranía de San Luis, Falcón.
- **Formación Querales.** Consiste en lutitas arcillosas, con delgados capas de arenisca y calizas intercaladas. Localidad: Distrito Democracia, Falcón.
- **Formación Pozón.** Consiste en tres zonas de arenas, arcillas y margas. Localidad: Extensa distribución en la parte oriental de Falcón.
- **Formación Socorro.** Consiste en lutitas con capas intercaladas de arcillas. Localidad: Cuenca occidental de Falcón.
- **Formación Urumaco.** Consiste en lutitas, calizas y areniscas. Localidad: Cuenca occidental de Falcón.
- **Formación Caujarao.** Consiste en lutitas, margas, limolitas, areniscas y calizas. Localidad: La Vela y Cumarebo, Falcón.
- **Formación Codore.** Consiste en lutitas areniscas y calizas interstratificadas. Localidad: Los afloramientos se encuentran en la parte centro-occidental de Falcón.

Cuaternario

§ **Aluvión Reciente.** El aluvión aflora en muchas partes de la región. Cuando está presente, se encuentra discordantemente por encima de formaciones viejas. Su espesor es muy variable, pero puede alcanzar hasta 100 m en ciertas localidades.

§ **Terrazas del Pleistoceno.** Las terrazas donde afloran son de arcillas duras, macizas y ferruginosas, con espesores de hasta tres metros.

6.1.1.2 Zona de bajo relieve, los Llanos

6.1.1.2.1 Cuenca oriental

Terciario

- **Formación Roblecito.** Consiste en lutitas, arcillas y areniscas. Localidad: Piemonte a lo largo de Serranía del Interior.
- **Formación Naricual.** Consiste en areniscas, lutitas arenosas, lutitas y arcillas. El espesor es del orden de 200 m. Localidad: Su distribución se limita a la parte norte de los estados Guárico y Anzoátegui.
- **Formación Chaguaramas.** Consiste en lutitas, lutitas arcillosas y arcillas moteadas. Casi todas son blandas y plásticas. El espesor es del orden de 800 m. Localidad: Ocurre en el piedemonte de la Serranía del Interior, estado Guárico.
- **Formación Capiricual.** Consiste en lutitas y arcillas con areniscas. El espesor es del orden de los 3.000 m. Localidad: El contacto inferior es infrayacente a la Formación Naricual, Anzoátegui nor-oriental.
- **Formación Quiamare.** Consiste en conglomerados, areniscas, limolitas, lutitas, arcillas y calizas. La unidad está compuesta de varios miembros los cuales están restringidos geográficamente. Localidad: aflora típicamente en Anzoátegui. Se extiende a lo largo del borde norte de la cuenca oriental, recibiendo nombres de localidades como Formación El Pilar, Guanape y Chaguaramos.
- **Formación Aramina.** Consiste en conglomerados basales, calizas conglomeráticas, lutitas arcillosas y calizas limosas. Las arcillas y lutitas son blandas y plásticas. Espesor 1.600 m. Localidad: cuenca inferior del río Tuy, Miranda oriental.
- **Cumaca.** Consiste principalmente en lutitas arcillosas y arcillas lutíticas. Espesor máximo 100 m. Localidad: Ensenada del río Tuy, estado Miranda.
- **Freites.** Consiste en areniscas superiores, lutitas intermedias y areniscas inferiores. Las lutitas son blandas, plásticas, pobremente estratificadas. Espesor aproximado 700 m. Localidad: Provincia del flanco sur de la Cuenca de Maturín, o sea los dos tercios meridionales de los estados Anzoátegui y Monagas.
- **Guatire.** Consiste en conglomerados, arenas, lutitas arenosas y lutitas arcillosas. Las arcillas ocurren en capas de hasta 1,5 m de espesor, el promedio es de 3 m. Localidad: Se restringe a la cuenca de Guarenas–Guatire, Miranda.
- **Quiriquire.** Consiste en gravas, arenas, limos y arcillas conglomeráticas. La unidad alcanza un espesor de 1.500 m. Localidad: Su extensión esta restringida al frente de las montañas en el Norte del estado Monagas.

Cuaternario

- **Formación Las Piedras.** Consiste en arcillas. En los afloramientos pueden apreciarse espesores de hasta 500 m. Localidad: Aflora en la mayor parte de los estados Monagas y Anzoátegui.
- **Formación Mamporal.** Consiste en conglomerados, arenas y arcillas. El espesor máximo estimado es de unos metros. Localidad: Cuenca del Bajo Tuy, Miranda.
- **Formación Mesa.** Las características litológicas varían dependiendo de donde aflora la formación y la fuente de los sedimentos. Depósitos horizontales deltaicos (aluviales y palustres), con conglomerados a lo largo del piedemonte, de textura fina en los llanos. Localidad: Llanos orientales, estados Guárico, Anzoátegui y Monagas.
- **Formación Aluvión Reciente.** Yace en discordancia encima de formaciones más antiguas. Generalmente consiste en arcillas blandas y a veces limosas a arenosas, que varían en color. En algunos lugares el aluvión tiene 100 m de espesor. Localidad: Los aluviones tienen una distribución extensa en la Cuenca oriental.

6.1.1.2.2 Cuenca occidental

Cretáceo

- **Formación Uribante.** Consiste predominantemente en areniscas, a veces conglomeráticas, con limolitas, lutitas y calizas. Localidad: Está restringida a la parte suroeste del estado Táchira y occidental de los estados Apure y Barinas.
- **Formación Navay.** Consiste en lutitas silíceas, lutitas calcáreas y algunas capas de areniscas y arcillas. El espesor aproximado es de 240 m a 320. La unidad es en parte equivalente a las formaciones La Luna y Colón de los Andes de Táchira y Mérida. Localidad: Restringida a la parte sur-oriental de los Andes.

Terciario

- **Formación Gobernador.** Consiste principalmente en areniscas cuarzosas, intercaladas con lutitas carbonáceas y calcáreas con limolitas. La unidad tiene un espesor de 300 m en la localidad tipo. Localidad: Piedemonte de los Andes venezolanos.
- **Formación Paguey.** Consiste en lutitas, duras, arcillosas a limolíticas, micáceas, carbonáceas. Capas de hasta 20 m de espesor. Localidad: Distrito Bolívar, estado Barinas.
- **Formación Quebradón.** Consiste predominantemente en lutitas mal estratificadas a las que se interstratifican areniscas en cantidades variables. El espesor es de aproximadamente

1.000 m. Localidad: Aflora desde San Carlos, estado Cojedes, hasta Sabana de Uchire, estado Anzoátegui.

- **Formación Río Yuca.** Consiste en conglomerados, areniscas, limolitas y arcillas. Las arcillas son blandas a duras, localmente arenosas a limolíticas. Se encuentran en intervalos gruesos, son comunes intervalos de 7 a 10 metros. El espesor alcanza los 300 m. Localidad: Aflora en el área de Sanare y Gamelote en el estado Lara hasta el río Socape, estado Barinas.

Cuaternario

- **Formación Guanapa.** Consiste en areniscas, arcillas en estratos macizos y con estratificación cruzada, mal consolidados. Estos sedimentos forman mesetas y terrazas a través de la faja de afloramiento del piedemonte. El espesor varía entre 5 m y 250 m. Localidad: Región piemontana de los Andes, en la parte noreste de la cuenca de Barinas.
- **Sedimentos de los Llanos.** Los Llanos constituyen la Región Central del país, extendiéndose desde el río Orinoco hasta el piedemonte de la Cordillera de la Costa de la Serranía Interior y de los Andes. Geológicamente, la zona de los Llanos está cubierta por la Formación Mesa, excepto en las inmediaciones del Orinoco, de El Baúl y las cercanías de los piedemontes de las cordilleras. La Formación Mesa consiste principalmente en arcillas, arenas y granzón o gravas. Las arcillas son de varios tintes, duras cuando secas, y blandas y plásticas al humedecerse. En lugares son limosas y o arenosas; hacia los piedemontes de las cordilleras se encuentran las capas de arenas con más frecuencia.

6.1.1.3 Cuenca de Maracaibo

Terciario

- **Formación Misoa.** Consiste en areniscas con limolitas, lutitas y rara vez calizas. La lutita es laminada, micácea. En la sección tipo la formación tiene unos 1.700 m de espesor. Localidad: Extensa distribución en la Cuenca de Maracaibo.
- **Formación Mene Grande.** Consiste en lutitas, areniscas y a veces calizas arrecitales lenticulares. El espesor varía desde cero a 700 m. Localidad: Más o menos restringida a la localidad de Mene Grande, estado Zulia.
- **Formación Churugarita.** Consiste en calizas arrecifales, lutitas arenosas y areniscas en capas de poco espesor, el cual varía de 1.200 a 1.700 m. Localidad: Se encuentra casi exclusivamente en el Distrito Miranda, estado Zulia.
- **Formación La Rosa.** Consiste en lutitas, arcillosas y areniscas. Localidad: Extensión restringida a la parte norte del estado Zulia.

Cuaternario

- **Aluvi3n Reciente.** Se encuentra en muchas partes de la Cuenca de Maracaibo. Consiste principalmente en arcillas de varios tintes, blandas y plásticas.

6.1.1.4 Escudo de Guayana

Precámbrico

- **Complejo de Imataca.** La unidad tiene importancia por su mineralización de hierro, magnesio caolín y piedra para picar y para la ornamentación.
- **Grupo Pastora.** Abarca las Formaciones Caballape, Cicapra, El Callao y Yuruarí. La litología de la serie es variada consiste en intercalaciones de granito, porfiritas, diabasas, tobas, andesitas, (varias clases de andesitas), limolitas, grauvacas y conglomerados. Localidad: Aflora sobre una área extensa, en la parte oriental del estado Bolívar.
- **Grupo Roraima.** Consiste en una sucesión de conglomerados cuarzosos, areniscas carcíticas, areniscas blancas y lutitas interestratificadas con la sección arenácea. Espesor 2.600 m. Localidad: Extremo sur-oriental del estado Bolívar.

Cuaternario

Zonas de arcillas

- **Zona de la Formación Mesa.** La formación Mesa ocupa una extensa superficie en los estados Anzoátegui y Monagas.
- **Zona de San Félix, Puerto Ordaz y río Orinoco.** Las arcillas son de color marr3n y de varios tintes de gris. Algunas son arenosas y otras contienen mica de grano fino. Las arcillas están intercaladas con capas de arena y limolitas. Las capas de arcilla varían espesor desde uno a cuatro metros y son lenticulares.
- **Zona oeste de Puerto Ordaz, Mina Santa Fe:** Las arcillas se encuentran intercaladas con capas de arenas y gravas. Son de color blanco y gris claro. El contenido de limolita varia entre las capas de arcillas.
- **Zona Hato San Rafael.** 150 kil3metros al Oeste de Ciudad Bolívar. Las arcillas son de color gris claro, duros y localmente limosas a arenosas afloran como una capa maciza de 3 metros de espesor.
- **Zona de Motaico.** Veintid3s kil3metros al Sur de Motaico y 5 kil3metros al Oeste de .
- **Reciente.** El aluvi3n se encuentra a lo largo de los ríos, en los valles y en declives bajos. Consiste en el material originado de las diferentes rocas que constituyen la superficie y acarreado por las corrientes de agua, y dep3sitos en forma de con-

glomerados, arenas no consolidados y arcillas. Localidad: La extensi3n del área que cubren estos dep3sitos es variable, el espesor usualmente es menor de cinco metros. Las arcillas son de color gris azulado, untuosas, localmente limolíticas a arenosas. Con un espesor de hasta dos metros.

6.1.2 Usos Industriales de las Arcillas

La composici3n y su naturaleza determina el uso y el valor de la arcilla. El cuarzo disminuye la plasticidad y retracci3n, y contribuye a hacerla refractaria. La sílica en forma coloidal aumenta la plasticidad, la alumina la hace refractaria, el óxido de hierro, lo mismo que el feldespato disminuye la temperatura de fusi3n, actúa como fundente, también es un poderoso agente colorante, un poco de óxido de hierro colorea intensamente la arcilla tostada pero una gran cantidad la convierte en un producto rojo o blancas de tener el 5% menos. Según sus propiedades las arcillas se dividen en dos grupos el grupo cerámico y el grupo no cerámico.

6.1.2.1 Grupo Cerámico

Este grupo comprende los siguientes productos: a) Estructurales, b) Porcelana, c) Refractarias, d) Potería, e) Agregados de Arcillas.

6.1.2.1.1 Producto Estructurales

Las características de las arcillas de este grupo son básicamente: resistencia en crudo y en cocci3n, color de calcinaci3n, plasticidad, temperatura de cocci3n, y encogimiento. En los productos están incluidos ladrillos, tejas, bloques, tubos de cerámica, etc.

6.1.2.1.2 Porcelana

Las características de este grupo de arcillas es su color blanco de calcinaci3n, que son refractarias, y a su alta temperatura de vitrificaci3n. Dentro de este grupo se utilizan. las arcillas denominadas "Caolines" los dep3sitos más importantes y puros de caolines son aquellos de origen residual.

6.1.2.1.3 Refractarias

Las arcillas refractarias son todas aquellas que tengan un cono pirométrico equivalente superior al 19 (1.541 °C). Generalmente importante tiene un alto porcentaje de Caolinita con algo de cuarzo libre de impureza. Se utiliza en la fábrica de ladrillos y en forma especiales refractarias, es muy importante para usos en calderas u hornos de temperaturas relativamente bajas.

6.1.2.1.4 Potería

En este grupo se utiliza arcillas de cocci3n densa, con colores no necesariamente claros y con características aceptables de viscosidad

6.1.2.1.5 Agregados de Arcillas

En la elaboraci3n de agregados para concreto se utilizan arcillas con características expansibles-

6.1.2.2 Grupo no Cerámico

Este grupo comprende los siguientes tipos de arcillas: Arcillas decolorante, arcillas absorbentes, arcillas como material de relleno en papel, caucho, linóleo, textiles fertilizantes, etc. arcillas como pigmentos en pinturas y plásticos, arcillas como matriz en fundiciones, arcillas como lodo en perforaciones en la industria petrolera, arcilla en cemento y en infinidad de usos industriales de menor importancia, tales como catalizadores, detergentes, relleno en medicinas impermeabilizadores de suelos, coagulantes, coherencia, etc.

6.1.3 Tipos de Arcillas

Las arcillas se clasifican en los tipos siguientes:

6.1.3.1 Arcillas Caolines

Son arcillas residuales, las más puras, de alto porcentaje de caolinita. Son de alto grado, grano fino, cocción en blanco, se emplea en la manufactura de loza de porcelana y de papel.

6.1.3.2 Arcilla Grasas

Son arcillas muy plásticas y untuosas. Cocción en blanco. Se emplea en la manufactura de loza.

6.1.3.3 Arcillas Refractarias

Son arcillas que contienen poco óxido metálico y álcalis que pueden resistir temperaturas elevadas sin desagregarse, por cuya razón se usan en la construcción de hornos, crisoles, estufas y obras similares.

6.1.3.4 Arcillas de Alfarería

Son arcillas semirefractarias de fuerte acción y muy semejante a las arcillas refractarias, se emplean en alfarería y en cerámica.

6.1.3.5 Arcillas para Ladrillos y Tejas

Constituyen el tipo más corriente, de bajo valor, se emplea en todas parte para estos productos. Al ser sometidas a la acción del fuego adquieren un color rojo.

6.1.4 Arcillas Comerciales

Las arcillas comerciales o arcilla empleadas como material crudo en las construcciones se hallan entre los más importantes recursos minerales no metálicos.

El valor de estas arcillas está estrechamente relacionado con sus composiciones mineralógicas y químicas, especialmente las arcillas que contienen minerales caolinítica, montmorillonita, illita, y atapulgita, la presencia de otros minerales o impurezas de sales solubles restringe sus usos. Las impurezas más comunes son el cuarzo, carbonatos, óxido de hierro, sulfatos y feldespato. El uso de las arcillas comerciales se encuentra relacionado con sus composiciones mineralógicas y químicas, especialmente los minerales

de arcilla: caolinítica, montmorillonita, illita y atapulgita. Las arcillas comerciales son:

6.1.4.1 Arcillas Caoliníticas

Las que contienen un gran porcentaje del mineral caolinita. Varias arcillas comerciales están compuestas predominantemente de caolinita; estas son: arcilla china, arcillas esferoidales, arcillas refractarias y arcillas duras que se emplean en la manufactura de la cerámica (alfarería, porcelana, refractarios), de papel, de pintura, de plásticos de insecticidas de catalizadores, de tinta; en la industria eléctrica, etc.

6.1.4.2 Arcilla China

Son caolines blancos de gran calidad, se emplean en la manufactura de la cerámica (alfarería, refractarias y porcelana, papeles, pintura, plásticos, insecticidas, catalizadores y tinta).

6.1.4.3 Arcilla Dura

Es una arcilla refractaria compuesta esencialmente de caolinita, pero son plásticos.

6.1.4.4 Arcillas Diáspora

Es una arcilla compuesta de diáspora y caolinita, La diáspora es un óxido de aluminio hidratado con un 85% de Al_2O_3 y un 15% de agua; estos minerales muy duro y muy refractario. La arcilla diáspora se emplea casi exclusivamente en la industria refractaria.

6.1.4.5 Arcillas Esferoidales

Compuesta principalmente de caolinita pero de color más oscuro que el caolín, se emplea en la manufactura de la cerámica donde no prevalece el color blanco.

6.1.4.6 Arcillas Refractarias

Compuestas de caolinita, con pequeña. cantidades de impurezas como illita y cuarzo, soportan temperatura de $1500^{\circ}C$ o más, de la sedimentación marina, por término medio, el contenido de hierro de los sedimentos marinos podrían ser más elevado.

6.1.5 Arcillas Especiales

6.1.5.1 Arcillas Pirofílicas:

Son menos políticas, caracterizadas por un 40% o más pirofílicas en su composición básica. Por lo general el resto de la mena está constituida por illita, Caolinita, montmorillonita, calcita, cuarzo y feldespato variados. Hasta el momento en Venezuela los únicos depósitos de arcillas pirofílicas se ha obtenido en las zonas septentrional, entre los pueblos de Carorita y Bobare.

Morfológicamente los depósitos constituyen lentes y menas muy irregulares de un material de muy alta calidad, intercalados con filitas de varios colores y arenisca delgadas de grano muy fino.

6.1.5.2 Arcillas Refractarias

Las arcillas ricas en caolín y pobres en hierro álcalis, son todas aquellas que tengan un cono pirométrico equivalente o superior al 19 (1.541°C), generalmente tiene un alto porcentaje de Caolinita y son refractarios, puesto que estas dos últimas materias actúan como fundentes una gran parte de las arcillas de Lara, se están utilizando como ladrillos refractarios por Cerámicas Carabobo en el Estado Bolívar, en la Empresa Industria de Cerámicas de la Hacienda Villa Rosa, es utilizada este tipo de arcilla para bandejas y envases refractarios para el cocido de cualquier tipo de carne utilizado por los Restaurantes y Hoteles de alta categoría cuando son vidriados para la elaboración de crisoles gratificados.

6.1.5.3 Bentonita

Las bentonitas son tobas volcánicas alteradas e hidrolizadas. Se distingue el tipo Y, que son bentonitas que se hinchan por lo general bentonitas de Na y el tipo II que son las que no se hidratan, en su mayoría bentonitas de Ca.

Las bentonitas propiamente es una roca análoga a la arcilla, de color gris o blanco amarillento, que a menudo y debido a la meteorización se desborona en capas delgadas o láminas. Si se introduce en agua se hincha, aumentando de volumen hasta alcanzar unas seis o más veces el volumen inicial, formando un gel tenaz. En ello estriba su considerable valor térmico.

El componente fundamental de la bentonita es la montmorillonita, cuya capacidad para hincharse estriba en su red cristalina, con moléculas de SiO₂ y H₂O en forma estratificada. La montmorillonita (bentonita) se origina por la descomposición del vidrio volcánico de las tobas, algunas veces, el feldespato es el material de partida la descomposición puede ser producida por las disoluciones hidrotermales por meteorización.

Las aplicaciones de la bentonita son muy variadas, aumentando continuamente al principio fueron buscados por las fábricas de arena de moldeo y crisoles lo utilizan como substitutivo mediante activación y tratamiento con álcalis de la bentonita bávara se fabrica un preparado llamado "THIXOTON", que se hincha considerablemente en agua y que una vez licuado por agitación, vuelve rápidamente a formar un gel viscoso, cuanto se deja remover. Esta propiedad conocida como tixotropía, es de importancia para la técnica de sondeo con los densos, especialmente para sondeos petrolíferos.

6.1.6 Producción y consumo de arcillas en Venezuela

6.1.6 Arcillas blancas del estado Lara

En territorio larense existen numerosos afloramiento de lutitas y arcillas de color blanco. Estos afloramientos se encuentran en forma aislada, en una franja que se extiende del Suroeste desde la población de Barbacoas hasta más de 30 km al Norte de Bobare. En algunos afloramientos las arcillas forman enormes masas, descubiertas o tapadas por materiales estériles; en otros se las ve interstratificadas con lechos de otros materiales. Los yacimientos

Cuadro 42. Producción de arcillas (1999–2000, en metros cúbicos)

Estado	1999	2000
Anzoátegui	178.854,00	207.379,42
Aragua	120.691,30	67.356,69
Carabobo	72.045,50	8.829,00
Guárico	29.500,00	18.175,00
Lara	131.206,54	6.978,10
Monagas	4.700,00	12.620,00
Nueva Esparta		3.360,00
Portuguesa	20.000,00	
Sucre	400,00	380,00
Trujillo	5.869,00*	5.273,00*
Yaracuy	38.769,69	
Total	596.167,03	325.054,21

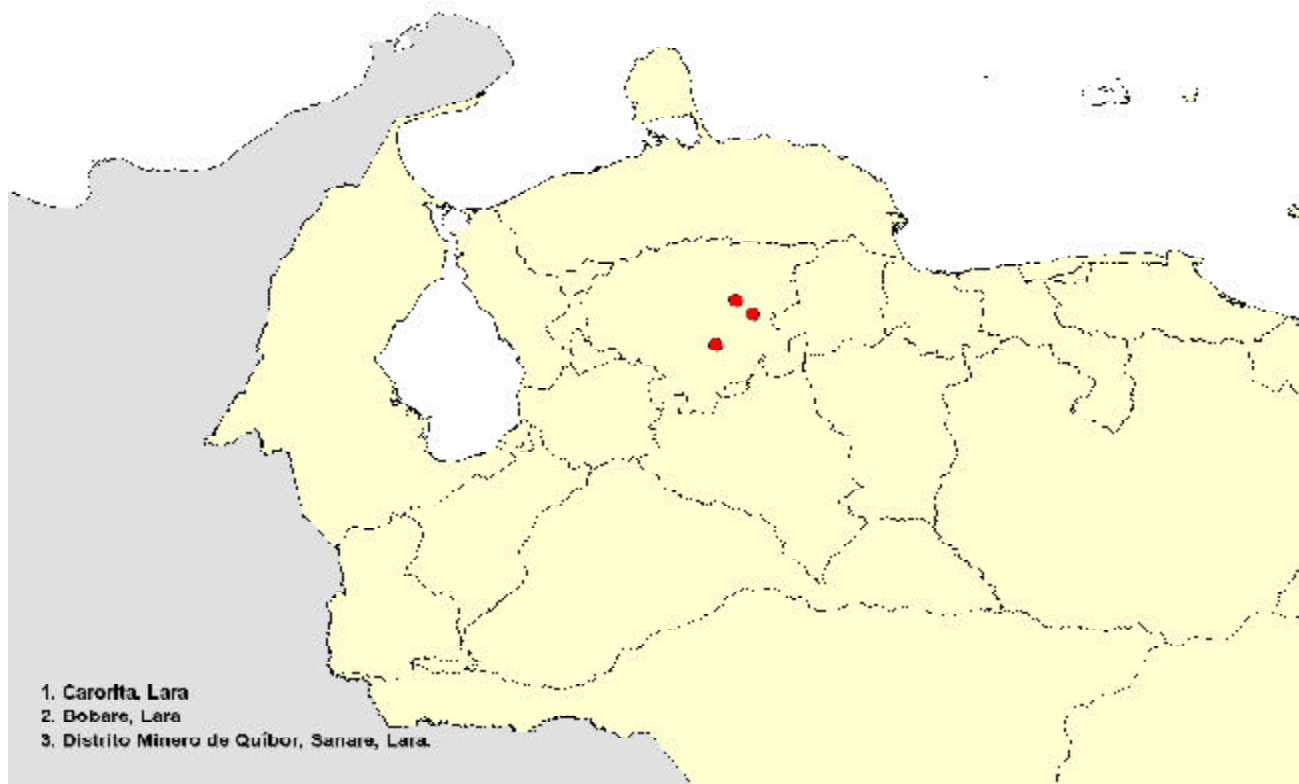
Cuadro 43. Empresas consumidoras de arcillas no caolínicas en las industrias de alfarería (1981)

Región	Número de empresas	Consumo
Capital	15	377.302 m ²
Central	12	423.482 m ³
Los Llanos	*	*
Centro-occidental	10	245.650 m ³
Zulia	8	142.502 m ³
Los Andes	*	
Nor-occidental e insular	11	78.906 m ³
Guayana	8	17.505 m ³

Cuadro 44. Producción de cemento y consumo aproximado de material arcilloso (1971–1981, en toneladas métricas, tm)

Año	Cemento	Material arcilloso
1971	2.800.423	600.000
1972	2.981.468	600.000
1973	3.412.691	700.000
1974	3.494.408	700.000
1975	3.467.924	700.000
1976	3.535.194	700.000
1977	3.740.293	700.000
1978	4.230.655	800.000
1979	3.973.594	800.000
1980	4.843.495	900.000
1981	4.876.375	1.000.000
Total	41.356.517	8.200.000

Mapa 22. Depósitos de arcillas blancas



más conspicuos, macizos y grandes, se encuentran en abundancia en la región entre Sanare y Quíbor.

La mayoría de los depósitos de arcilla blanca son de edad Eocena. Existe cierta posibilidad de que las arcillas en las inmediaciones de la población de Barbacoas sean de origen Cretáceo. Rivero Palacios (1967) distingue dos grandes grupos de arcillas blancas, con características físicas y químicas diferentes, a saber: Grupo 1. Las localizadas en los alrededores de Sanare, Yay y El Yeso y Grupo 2. Las localizadas en los alrededores de Bobare, Carorita y Carora. A continuación presentamos un cuadro comparativo en el cual se resumen las diferencias entre ambos grupos.

6.1.6.1 Arcillas del Eoceno

Los estratos del Eoceno están muy bien representados en la región al Norte de la población de Bobare. Consisten en areniscas extremadamente lenticulares, por lo regular de grano grueso y localmente conglomeráticas, muy duras en algunas partes, blandas y friables en otros. El espesor de estos lechos también es muy irregular, variando entre 10 centímetros a 15 metros, midiendo la mayoría entre 70 y 80 centímetros aproximadamente. Localmente hay gruesas capas de caliza gris oscura, dura y, en algunas zonas, con granos de cuarzo.

Intercaladas con las areniscas y constituyendo gran parte de la formación, se observan capas de lutitas de diversos colores, por

lo general blandas, mal laminadas y arenáceas. Entre estas lutitas y arcillas se encuentran otras de color blanco y casi libres de arena o de óxido de hierro. En la región al norte de Bobare las lutitas y arcillas blancas están intercaladas con lutitas de otros colores y con areniscas. Localmente, sin embargo, forman bolsones sin estratificación alguna. En la superficie los materiales blancos están bastante manchados por óxido de hierro, aparentemente depositados por aguas de percolación.

En la región de Sanare y Quíbor el Eoceno es muy parecido al de Bobare, es decir, contiene areniscas lenticulares, lutitas de diversos colores y arcillas blancas. En el sitio llamado El Yeso, situado a 2,5 kilómetros del caserío de Yay, se hace conspicua la presencia de lutitas de color marrón y otras carbonáceas, así como un lecho delgado de lignito. Las arcillas blancas aquí se presentan en enormes masas, localmente descubiertas.

La asignación de la edad Eocena a estas capas se basa principalmente en sus relaciones estratigráficas. No se han encontrado hasta la fecha micro-fósiles. Algunas turritellas en cantos de calizas, cuya posición indica que sólo pueden haber sido parte de la formación que contiene las arcillas blancas, han sido consideradas Eoceno Medio, pero no se ha efectuado una identificación apropiada. Al Norte de Bobare, en los cortes de la carretera, se notan varios afloramientos de la Formación La Luna en discordancia con el Eoceno. La presencia de la arcilla blanca, materiales lignítico y el aspecto general del Eoceno sugiere la posibilidad

Cuadro 44. Cuadro comparativo entre arcillas del Grupo 1 y del Grupo 2

Grupo 1	Grupo 2
Alto contenido de cuarzo	Bajo contenido de cuarzo
Alto contenido de hierro	
Patrones de baja intensidad	Patrones de baja intensidad
Feldespato ausente	Son comunes pequeñas cantidades de feldespato
Contienen apreciable cantidad de caolinita	Caolinita es baja o ausente
Reflexiones difusas	Reflexiones agudas
Buena plasticidad	No se plastifica
Efectos endotérmicos cercanos a los 700°C raras veces presentes	Efectos endotérmicos cercanos a los 700°C generalmente presentes

de que esas capas sean sedimentos depositados en aguas de poca salinidad o completamente dulces.

Al Norte de Bobare los estratos están intensamente plegados y deformados, pero su rumbo general es de Suroeste a Noreste y el buzamiento al Noroeste en la zona de Sanare y Quíbor. La deformación es también intensa, pero en las localidades de las arcillas disminuye, y las propias capas buzanan hacia el Noroeste con un ángulo que varía entre 50° y 90°. En la región de Canora existen depósitos de arcillas blancas con un alto contenido de óxido alcalinos (Rivero Palacio 1967), debido posiblemente al clima y a las aguas superficiales.

Las descripciones de algunos de los afloramientos ubicados en el estado Lara van acompañados de los correspondientes análisis químicos, pero respecto a éstos, se debe hacer la salvedad de que no deben tomarse entre sí como puntos de comparación, sino que en cada caso particular deberán estudiarse más a fondo las características inherentes a cada tipo de arcilla.

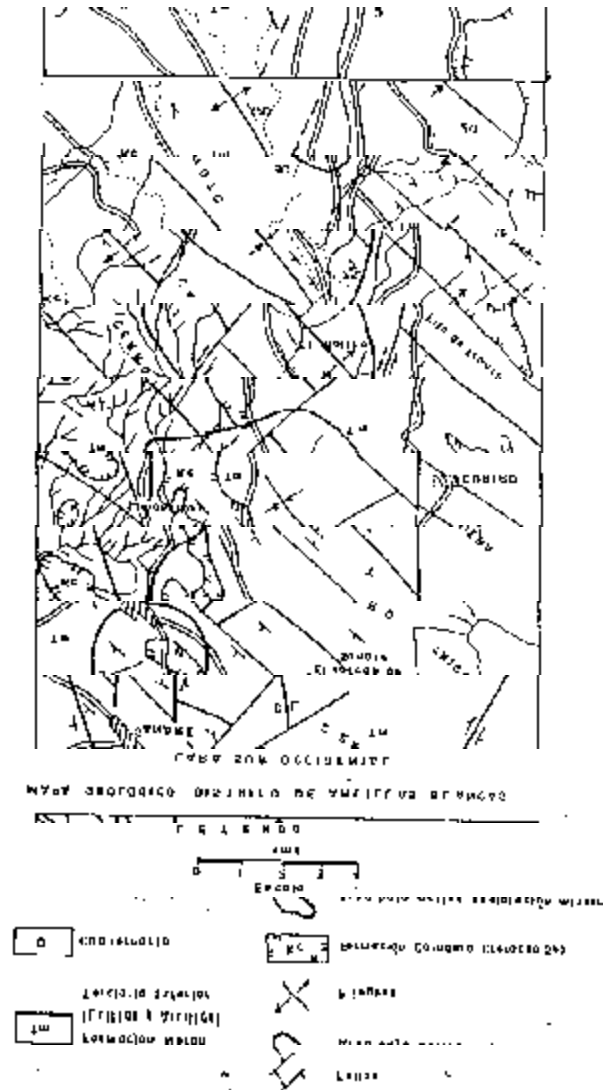
6.1.6.2 Depósitos de mayor importancia al Suroeste de Barquisimeto

Se incluirán en el presente trabajo solamente algunos de los numerosos sitios donde existe arcilla blanca en cantidades explotables. Estudios más detallados posiblemente conducirían al hallazgo de otros depósitos de importancia económica.

6.1.6.2.1 Depósitos de Curigua

Estos depósitos se encuentran en el Municipio de Sanare del Distrito Jiménez y al Noroeste de la población de Sanare. En el punto llamado El Yeso existen grandes afloramientos de arcilla blanca. Dichos afloramientos se extienden por más de 1.300 metros de largo y de 300 a 400 metros de ancho. Su parte central ha sido cortada por varias quebradas que removieron gran parte de la arcilla, resultando así una depresión, la cual fue luego rellenada por aluvión y materiales rodados. Sin embargo, en el fondo, así como en las cabeceras, de muchas de las quebradas se observan lechos de arcilla blanca, formando altos cortes la mencionada

Mapa 23. Mapa geológico del distrito de arcillas blancas en Lara Sur-occidental



franja ocupa terrenos relativamente bajos, bordeados por alto acantilados en sus lados sureste y noreste.

La arcilla es maciza y de color gris claro a blanco, muy uniforme en las partes profundas donde no ha sido contaminada por óxidos de hierro. Casi en la parte central de la franja hay algunos lechos de lutitas de color marrón rojizo, materiales carbonáceos y un pequeño lente de lignito, cuyo máximo espesor es de casi 3 metros. El buzamiento es al Oeste y el rumbo general es de N 25° E, pero los rumbos y buzamientos varían localmente. Debido al carácter macizo de las arcillas no ha sido posible efectuar ninguna observación satisfactoria, pero aparentemente el buzamiento oscila entre 50 y 90 grados. Los lentes de lignito y otros materiales estériles constituirían un máximo de 30% de los lechos que componen la franja.

Aunque se ignora la profundidad de la arcilla blanca, tomándola como un máximo de 50 metros y un ancho promedio de 260 me-

Cuadro 45. Análisis químico de arcillas de Curigua (valores expresados en porcentajes, %)

	Muestra I	Muestra II	Muestra III	Muestra IV
SiO ₂	59,92	61,10	56,28	62,71
Al ₂ O ₃	33,54	33,44	27,82	29,47
Fe ₂ O ₃	0,37	0,40	0,37	0,18
CaO	1,00	1,03	1,10	–
MgO	0,66	0,48	0,58	–
Pérdida al rojo	5,02	5,00	6,44	6,04

tros, se obtendría una cantidad de cerca de 17 millones de metros cúbicos de material. Aun reduciendo este volumen a 25% para compensar la pérdida de arcilla removida por la erosión y los materiales estériles, todavía quedarían unos 4 millones de metros cúbicos de arcilla, o sea, aproximadamente de 8 a 9 millones de toneladas. La arcilla de los depósitos de Curigua es empleada con éxito en la fabricación de productos cerámicos y cemento blanco.

Los análisis de cuatro muestras del sitio El Yeso, de la región de Curigua, dieron los resultados mostrados en el Cuadro 45.

6.1.6.2.2 Depósito El Papayo

Otro sitio en la misma área de Curigua donde se observan grandes cantidades de arcilla blanca es el llamado El Papayo, situado a aproximadamente 7 kilómetros al Noroeste de Yay. La arcilla aquí está muy contaminada en la superficie, pero parece que dicha contaminación no excede de 2 metros de profundidad. Son de un color blanco a gris claro. Están intercaladas con algunos delgados lechos de areniscas blanca, muy fina y friable. Aquí también se encuentran algunas capas delgadas con abundante material carbonoso; entre ellos hay una en la cual aún se pueden observar restos de plantas. Se nota también la presencia de un lecho de lignito con un espesor aproximado de un metro.

Las capas ocupan una franja de varios kilómetros de longitud y unos 200 metros de ancho. Debido a los elevados buzamientos (entre 60 y 80 grados) no se ha podido apreciar la profundidad del yacimiento; pero en todo caso no sería inferior a 60 ó 70 metros, pues la arcilla se encuentra desde el topo de los cerros hasta los lechos de las quebradas profundas y parece que se prolonga por debajo de la superficie.

Esta arcilla no ha sido explotada, pero su cantidad es todavía mayor que la de El Yeso, más de 9 millones de toneladas, y aparentemente de la misma calidad. Se puede llegar a este yacimiento, sin grandes dificultades, por la quebrada Botucal, partiendo del punto donde dicha quebrada cruza la carretera Quíbor–El Tocuyo. En Curigua se nota la existencia de otras masas de arcillas blancas, algunas de esas mayores que las El Yeso de El Papayo. En varios puntos la arcilla tiene un recubrimiento muy pequeño. En ningún caso ofrecería dificultades su explotación a cielo abierto.

Cuadro 46. Análisis químico de arcillas de El Papayo (valores expresados en porcentajes, %)

	Muestra I	Muestra II
SiO ₂	81,10	72,50
Al ₂ O ₃	12,85	20,62
Fe ₂ O ₃	0,32	0,73

6.1.6.2.3 Depósitos El Tanque

En estos depósitos se está explotando arcilla blanca. Están ubicados en el tope de un cerro, situado aproximadamente a 12 kilómetros al Sur de Quíbor. Los lechos de arcilla blanca presentan aquí una buena estratificación e intercalaciones con capas ferruginosas. El espesor de las capas individuales de arcilla blanca varía entre uno y tres metros; el espesor de las arcillas ferruginosas es de 20 cm. Igual que en otras partes, la arcilla está manchada por percolación en los planos de separación de los lechos individuales. En la superficie las capas de arcilla blanca forman un horizonte constante que se puede seguir en los cortes hechos por las quebradas. Sus dimensiones visibles son aproximadamente: 2.000 metros de longitud, 100 metros de espesor y entre 300 y 400 metros de ancho. El recubrimiento varía entre 10 y 15 metros y como quiera que es de material suelto, sería fácil de remover. Se estiman reservas por un total superior a los 8 millones de toneladas de material comercial.

A estos afloramientos se llega por una carretera que parte de la quebrada Los Pílancones, aproximadamente a un kilómetro aguas arriba del punto donde la carretera Quíbor–Cubiro abandona definitivamente el lecho de la mencionada quebrada. Otros lugares donde se observan arcillas están situados aproximadamente a dos kilómetros aguas arriba del punto donde la carretera Quíbor–Cubiro se aparta de la quebrada Los Pílancones. La arcilla blanca se observa aquí solamente en la base de unos acantilados compuestos por arcillas moteadas y materiales heterogéneos, los cuales representan parte de un abanico aluvional. Esta arcilla parece similar a los anteriores en la región El Tanque, pero está mucho más contaminada e impura. Originalmente la explotación de arcilla se comenzó en este punto, pero fue abandonada debido al gran espesor del recubrimiento.

6.1.6.2.4 Depósitos de Laguna (Los Pílancones)

Las arcillas de estos depósitos afloran a lo largo de un pequeño afluente de la quebrada Los Pílancones, a aproximadamente un kilómetro aguas arriba de donde la carretera Quíbor–Cubiro abandona el lecho de la mencionada quebrada. Se observan aquí las arcillas en una extensión de cerca de 400 metros de largo y aproximadamente 40 metros de ancho. El rumbo de las capas es de SO–NE y su buzamiento es muy elevado, casi vertical. La profundidad visible es superior a los 100 metros. Gran parte de la arcilla ha sido removida por la quebrada cerca de su confluencia con la de Los Pílancones.

La arcilla de este depósito contiene una mayor cantidad de lentes de materiales estériles que las arcillas anteriormente mencionadas, pero a pesar de ello ha sido explotada y está de nuevo en explotación, utilizándose para la fabricación de ladrillos refractarios. Este sitio es de fácil acceso por el camino entre Quíbor-Cubiro y la quebrada Los Pílancones.

Cuadro 48. Análisis químico de arcillas de Laguna (valores expresados en porcentajes, %)

	Muestra
SiO ₂	62,50
Al ₂ O ₃	28,33
Fe ₂ O ₃	0,67

6.1.6.2.5 Depósitos Barbacoas

En las cercanías de la población de Barbacoas existen por lo menos dos afloramientos de arcilla blanca, cuyo aspecto general y cantidad indican que serían explotables. El primer afloramiento se encuentra junto al kilómetro 44 de la carretera Humocar Bajo-Barbacoas. La arcilla pura es de color blanco y de muy buen aspecto, pero su parte superficial ha sido contaminada por materiales ferruginosos. Las capas aquí están sumamente distorsionadas, lo cual ofrece grandes dificultades para medir su espesor, pero este material se extiende hacia el Noreste de la carretera a lo largo de una quebrada, en cuyos cortes está ampliamente expuesta. El recubrimiento es relativamente de poco espesor y muy irregular. El segundo afloramiento está situado cerca del kilómetro 8 por la carretera a San Pedro. Aquí se pudieron medir sus dimensiones. Muestra una extensión lateral de entre 150 a 200 metros, un ancho cercano a los 50 metros y un espesor visible de unos 20 metros. El espesor del recubrimiento es de uno a dos metros. Ambos depósitos se encuentran situados a lo largo de una carretera y no ofrecen dificultades para su explotación y transporte del material extraído.

6.1.6.3 Depósitos al Norte y Noroeste de Barquisimeto

Hasta aquí se ha mencionado solamente las arcillas que se encuentran al Suroeste de Barquisimeto. A continuación enumeraremos los yacimientos ubicados al Norte y Noroeste de la ciudad, los cuales, aunque más pequeños tienen cierta importancia económica.

6.1.6.3.1 Depósito Carorita

En las laderas del cerro La Laguneta, situado al Norte del caserío Carorita y a aproximadamente 8 kilómetros al Norte de Barquisimeto se observan varios afloramientos de arcilla blanca, aparentemente de muy buena calidad, pero muy contaminada localmente. En los años 1951 y 1952 se realizaron algunos estudios en este sitio por medio de calcatas. Según esos estudios, el espesor de la arcilla blanca en el cerro La Laguneta varía entre 4 y 6 metros. Otros geólogos han calculado una existencia de aproxi-

Cuadro 49. Análisis químico de arcillas de Carorita (valores expresados en porcentajes, %)

	Muestra
SiO ₂	73,00
Al ₂ O ₃	7,09
Fe ₂ O ₃	0,41

madamente 70.000 toneladas. El recubrimiento varía de 1 a 10 metros.

6.1.6.3.2 Depósito de El Retén

A aproximadamente a 5 kilómetros al Norte de Barquisimeto y en los cerros bajos que bordean una gran planicie se han observado capas horizontales de arcillas blancas de unos cuatro metros de espesor. La extensión probable de la arcilla es de aproximadamente 100.000 metros cuadrados. Sin embargo, estas arcillas están cubiertas por sedimentos, posiblemente del Oligo-Mioceno, y su explotación requeriría remover un recubrimiento de un espesor quizás superior a los 30 metros.

6.1.6.3.3 Depósitos de Bobare

En los Cerritos Colorados, situados un kilómetro al Norte de la población de Bobare, hay un afloramiento de arcilla blanca pirofilitica de un espesor aproximado de 20 metros, descansando sobre areniscas cuarcíticas y cubiertas por lutitas moteadas. No se conocen las dimensiones de estos lechos; pero, de todos modos, se les considera como depósitos de posibilidades económicas. Aunque existe menor cantidad de material que en otros depósitos, el de Bobare tiene la ventaja de estar situado a solamente un kilómetro de la carretera Barquisimeto-Bobare-Coro. Recientemente este depósito fue sometido a una explotación inadecuada, lo cual ocasionó el derrumbe del frente de arranque y la completa paralización de la explotación.

Además de los Cerritos Colorados, hay numerosos afloramientos de arcilla blanca por la carretera que conduce de Bobare a Churuvara. En la gran mayoría de los casos la arcilla, de muy buena calidad, aparece en forma de delgados lechos intercalados con arcillas de otros colores y capas de arenisca blanca y friable. Las arcillas observadas a lo largo de la carretera no ofrecen buenas condiciones para la explotación, puesto que su separación de los materiales estériles la hacen no económica. Sin embargo, a ambos lados de la carretera y en las laderas de los cerros existen muchos sitios cuyo aspecto general sugiere la existencia de este material en forma maciza y en grandes cantidades. En una localidad situada en la ladera de un cerro, aproximadamente a unos 7 kilómetros al Noreste de Bobare, se ha explotado arcilla blanca.

6.1.6.3.4 Depósito de El Copeyal

En el sitio El Copeyal, situado 30 kilómetros al Norte de Bobare (por la carretera vieja), hay varios depósitos de arcilla blanca en

Cuadro 50. Análisis químico de arcillas de El Copeyal (valores expresados en porcentajes, %)

Muestra	
SiO ₂	66,85
Al ₂ O ₃	24,83
Fe ₂ O ₃	0,32

Cuadro 51. Análisis químico de arcillas de Villa Rosa (valores expresados en porcentajes, %)

	Muestra I	Muestra II
H ₂ O	2,22	1,98
SiO ₂	64,13	70,35
Fe ₂ O ₃	0,63	0,40
Al ₂ O ₃	24,92	19,47
CaO	trazas	0,57
MgO	trazas	trazas
Na ₂ O	0,47	0,40
K ₂ O	1,41	1,26
Pérdida al rojo	5,75	5,15

forma de bolsones y capas delgadas e intercaladas con arenisca. Estos depósitos no ofrecen buenas posibilidades de explotación, pero se mencionan aquí porque han sido estudiados por varias firmas interesadas en este material. Intercalaciones de arcilla blanca con otras capas se ven, por lo menos, por otros 10 kilómetros más al Norte de Copeyal, algunos de ellos de espesor que aparentemente justificarían un estudio más detallado, la intensa deformación de las capas eocenas impide una evaluación rápida de la potencialidad de las arcillas.

A pesar de que estos depósitos de arcillas blancas son los más extensos y de mejor calidad en todo el país, hasta la fecha poco se ha hecho para su cabal desarrollo minero. Esto se ha debido principalmente a problemas surgidos como consecuencia de una explotación inadecuada, la cual se origina por no utilizarse los métodos de explotación con las técnicas requeridas para evitar derrumbes en los frentes de arranque. La contaminación del material solicitado por la industria ha sido superada al hacer explotaciones selectivas, algunas veces explotando a mano los bolsones de arcilla blanca que aparecen dentro del yacimiento. Para realizar una explotación más tecnificada es necesario realizar un levantamiento geológico en detalle de cada uno de los frentes de arranque, a fin de hacer una evaluación detallada de las reservas de cada yacimiento.

6.1.6.4 Distribución espacial de las arcillas

6.1.6.4.1 Distrito Iribarren

Involucra las arcillas de Bobare, Algarí, Carorita, Mucuragua y Copeyal, así como las arcillas pirofiliticas del Distrito Iribarren.

6.1.6.4.2 Distrito Jiménez

§ **Hacienda Villa Rosa.** Ubicada a orillas de la carretera hacia Sanare, a 46 km de Barquisimeto. Allí existen varios depósitos de arcilla de magnífica calidad. Su potencial no ha sido calculado, pero puede estimarse como de gran magnitud. Los terrenos pertenecen a la Sucesión Ortiz. El precio de venta en la propia mina, es de 900 a 1.000 bolívares la tonelada métrica. Durante el año 1994 se vendieron 90.260 tm, las cuales fueron consumidas por las empresas nacionales de cerámica. La explotación se realiza en forma técnicamente aceptable como se indicará más adelante. Los resultados de varios análisis sobre el promedio de dos muestras representativas, efectuados en el Centro de Evaluación del Ministerio de Minas e Hidrocarburos (Hoy Ministerio de Energía y Minas), fueron los siguientes:

§ **Cerro Cabrera.** En la carretera hacia El Tocuyo, a 48 km de Barquisimeto, colindando con la Hacienda Villa Rosa, se encuentra la posesión Cerro Cabrera, propiedad de P. Eliseo Alonso. Allí las reservas de arcilla también son considerables y actualmente son explotadas por la firma Arcilara C.A. El precio es de Bs. 400 la tm en el yacimiento. Las ventas en 1993 fueron de 4.800 tm a las industrias consumidoras del país. El método de explotación es similar al empleado en Villa Rosa.

§ **Loma de Curigua.** A 7 km de Sanare y 65 km de Barquisimeto se encuentran los depósitos de arcilla de Curigua, propiedad de Psiciliano Hernández. Las reservas son cuantiosas. Durante el año 1973 se vendieron 6.000 tm de este material a diferentes fábricas de cerámicas. El precio es de Bs. 450 la tm en la mina. Según análisis del Centro de Evaluación del Ministerio de Minas e Hidrocarburos (Hoy Ministerio de Energía y Minas), la composición química de dichas arcillas es la siguiente:

§ **Los Molinos.** Pequeños yacimientos a unos 42 km de Barquisimeto. Los terrenos son de propiedad privada y la arcilla era explotada en forma irregular. Durante 1990 la producción alcanzó las 3.000 tm, con un precio de venta de Bs.1.000 la tm. Toda esta producción fue consumida por el mercado nacional de cerámica. Actualmente la explotación está paralizada.

§ **Cuara.** Pequeño yacimiento a 12 km de Barquisimeto, cuyos terrenos son de propiedad particular. La explotación se encuentra actualmente paralizada.

§ **El Jayo.** Pequeño yacimiento en las cercanías de Loma de Curigua, el cual fue explotado recientemente. En la actualidad se encuentra paralizada la explotación.

6.1.6.4.3 Distrito Morán

En Loma de Guárico, a 98 km de Barquisimeto, en ruta a la posesión perteneciente a Francisco Saldivia, está ubicado un pequeño depósito de arcilla, el cual ocurre en bolsones y vetas de composición química variada, como lo demuestran los análisis del Laboratorio de la Venezolana de Cementos.

Existen varios yacimientos de arcillas en la zona de Curarigua. En años anteriores estos depósitos estuvieron en explotación, pero actualmente su laboreo está paralizado.

Cuadro 52. Análisis químico de arcillas de Loma de Curigua (valores expresados en porcentajes, %)

	Muestra
H ₂ O	1,59
SiO ₂	62,61
Fe ₂ O ₃	0,47
Al ₂ O ₃	24,00
CaO	trazas
MgO	trazas
Na ₂ O	0,39
K ₂ O	1,73
Pérdida al rojo	5,79

Fuente: Centro de Evaluación del Ministerio de Minas e Hidrocarburos (Hoy Ministerio de Energía y Minas).

6.1.6.5 Pirofilitas del Distrito Iribarren, estado Lara

Las pirofilitas son un tipo de arcilla muy poco común. Es altamente refractaria (funde entre 1.621–1.770°C). No es plástica y cuando es pura su color, después de calcinada, es blanco. Tales características, también comunes al caolín, le permite sustituir a éste, al menos parcialmente. Atendiendo a sus usos, es costumbre agruparla dentro del renglón del talco, al que puede reemplazar en numerosos empleos. Además de servir para los fines antes mencionados, la pirofilita se utiliza ampliamente en las mezclas cerámicas, y, llegando el caso, en la obtención de aluminio. Esta multiplicidad de usos la coloca en un lugar privilegiado entre los minerales no metálicos en la Región Centro–Occidental: mucho más si se piensa en que las reservas disponibles ascienden a varios millones de toneladas métricas, las cuales, mayoritariamente, pertenecen al patrimonio del Concejo Municipal.

Teóricamente, la composición porcentual de la pirofilita, fórmula química Si₄O₁₀Al₂(OH)₂, vendría a ser:

Cuadro 54. Análisis químico de pirofilitas del Distrito Iribarren (valores expresados en porcentajes, %)

En términos comparativos, un análisis promedio de varias muestras de arcillas de Bobare dio los resultados siguientes:

Cuadro 55. Análisis químico de arcillas de Bobare (valores expresados en porcentajes, %)

Cuadro 53. Análisis químico de arcillas de Loma de Guárico (valores expresados en porcentajes, %)

	Promedio de 15 muestras	Promedio de 5 muestras
H ₂ O	61,4	82,52
Al ₂ O ₃	20,0	23,21
Fe ₂ O ₃	0,5	0,48

Es decir, que el contenido de alúmina, compuesto altamente refractario, es 4,6% más alto en esta pirofilita que en la teóricamente calculada. Este valor se mantiene bastante constante, aun en aquellas muestras en las cuales el porcentaje de sus otros componentes sufre alteraciones de alguna importancia. Tal característica refuerza, todavía más, su idoneidad como posible mena de aluminio.

La pirofilita, al igual que el talco, es de origen hidrotermal. En el caso específico de los yacimientos de Bobare, Algarí, Carorita y Mucuragua, la pirofilita se formó a partir de lutitas, con persistencia de la estructura laminar de éstas. Se presenta en bolsones, intercalada con capas delgadas de areniscas. No es extraño encontrar también depósitos de lutita. Los colores predominantes son blanco grisáceo y gris pálido. La impureza más común es el óxido de hierro, fácilmente detectable a simple vista. Hay que llevar un control estricto sobre el óxido de hierro para los diferentes usos en la industria.

Además de los antes nombrados, existen otros yacimientos de pirofilitas ubicados en:

	Muestra
SiO ₂	67,7
Al ₂ O ₃	28,3
H ₂ O	0,5

§ Algarí y Carorita. Estos depósitos, a pesar de que sus reservas no han sido calculadas, pueden clasificarse como medianos. Cuentan con arcillas similares a las de Bobare y su explotación está paralizada.

	Promedio de varias muestras
SiO ₂	58,5
Al ₂ O ₃	31,9
H ₂ O	6,4

§ Mucuragua: Pequeño yacimiento de pirofilita no evaluado. Está localizado en terrenos de la familia Monje, en jurisdicción del Municipio Aguedo Felipe Alvarado. Hace tiempo fue explorado.

De la arcilla de Mucuragua se enviaron muestras a la compañía English Clay Lovering Pochin & Co Ltd. He aquí los resultados:

Cuadro 56. Análisis químico de arcillas de Mucuragua (valores expresados en porcentajes, %)

Muestra	
SiO ₂	59,99
Al ₂ O ₃	31,00
TiO ₂	1,50
Fe ₂ O ₃	0,45
CaO	0,08
MgO	0,25
K ₂ O	2,30
Na ₂ O	0,27
Pérdida al rojo	5,50

Cuadro 57. Análisis mineralógico de arcillas de Mucuragua valores expresados en porcentajes, %)

Muestra	
Caolinita	2
Cuarzo	7
Mica	16
Pirofillita	72
Feldespato	-
Montmorillonita	0

6.1.6.6 Arcillas de Bobare

Las arcillas de Bobare presentan una composición química relativamente uniforme en la totalidad de los yacimientos estudiados. La variación de sus componentes no afecta sensiblemente la calidad de las mismas, a excepción del óxido de hierro, substancia indeseable en la industria de cerámica fina. El siguiente análisis corresponde a los resultados promedios de muestras representativas, analizadas en el laboratorio de una empresa de la región.

Actualmente no están siendo explotados, porque el Ministerio de Minas e Hidrocarburos (Hoy Ministerio de Energía y Minas) ordenó paralizar los trabajos de laboreo, por considerar que éstos adolecían de defectos técnicos que ponían en peligro la seguridad de los trabajadores. También conviene señalar que, gracias a las sugerencias de FUDECO, el Concejo Municipal del Distrito Iribarren procedió a hacer el correspondiente levantamiento topográfico de los mencionados ejidos.

6.1.7. Trabajo de campo y análisis de laboratorio

La etapa de campo se llevó a cabo durante 3 meses, correspondientes a Noviembre y Diciembre de 1989 y Enero de 1990. En esta etapa se procedió al levantamiento geológico y finalmente la recolección de muestras tanto de arcillas como de rocas.

En general todo este trabajo de campo se puede resumir en las siguientes labores:

Cuadro 58. Análisis químico de arcillas de Bobare (valores expresados en porcentajes, %)

Promedio de varias muestras	
SiO ₂	65,10
Al ₂ O ₃	35,50
H ₂ O	0,64

- Reconocimiento y ubicación topográfica por técnicas de inspección en carreteras y quebradas, triangulación y poliginación en las minas.
- Descripción de los afloramientos: su ubicación, toma de muestras, medición de espesores, rumbo y buzamiento, color fresco y meteorizado, tamaño de grano (en el caso de areniscas), estructuras sedimentarias; para el caso de las arcillas, además de estas características se indicaba su grado de consolidación, textura y contenido de óxidos de hierro, verificación de contactos geológicos previamente fotointerpretadas.
- En función de los datos geológicos se reconocen las estructuras geológicas sobre el mapa-base.
- Almacenamiento y rotulado de muestras.
- Elaboración de columnas estratigráficas locales.

En los análisis de laboratorio se efectuaron los siguientes estudios:

- Análisis Petrográficos-Diagenéticos:** En muestras de areniscas, calizas y rocas no clásticas para su clasificación, reconocimiento del ambiente sedimentario y ambiente post-depositacional.
- Difracción de Rayos X-Análisis Térmicos Diferenciales:** Para la identificación de los minerales en las arcillas.
- Análisis Químicos:** En muestras de arcilla para conocer su composición y así clasificarlas, tanto desde el punto de vista industrial, como litológicamente.
- Cálculo de Densidades:** En muestras de arcilla, para la cuantificación de las reservas.

6.2 Caolín

El caolín es una roca arcillosa cuyo mineral, la caolinita, tiene una estructura cristalina bien definida y químicamente es un silicato de alúmina. Como materia prima, el caolín es utilizado por las industrias de refractarios, cerámica, papel, pintura, caucho, adhesivos, insecticidas, farmacia, tinta, y plásticos; y dentro de cada sector nombrado encontramos una variedad apreciable de tipos definidos por especificaciones que influyen en la calidad del producto manufacturado acabado. Para numerosos productos internacionales esta diversificación implica una especificación en la produc-

ción, que puede rentabilizar el procesamiento asociado de otros productos con características comunes –granulometría, por ejemplo– y destinados a los mismos sectores que utilizan el caolín. Estos productos puedan ser feldespato, carbonato de calcio, sílice, talco, óxido de titanio, bórax, etc.

Esta estructura en la producción la encontramos en Venezuela a una escala más modesta en los dos productores organizados en la industria procesadora como son, Venecaolín Y Mominaca, las cuales muelen –por no decir procesan– 80 toneladas diarias de la mayoría de los productos mencionados arriba, sin llegar a cubrir las necesidades del mercado existente en lo que se refiere al caolín y feldespato, debido a las especificaciones técnicas tan diversas y estrictas que apuntamos anteriormente.

6.2.1 Especificaciones del caolín

Varias características físico-químicas condicionan el precio del caolín. Las especificaciones dependen en gran medida de los varios refinamientos que sufre el caolín bruto. A continuación indicamos algunos de estos aspectos:

6.2.1.1 Análisis químico (Método ASTM C323-53T)

Los componentes químicos que forman el caolín son sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3), y toda una serie de impurezas como óxidos de hierro (Fe_2O_3), de titanio (TiO_2), de calcio (CaO), de magnesio (MgO), de sodio (Na_2O) y de potasio (K_2O). La suma de los valores porcentuales de todos los componentes anteriores más el porcentaje por pérdida al fuego (PPI) hace un total de 100% (pérdida por ignición).

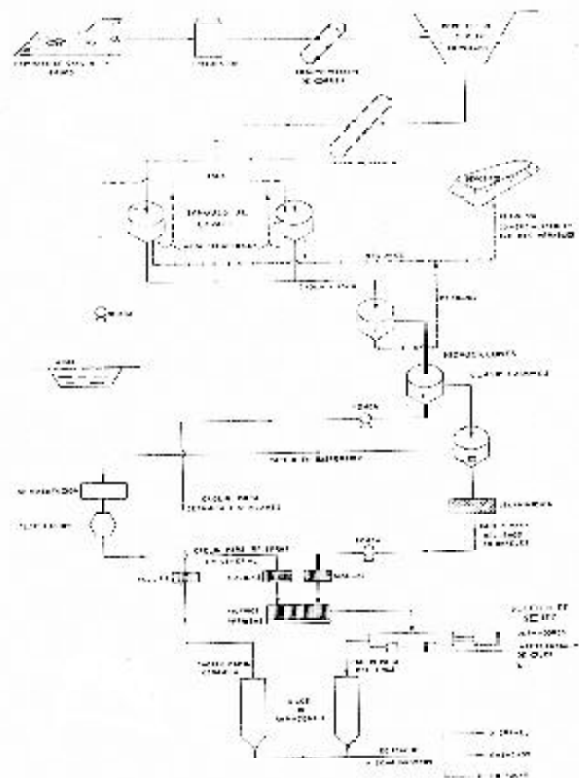
§ **Sílice.** En todos los caolines el porcentaje de SiO_2 está por el orden de 45%. Un tenor elevado de sílice y alúmina determina el color cuando se calcina el producto.

§ **Alúmina.** El valor promedio de Al_2O_3 en los caolines estudiados es de 40%. Este componente reviste mucha importancia en la industria de la cerámica, por el poder refractario que confiere a los productos elaborados.

§ **Óxido de hierro.** El porcentaje de óxido de hierro varía entre 0,3 y 0,6 por ciento. En el caso de caolín destinado a la industria de la cerámica este tenor puede alcanzar valores más elevados (5% en caolines del Mississippi). En la industria del papel es distinto, se permite 0,3% como máximo, y el proceso de eliminación de esta impureza lleva el nombre de *bleaching*. El alto contenido de óxido de hierro de un caolín puede apreciarse en el color rojizo del caolín bruto y en el color oscuro al calcinarse.

§ **Otros elementos.** Se ha apreciado que el óxido de hierro está presente en todos los caolines utilizados en el país, y que las industrias no aceptan impurezas como óxidos de calcio, magnesio, sodio y potasio.

Figura 25. Diagrama de flujo típico de una planta procesadora de caolín



6.2.1.2 Granulometría y finura del producto

Este es un aspecto importante al considerar la calidad de un caolín. Por regla general se suele especificar el residuo máximo retenido sobre determinadas mallas, por ejemplo:

- § Sobre malla 200 (74 micras) para cerámicas
- § Sobre malla 325 (44 micras) para papel (*filler*)
- § Sobre malla 400 (20 micras) para pinturas, papel (*coating*)

Los productores internacionales, además de cumplir con este requisito, entregan al mercado un material bien calibrado granulométricamente, o sea con una distribución constante de las diversas fracciones. La curva granulométrica es más importante en sí que la sola especificación de residuos sobre malla. En el caso del caolín, las curvas granulométricas presentadas en los gráficos 3, 4 y 5 han sido dibujadas con base en las distribuciones siguientes:

La curva del caolín para cerámica corresponde al UC-25-CLAY de Georgia Kaolin, muy similar al usado por las compañías venezolanas Vencerámica y Sanitarios Maracay. La curva correspon-

Cuadro 60. Consumo de sectores según tamaño de las partículas (valores expresados en porcentaje, %)

Tamaño de las partículas	Cerámica	Papel (filler)	Papel (coating)	Pinturas
Menores de 10 micras	79,5	92,0	98,0	–
Menores de 5 micras	68,0	82,0	95,5	98,0
Menores de 2 micras	53,5	61,5	81,0	80,0
Menores de 1 micra	40,0	40,0	58,0	68,0
Menores de 0,5 micras	28,0	21,5	33,0	56,0
Menores de 0,2 micras	11,0	5,0	5,0	42,0

diente al relleno para papel (filler) corresponde al tipo WP de Georgia Kaolin, utilizado por la compañía papelera venezolana Manpa. La curva del caolín para recubrimiento del papel es del tipo KCS de Georgia Kaolín utilizado por Manpa. Se puede apreciar que este caolín es más fino que el anterior, siendo la partícula promedio de 0,8 micras (a 50% sobre las curvas granulométricas). El caolín correspondiente a pinturas es del tipo Freeport, utilizado por Pinturas Montana, con una partícula promedio de 0,2 a 0,4 micras.

Es oportuno señalar que en la práctica estas dimensiones de partículas no se pueden conseguir con simple molienda, sino que será necesario efectuar un proceso de micronización o ultramicronización, que fracciona el caolín hasta 0,1 micras en un ambiente de alta temperatura (hasta 2.500°F) y presiones decrecientes. En la práctica, siempre es posible reconstruir un caolín con determinadas características, si se dispone del suficiente número de silos que almacenen caolín con cierta granulometría o especificaciones cuya mezcla haga posible el caolín buscado.

Si las curvas granulométricas deben estar calibradas, esto no excluye que el área de distribución sea bastante amplia, como se puede apreciar en los gráficos 3 y 4. Apareciendo entonces que son otros factores, como características físico-químicas, los que determinen el tipo de caolín a utilizar. A los efectos del diseño de una planta clasificadora de caolines, se ha incluido un cuadro que presenta las toneladas consumidas en Venezuela por los diferentes sectores clasificados según las fracciones granulométricas.

Los datos del cuadro anterior podrían hacernos pensar que la producción de caolín es simplemente un asunto de clasificar el material. En verdad, la realidad es diferente; pues, tal como hemos venido aseverando, la materia prima debe cumplir con otras exigencias. Por lo tanto, es indispensable conocer las características físicas y químicas del material bruto; ya que esta información es la que define.

6.2.1.3 Propiedades físicas

Existen ciertas características físicas que pueden ayudar a la clasificación de un caolín, las cuales señalaremos someramente.

- **Plasticidad (Método ASTM C423 y C424).** Se define como el porcentaje de agua que limita el comportamiento de una arcilla desde el estado semi-sólido hasta el estado líquido (Insti-

Gráfico 1. Curvas granulométricas del caolín para papel

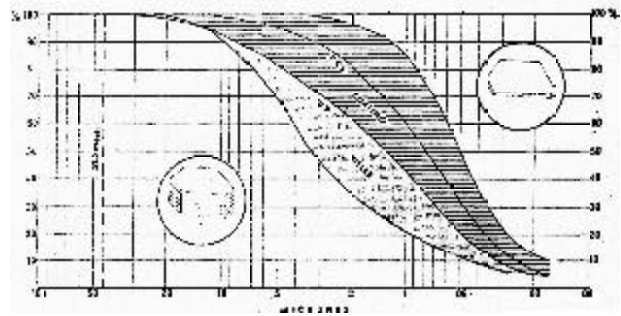


Gráfico 2. Curvas granulométricas del caolín hidratado

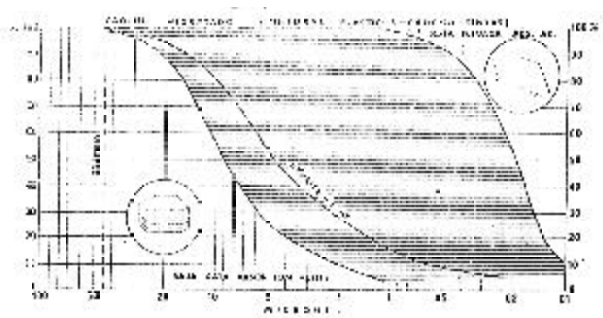
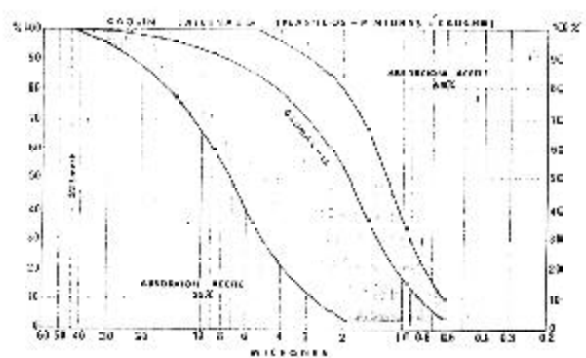


Gráfico 3. Curvas granulométricas del caolín calcinado



Cuadro 61. Toneladas consumidas clasificadas por fracciones granulométricas

Año	40/20	20/10	10/5	5/2	2/1	1/0,5	0,5/0,2	0,2/0,1	Total
1965	660	880	1.210	1.980	2.530	2.310	1.320	200	11.000
1970	840	1.120	1.540	2.520	3.220	2.940	1.680	280	14.000
1971	1.080	1.440	1.980	3.240	4.140	3.780	2.160	360	18.000
1972	1.320	1.760	2.420	3.960	5.060	4.620	2.640	440	22.000
1973	1.620	2.160	2.970	4.860	6.210	5.670	3.240	540	27.000
1974	1.980	2.640	3.630	5.940	7.590	6.930	3.960	660	33.000
1975	2.400	3.200	4.400	7.200	9.200	8.400	4.800	800	40.000
Porcentaje (%)	6	8	11	18	23	21	12	2	100

tuto de Investigación Petrolera-INVESTI). El valor de esta característica es útil para indicar el rango de trabajo de una pasta de arcilla y agua en la industria de la cerámica.

- **Cono pirométrico equivalente (PCE).** Es indicativo del punto de reblandecimiento y fusión del caolín o la arcilla cuando éstos son sometidos a altas temperaturas. Se considera que un número comprendido entre 19 y 26 es señal de bajas características refractarias, en tanto que aquellas con un PCE superior a 26 son refractarias. El caolín usado por la industria de la cerámica nacional posee un PCE comprendido entre 26 y 34, indicativo de un buen poder refractario del producto acabado. El PCE está relacionado con el contenido de alúmina del material, como podemos observar en el siguiente cuadro.

Cuadro 62. Relación entre contenido de alúmina y PCE

Nº PCE	Al ₂ O ₃ (%)
33	50
37	60
38	70
39	80
41	90
42	99

- **Reducción.** Representa la contracción experimentada por el caolín al secarse a 105°C o cuando es sometido a calcinación (Norma ASTM C326). Define el encogimiento o alargamiento y el aspecto de las pastas después de cocidas.
- **Absorción de agua.** Define la cantidad de agua en peso que absorbe una pieza de arcilla después de cocida a determinada temperatura.
- **Absorción de aceite.** Es una característica que interviene en la industria de la pintura y está relacionada con la finura del material. Generalmente se encuentran valores entre 50 y 60 (PCE).

- **Brillo General Electric (GE).** Es una característica importante en los caolines para papel, pintura y cauchos. Los valores varían entre 80 y 92 (PCE), siendo los valores altos los correspondientes a pinturas.
- **Viscosidad.** Permite evaluar el uso del caolín como material de relleno (filler). Los ensayos se efectúan con concentración de sólido variable, según el uso al cual se destine.
- **Otros parámetros.** Incluyen rata de colado, modulo de rotura, pH, etc. Para obtener más información sobre especificaciones y pruebas del caolín, remitimos al lector al trabajo publicado por el Instituto de Investigación Petrolera (INVESTI) en 1962 titulado Arcillas industriales. Parte I: Bases técnicas.

6.2.2. Mercado nacional del caolín

Para averiguar la demanda de caolín en el país se realizó una encuesta entre los principales utilizadores de este producto, habiéndose solicitado especificaciones, precios y cantidades consumidas. Las fichas que resumen la encuesta realizada se han entregaron a C.A. Venezolana de Cementos en forma independiente.

En 1968 la demanda de caolín fue de 20.400 toneladas, de las cuales se importaron 9.990 toneladas. Por sectores apuntamos que:

- La industria de la cerámica (refractarios, baldosas, sanitarios) absorbió 74% de la demanda total
- La industria del papel consumió 12%
- La industria de las pinturas consumió 10%
- La industria del caucho y otras consumieron 4%

La industria de la cerámica, que consume 15.000 toneladas, presenta la distribución siguiente: 33% de dicho total se utiliza en la fabricación de artículos finos y de gran tamaño –por ejemplo, sanitarios– subsector en el cual el precio de la pieza fabricada no permite rechazos y exige una calidad constante y controlada de la materia prima. El restante 66% es nacional y se destina a la fabricación de artículos corrientes como baldosas y refractarios.

La industria del papel y de la pintura absorbe una cantidad limitada de caolines muy diversificados.

En cuanto a las proyecciones de la demanda de caolín en Venezuela, consideramos que el programa gubernamental de construcción de 100.000 viviendas por año traerá como consecuencia un incremento en el consumo de caolín en lo que se refiere al sector de la cerámica. Los propios industriales nos han indicado que estiman un incremento de 30% anual en este aspecto. Adoptaremos este valor, aunque parece bastante optimista.

En lo que se refiere a la producción nacional, en el país hay tres procesadores de caolín:

§ Cerámica Carabobo. Esta empresa se abastece totalmente de caolín nacional, el cual es procesado por ella misma en su planta de Valencia produce o adquiere de productores independientes un total de 9.200 ton/año (1986).

§ Mominaca. Planta Explotadora de Feldespato y Caolín en el Estado Cojedes.

§ Venecaolín. En su planta de Cagua, estado Aragua, produce 45 ton/día de caolín y carbonato de calcio. La sílice se somete a una molienda a 140 mesh (105–0 micras) y el carbonato de calcio a una molienda a 30 mesh (590–0 micras). Los productos se secan en horno y se ensacan a mano. Su principal mercado es el de pinturas (Pinturas Montana), vidrio, caucho y detergentes (suministra 200 tm de carbonato de calcio a Ajax. En el transcurso del estudio se conoció que Pinturas Montana está interesada en adquirir parte o totalmente a Venecaolín.

Desde hace tiempo la industria, o mejor dicho la explotación racional del caolín, ha sido objeto de proyectos; sin embargo, hasta la fecha ninguno de ellos ha prosperado. Hace seis años, por ejemplo, la compañía neoyorquina Huber Corporation realizó estudios de yacimientos de caolín en los Andes. Pero el resultado no fue positivo y el proyecto fue abandonado. Muchos hacendados poseen yacimientos de caolín en sus tierras, por ejemplo Morales y Duplat en Guatire, Montealegre en Upatá etc. Los proyectos de explotación de estos yacimientos no evaluados no han prosperado.

Más recientemente, un grupo de inversionistas venezolanos, la compañía Minlaca e Importadora y Exportadora Venezolana, establecieron contacto con la compañía francesa de ingeniería Venot-Pic, la cual aceptó diseñar y montar una planta procesadora de caolín, recibiendo caolín venezolano como parte de pago. Hasta donde sabemos, este negocio también se encuentra paralizado, quizás por falta de materia prima abundante y de calidad poco fluctuante.

Más cerca de realización nos aparece el proyecto Venecaolín-Montana, el cual ya cuenta con infraestructura: una planta en funcionamiento con posibilidades tangibles de ampliación y mejoramiento, por ejemplo en la micronización de los productos. Terminamos esta lista de proyectos señalando que en Cagua se está

montando una planta para el procesamiento de minerales no metálicos, cuyos dueños se encuentran actualmente en dificultades financieras.

6.3 Arenas y gravas

Las arenas y las gravas son productos de la desintegración de las rocas por meteorización o erosión. Los cursos fluviales principalmente, así como el oleaje las corrientes marítimas, son las fuerzas que desmenuzan la roca en arena o grava.

En Venezuela los cursos fluviales o ríos son las fuerzas que han originado los principales depósitos de arenas y gravas en el país; por consiguiente, el conocimiento de la distribución geográfica de los ríos es de suma importancia. Las aguas fluviales o ríos en el territorio venezolano se dirigen hacia dos grandes vertientes marítimas: la del océano Atlántico y la del mar Caribe. La vertiente atlántica recibe las aguas de la cuenca del Orinoco y la vertiente del Caribe las aguas de una serie de cuencas y sub-cuencas menores que drenan al litoral.

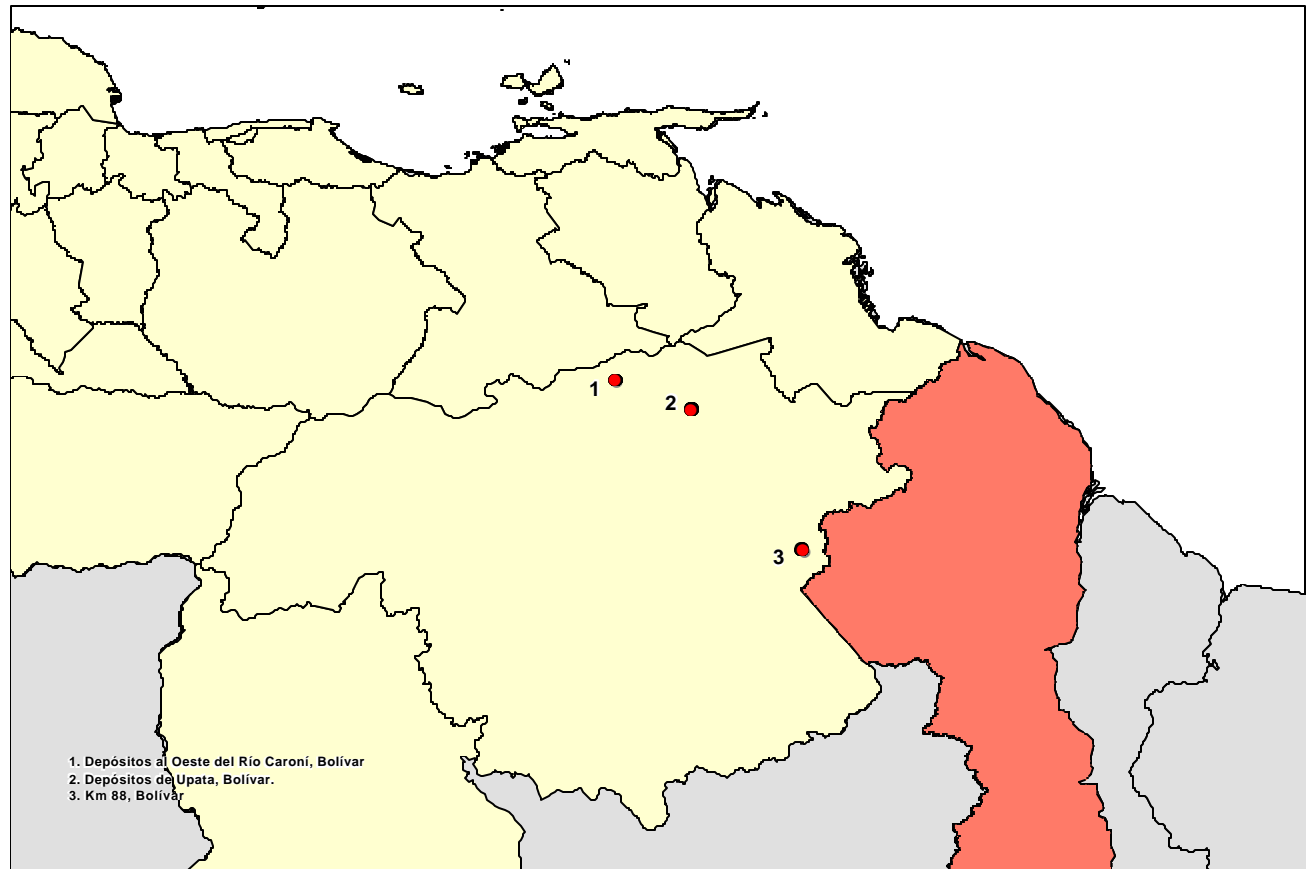
La cuenca del Orinoco tiene una superficie de 950.000 km², de los cuales 650.000 km² están en Venezuela. La cuenca es drenada por el río Orinoco, el cual recibe el tributo de 715 ríos con más de 2.500 afluentes. Esta cuenca bordea por el Norte el piedemonte de las cordilleras de los Andes y de la Costa; de manera que los ríos que nacen en estas cordilleras drenan por el flanco sur hacia la cuenca del Orinoco, enriqueciendo la faja del piedemonte –así como también a lo largo de sus cauces y desembocaduras– con arcillas, arenas y gravas,

En la vertiente del Caribe se encuentran una serie de cuencas menores que drenan el flanco norte de las cordilleras de los Andes y de la Costa. De estas cuencas las más importantes son aquellas que cortan longitudinalmente las cordilleras tales como los ríos Chama, Motatán y Tuy, que presentan valles amplios, terrazas y conos de deyección. Las sub-cuencas del lago de Maracaibo provienen de los sistemas montañosos de Perijá y de los Andes y corresponden a varios ríos que cortan transversalmente estos sistemas en valles estrechos. Son torrentosos de caudales moderados, que al llegar a las áreas bajas a orillas del lago, se transforman en ríos de llanura, presentando lagunas y ciénagas.

La región litoral noroccidental corresponde a pequeñas cuencas que drenan las serranías de Falcón, Lara y Yaracuy. En su mayoría son del tipo arreico (sin salida al mar), ya que pierden sus cauces al acercarse a las costas de Falcón, por la gran permeabilidad de dunas y arenas. Los ríos de las regiones noroccidental y noroientales presentan cauces secos durante gran parte del año, debido al régimen estacional de sequía acentuado en los climas semi-áridos.

Desde el punto de vista morfológico se puede hacer una definición de litoral basada tanto en el aspecto geográfico como en el geológico, al aceptar como tal las zonas que rodean las masas continentales. El litoral o costa venezolana tiene aproximadamen-

Mapa 24. Depósitos de caolín en Venezuela



te tres mil kilómetros de extensión y están sobre el mar Caribe y el océano Atlántico. Esta larga faja puede dividirse bajo el punto de vista geomorfológico en cinco zonas:

- **Zona occidental.** Abarca todo el Golfo de Venezuela, la Bahía del Tablazo hasta el Golfete de Coro. Se caracteriza por sus playas bajas, arenosas, sin accidentes topográficos de importancia.
- **Zona intermedia.** Comienza en la Península de Paría y se prolonga hasta la desembocadura del río Yaracuy. En esta zona se depositan año a año limos y arcillas que acarrear las corrientes que con rumbo Noreste barren el mar. Estas corrientes de lodo se inician en la boca del río Yaracuy y llegan hasta la costa oriental de la Península de Paraguaná.
- **Zona central.** Es una zona de topografía abrupta, donde la cordillera de la Costa no permite la formación de playas. Se extiende desde la desembocadura del río Yaracuy hasta Cabo Codera. En el sentido estricto no existe en esta zona una plataforma continental, ya que el talud se encuentra casi pegado a la costa, la cual suele ser una costa de tipo estructural de hundimientos sucesivos que no ha formado ni siquiera playas. Los únicos sitios donde es posible evidencia algo de plataforma son las zonas donde los ríos de montañas han depositado sobre el talud continental cierta cantidad de sedimentos.

- **Zona oriental.** Tiene forma de una amplia media luna. Fue originada por el hundimiento de los bloques que formaron la Fosa de Cariaco. Se extiende desde Cabo Codera hasta Punta Araya. Sus playas son amplias y bajas, algunas con lagunas formadas por el mar y sectores cenagosos. Hacia el oriente, desde el Morro de Barcelona hasta Cumaná, el litoral es arenoso.

- **Zona atlántica.** Está formada por dos sectores: el Golfo de Paría y el Delta del Orinoco. En la parte de la Península de Paría, la costa es abrupta. Más al Sur, en el golfo propiamente dicho, las playas son suaves, arenosas y cenagosas. El tramo deltáico está formado por sedimentos aluviales recientes, que han rellenado la costa por sobre la línea de marea.

6.3.1 Producción y consumo de arena en Venezuela

Debido a la inoperante Ley de minas, la falta de control de la producción de estas rocas y agregados explotados en el país en yacimientos que no poseen tipo de permisología trae como consecuencia que los explotadores no presenten información alguna. Las arenas del Decreto 600 son las explotadas en playas de mar y en las riveras navegables, por lo tanto son las que necesitan mayor atención en cuanto a los métodos y procedimientos en su extracción.

Cuadro 63. Producción de arenas y gravas (año 1981, en metros cúbicos)

Arena	3.776.612
Arena (Decreto 600)	201.762
Arena silícea	175.936
Grava	3.062.261

La región central del país es una de las mayores áreas consumidoras de arenas y gravas para el sector de la construcción. Se estima que la región produce y consume más de 5 millones de toneladas anuales de arena y gravas, las cuales son utilizadas esencialmente en la manufactura de concreto, bloques, materiales estructurales y baldosas. El material es extraído esencialmente de las zonas de El Ereigüe, Cura, La Entrada, Tocuyito y Barrera. En la actualidad más de 50 empresas ubicadas en varias zonas industriales de los estados Aragua y Carabobo consumen un muy alto volumen de arenas y gravas. A continuación presentamos una lista con varias de esas empresas.

Empresa	Ubicación	Teléfono
Concretera Las Tejerías	Las Tejerías	0244-56047
Concretera Valle Verde	Maracay	0243-2832154
Concretera Italia	Maracay	0243-231664
Concretera Coromoto	Maracay	0243-29988
Concretera La Morita	Maracay	0243-2346887
Concretera Nacional	Cagua	0244-272314
Concretera San José	Maracay	
Concretera Tumer	Turmero	0244-262947
Concretera Italven	Maracay	0243-2330407
Concretera El Lago	Maracay	0243-24474

6.3.2 Arenas silíceas

Cuando meses atrás la empresa C.A Venezolana de Cementos nos suministró unas muestras de caolín para su análisis, después de un tratamiento somero al chorro de agua sobre temices se apreció que el material encerraba aproximadamente 20% de sílice con partículas superiores a 40 micras. Al sernos confiado posteriormente el estudio de mercado sobre rocas industriales, hemos creído conveniente recabar también información acerca de especificaciones, precios y consumo de sílice, por considerarlo un subproducto potencial de una posible explotación de caolín.

El estudio que hemos realizado sobre el mercado de la sílice no reviste un carácter exhaustivo, como ha sido nuestra intención para el caso del caolín. Hemos querido solamente disponer de una información aceptable sobre el mercado de la sílice ya que ésta será producida en pequeñas cantidades. La producción de 16.000 toneladas de caolín entregaría 4.000 toneladas de arena silícea. De allí nuestro deseo de encontrar un empleo de utilidad óptima para este subproducto.

Cuadro 64. Análisis químico de la sílice (valores expresados en porcentaje, %)

Elemento	Porcentaje
SiO ₂	99,00
Al ₂ O ₃	0,20
Fe ₂ O ₃	0,05
TiO ₂	0,20
CaO+MgO	0,20
Co+Cr	0,1
Contaminación metálica	0,01
Alcalinos	0,20

Cuadro 65. Análisis químico de la sílice para vidrio (valores expresados en porcentaje, %)

Elemento	Porcentaje
SiO ₂	99,5
Al ₂ O ₃	0,15 *
Fe ₂ O ₃	0,3*
TiO ₂	0,15*
CaO/MgO	0,055*

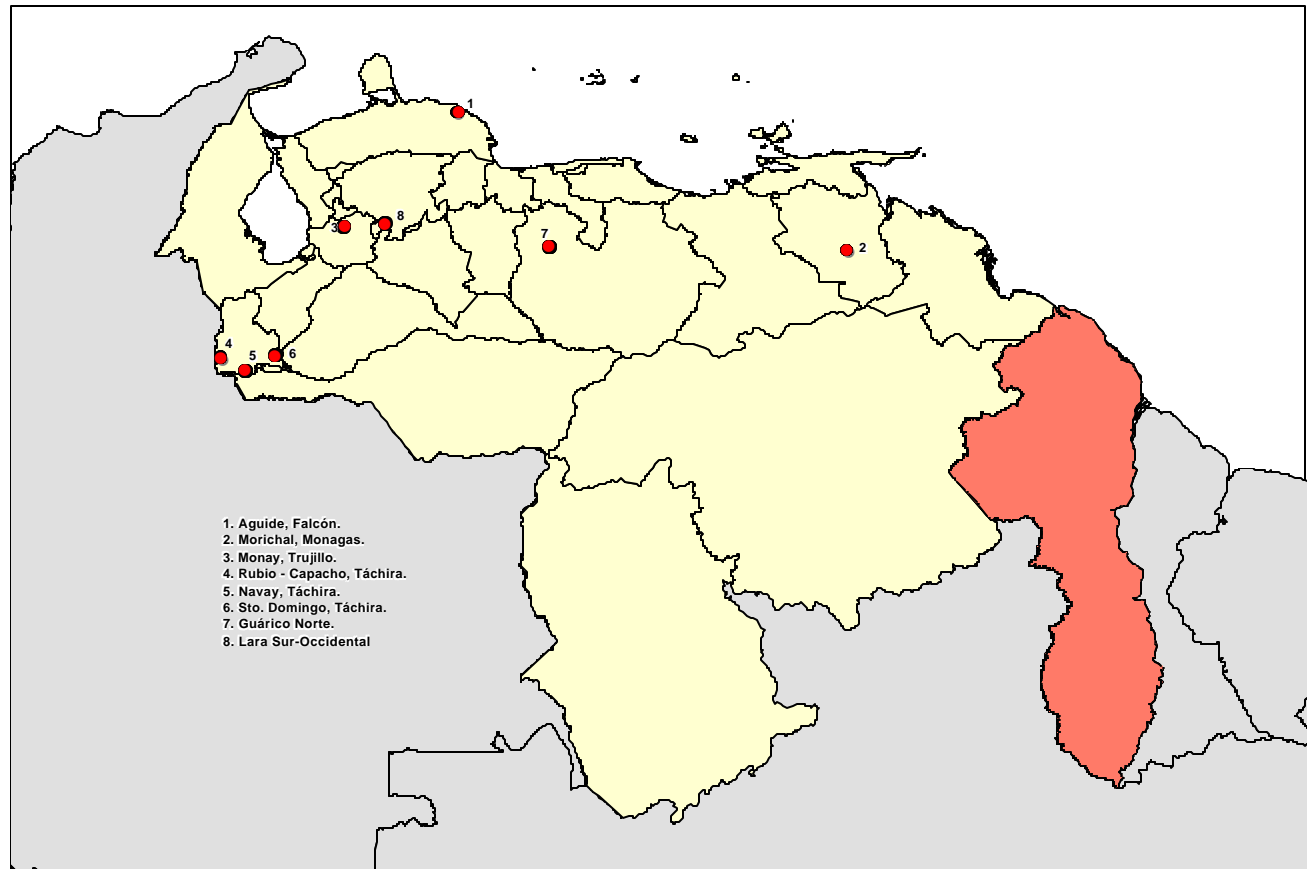
Cuadro 66. Producción de arena silícea (en metros cúbicos, m³)

ESTADO	1999	2000
Monagas	237.055,06	117.247,64
Trujillo	138.273,70	138.273,70

En efecto, estamos admitiendo que la arena producida tiene 99% de SiO₂ como mínimo, condición indispensable pero no suficiente para que esta arena pueda competir con la arena que actualmente se encuentra en el mercado venezolano, la cual sí alcanza ese tenor. De manera que hemos orientado el estudio para el aprovechamiento óptimo de la sílice como: sílice fina, sílice para porcelana y sílice para vidrios. No se ha considerado la utilización de esta sílice en la elaboración de cemento y concreto, filtros, etc.

Las especificaciones de la sílice están principalmente relacionadas con el análisis químico del material y la curva granulométrica. Por ejemplo, Vencerámica especifica que el material no debe contener elementos que causan cambio de color superior a 1% en el esmalte blanco. En lo que se refiere a la granulometría, 99% del material debe pasar por el tamiz 200 (74 micras). El producto es normalmente adquirido más grueso (cedazo 60 –250 micras), siendo molido en la planta. La distribución granulométrica 74–0 es parecida a la del caolín que integra la pasta.

Mapa 25. Depósitos de arenas silíceas



6.3.2.1 Usos de la arena silíceas

§ Fundición. Generalmente esta sílice se utiliza para la fabricación de moldes temporales, siendo el aspecto granulométrico el más importante.

§ Filtros. La granulometría es muy estricta en lo que se refiere a este uso de la sílice. Actualmente se importa este tipo de arena para ser empleada en los filtros de las plantas de tratamiento de agua operadas por el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS).

§ Pozos petroleros. Las compañías petroleras utilizan arena para los filtros de los pozos petroleros. Aquí la granulometría debe estar comprendida entre 1,17 y 1,69 milímetros con toneladas mínimas. El consumo se estima en 50.000 ton/año.

§ Vidrio. En el Cuadro 65 se observa el análisis químico de la sílice para vidrio. En la industria del vidrio la curva granulométrica de la arena es un factor de suma importancia que influye directamente en el rendimiento de los hornos. Si los granos son muy grandes, superiores a 0,6 milímetros, tardan en fundirse. Por el contrario, si los granos son finos, inferiores a 0,074 milímetros, en los hornos se producen una alta pérdida por volatilización. De manera pues, que los consumidores son muy exigentes en lo que se refiere a la granulometría. La compañía Owens Illinois, con

sede en Valencia, rechaza el material si las variaciones granulométricas son superiores a 5%.

§ Otros usos. Aquí se incluye la sílice destinada a la industria de las pinturas, caucho, procesos de "sand-blast" etc., material generalmente molido a 400 mesh (20 micras), 325 mesh (44 micras), 140 mesh (105 micras) etc., de origen tanto nacional como extranjero.

6.3.2.2 Mercado nacional

En este análisis sobre la demanda no se ha tomado en consideración la arena destinada a la fabricación de cemento o a la elaboración de concreto, ya que –como apuntamos– el material silíceo proveniente de la explotación del caolín es más aconsejable que se destine a la industria del vidrio o la cerámica. Toda esta materia prima es nacional y de buena calidad. Según estadísticas oficiales, la cantidad importada de sílice representa menos de 5% del material producido en el país y está destinada a la industria de la pintura, del caucho, filtros para agua potable principalmente. Podemos concluir que la demanda nacional es prácticamente satisfecha con la producción local.

Cincuenta por ciento de la sílice consumida en el país proviene de yacimientos nacionales de excelentes calidad. Los dos productores que prácticamente se reparten este mercado son Compañía Cellis, del estado Lara, y Sinaca, del estado Trujillo. Estos produc-

tores venden la materia prima ya sea directamente a los consumidores o a través de las plantas de molienda de Venecolín y Mominaca, de las cuales ya hemos hablado.

A continuación presentamos una lista con los principales consumidores de arenas síliceas en la Región Central.

EMPRESA	SECTOR	UBICACION	TELÉFONO
Detergentes			
Industriales C.A.	Químico	Maracay	-
Hoechst de Venezuela C.A.	Químico	Maracay	0243-5543288
AVECA	Quillico	Maracay	0243-2338431
PINARA	Químico	Maracay	0243-5540447
Polímeros y Derivados C.A.	Químico	Villa de Cura	0244-74667
SERVIQUIN C.A.	Químico	Villa de Cura	0244-89680
Gas Carbónico C.A.	Químico	Maracay	0243-5547222
QUIIMACA	Químico	Maracay	0243-2451223
Venezolana de Resinas C.A.	Químico	Maracay	0243-5542889
Lelly Química C.A.	Químico	Cagua	0244-273343
Químico Spray, C.A.	Químico	Villa de Cura	-
Tintas Granales C.A.	Químico	La Victoria	0244-24164
UNVICA	Vidrio	Cagua	0244-271920
INVECA Pisttburgh C.A.	Vidrio	Las Tejerías	0244-56201
Vidrios Venezuela C.A.	Vidrio	Maracay	0243-2315323
Industrias Auto Fibras C.A.	Vidrio	San Mateo	0244-72976
Industrias 4 P C.A.	Vidrio	La Victoria	0244-25108
MAVIPLANCA	Vidrio	La Victoria	0244-27845
PRODUVISA	Vidrio	Cagua	0244-246189
VIDOSA	Vidrio	Las Tejerías	0244-56441
Cerámica Alcotur C.A.	Cerámica	Cagua	-
Cerámica Corrado C.A.	Cerámica	Turmero	0244-2343154
VENCERAMICA	Cenillica	La Victoria	0244-91253
Sanitarios Maracay C.A.	Cerámica	Maracay	0243-220593
Cerámica Turmero	Cerámica	Turmero	0244-61816
Venezolana de Abrasivos C.A.	Abrasivos	La Victoria	0244-23673
Abrasivos Aro C.A.	Abrasivos	La Victoria	0244-2 3108
Abrasivos C.A.	Abrasivos	Maracay	0243-220824
Ind. Vziana de Abrasivos C.A.	Abrasivos	Turmero	0243-2346598
VEGRIF C.A.	Fundiciones	Las Tejerías	0244-56188
Partes Metálicas			
Troquelados C.A.	Fundiciones	Maracay	0243-5543197

Capítulo 7.

Rocas industriales ígneas y metamórficas

Las rocas ígneas o metamórficas se usan en la construcción para muchos propósitos. Tienen la ventaja sobre la grava natural de que sus elementos son de forma angular y los límites de distribución de tamaño pueden regularse a voluntad. Se emplean en balasto en las líneas férreas y también como grava en las carreteras, son útiles como tipo especial de relleno. La industria de las rocas ígneas y metamórficas presenta una variedad de productos que debido a sus formas, colores y aspecto externo permiten llevar a cabo las realizaciones más variadas y originales, para obtener efectos ornamentales en columnas, frentes de edificio, fabricación de objetos de arte, etc., que requieren rocas susceptibles de ser bellamente pulidas. Las rocas sin ningún vacío y con un colondo o un diseño apropiado provienen de rocas ígneas o metamórficas tales como el mármol, el granito, el pórfido, entre muchas otras.

En la sección septentrional de Venezuela las rocas ígneas y metamórficas se encuentra formando los núcleos de las cordilleras de los Andes y de la Costa. En el área andina hay principalmente granitos y en la costa se encuentran granitos y básicas con abundantes gneises. En la sección meridional, Escudo de Guayana, existen varios tipos de rocas ígneas y metamórficas que por sus propiedades físicas son óptimas para ser utilizadas en la industria.

A continuación resumimos un estudio realizado por la Escuela de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Oriente (UDO), Núcleo Bolívar, que sirve de ejemplo para cualquier empresa que quiera invertir en esta actividad, cumpliendo con las especificaciones técnicas de este estudio y los requerimientos establecidos por los diferentes ministerios en cuanto a la permisología para la explotación de este tipo de material.

7.1 Potencial económico de las rocas graníticas de Guayana

La zona en estudio se encuentra ubicada al Oeste de río Clarito y al Norte de la vía férrea que une Cerro Bolívar con la zona

industrial de Puerto Ordaz. Ocupa un área de aproximadamente 11.000 km², dando lugar a una figura irregular de la cual se dan mayores detalles en el Mapa 26, y es totalmente accesible por tierra utilizando la carretera asfaltada que une la ciudad de Puerto Ordaz con Ciudad Piar–Guri–Ciudad Bolívar, ésta última en jurisdicción del Municipio Autónomo Piar, del estado Bolívar. El desplazamiento dentro de la zona se puede efectuar a pie, vehículo de doble tracción preferiblemente, etc. a través de caminos de tierra que cruzan el área.

La región de Guayana está conformada geológicamente por cuatro provincias de edad precámbrica, cada una de ellas con características litológicas, geomorfológicas y mineralógicas distintas, que desde la más antigua a la más joven son:

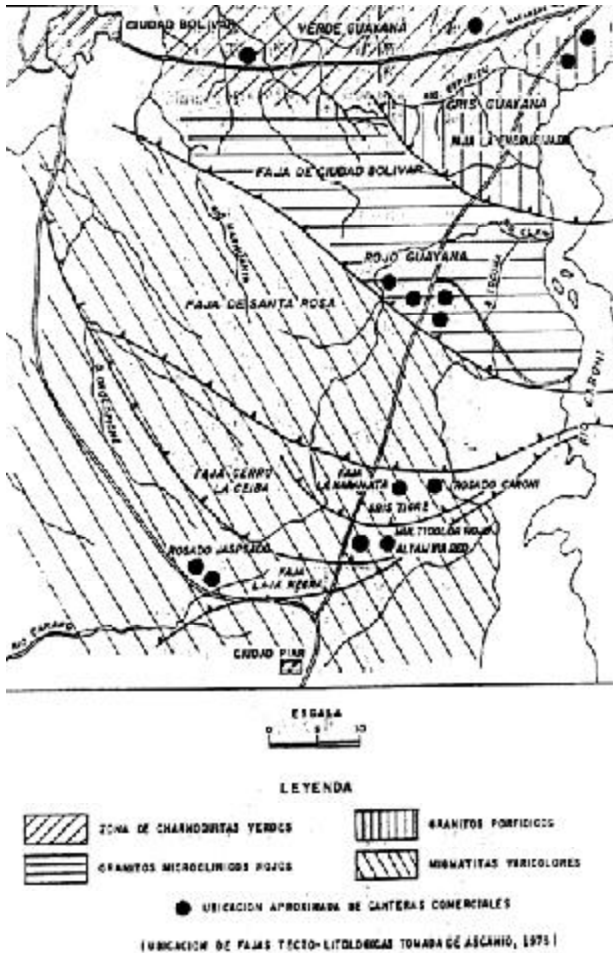
§ **Provincia de Imataca.** Consiste en un complejo granítico metamórfico de grado alto (facies de granulita).

§ **Provincia de Pastora.** Está constituida principalmente por una secuencia supracortical de rocas verdes, ubicadas preferencialmente en zonas sinclinales, separadas por extensas áreas graníticas (Complejo de Supamo) y ha llegado a ser afectada por un metamorfismo regional de grado bajo de la facies de los esquistos verdes. Tal secuencia de rocas verdes se identifica como cinturones de rocas verdes, en los cuales, según Menéndez, se reconocen dos ciclos estratigráficos separados por una discordancia angular, a saber: Cinturón de Pastora, el más antiguo, constituido principalmente por anfíbolitas y lavas de composición basáltica-andesítica y esquistos anfibólicos y, el Cinturón de Botanamo, el más joven, representado litológicamente por meta-tobas básicas a intermedias, brechas, metalimolitas, metegrauvas, filitas, meta-areniscas y conglomerados polimícticos.

§ **Provincia de Cuchivero.** Tiene una litología característica que consiste en rocas ígneas volcánicas y plutónicas de composición predominantemente ácida.

§ **Grupo Roraima.** La más joven de estas provincias está constituida por este grupo, conformado, en parte, por rocas sedimentarias de ambientes continentales a deltáicos (Réid, 1972), identificadas como areniscas, limolitas, cuarcitas, tobas vítreas y, algunos cuerpos de composición máfica a ultramáfica, que han intrusionado las capas sedimentarias.

Mapa 26. Granitos de Ciudad Piar



Geológicamente, la zona en estudio se encuentra ubicada en la parte norte del complejo granítico metamórfico de la Provincia de Imataca, al oeste de río Clarito, ocupando una superficie de unas 11.000 hectáreas, aproximadamente, comprendiendo terrenos de los fundos El Pilar y La Naranjita entre Ciudad Piar y La Encrucijada (Km 70).

Como se observa a través de la citada litología, las rocas de la Provincia de Imataca ha sufrido metamorfismo de grado alto, alcanzando la facies de la granulita, lo cual ha logrado afectar significativamente la textura, granulometría, mineralogía, dureza y color de las rocas de la zona. Esto, en la mayoría de los casos, se evidencia a través de la exótica belleza observable en las bandas de diferentes colores que presentan los minerales constituyentes de las masas graníticas, gneises y migmatitas, objeto de estudio en la presente investigación. Los colores, de

gran atractivo comercial y belleza, van desde el negro, amarillo, rosado, rojo y gris, con tamaños granulométricos que varían de medio a grueso; características éstas, que inducen a la exploración detallada de tales afloramientos, con la finalidad de introducir estas rocas en los mercados nacionales e internacionales.

Geomorfológicamente, el área en estudio está conformada por paisajes con predominio de peniplanicies lomeríos altos y vega. Los lomeríos altos están constituidos por rocas graníticas bandeadas y foliadas, de textura fanerítica de grano grueso, con colores grises, rosado, rojo, negro verdoso, etc. Este tipo de paisaje está bien representado en los sectores del cerro La Discusión, ubicado al oeste de río Clarito, cerro El Guzmanero (al Oeste del camino que conduce al fundo El Pilar) y las filas de cuarcitas ferruginosas que lindan con los fundos El Pilar y La Naranjita. Las peniplanicies están representadas por lomas suaves constituidas por gneises, gneises migmatíticos y migmatitas, que abarcan más de 85% el área estudiada; mientras que las vegas están formadas por pequeños morichales ubicados generalmente entre las lomas y constituyen las zonas de menor cobertura.

Las unidades geológicas existentes en el área de estudios pertenecen, en su mayoría, al Precámbrico de la edad Arqueozóica, correspondiente al Complejo de Imataca, el cual está conformado principalmente por dos unidades: la unidad PeGR, la de mayor cobertura (85%, aproximadamente) y, la unidad PeQZ, con 15% de cobertura, del cual 5% corresponde a sedimentos recientes y aluviones.

§ **Unidad PEGR.** Está constituida principalmente por gneises félsicos y máficos, migmatíticas, gneises migmatíticos charnokitas y anfibolitas, las cuales presentan textura fanerítica de grano medio a grueso y colores que van del gris al amarillo, negro y rojo. La mayoría de estos afloramientos se presentan desprovistos de vegetación y, ocasionalmente, cubiertos con una regolita residual amarillo rojizo de escasos metros de espesor. Los demás, de tamaños espectaculares, ofrecen una meteorización esférica, como es típico en las rocas graníticas afectadas por intemperismo.

§ **Unidad PEQZ.** Esta unidad está bien expuesta en las cercanías del fundo La Naranjita y se presenta constituida principalmente por cuarcitas ferruginosas y cuarcitas interestratificadas con anfibolitas y gneises. Desde el punto de vista comercial, la unidad no representa potencial económico alguno, ya que la cuarcita se encuentra intensamente fracturada y esparcida en pequeños bloques, por toda el área donde aflora.

§ **Sedimentos recientes.** Estos sedimentos están constituidos por materiales como cantos, peñones, grava, arena, limo y arcilla provenientes de la meteorización física y química de las rocas del Complejo de Imataca, los cuales fueron arrastrados por las aguas de escorrentía, viento y ríos de la zona y depositados a partir del Holoceno hasta el presente. Des-

de el punto de vista económico, esta unidad no representa interés comercial, debido a que la presencia de minerales de hierro, magnesio, ilmenita, cuarzo flotante y lateritas aluminosas, no están en cantidades económicamente explotables.

Los recursos minerales que se encuentran en el área de estudio constituyen un potencial de los yacimientos no metálicos, representado por grandes extensiones de rocas graníticas metamórficas con diferentes colores que van del gris, amarillo, rojo, rosado, negro, que al alternarse unos con otros, forman figuras exóticas naturales que no tendrían competidores en los mercados nacional e internacional como piedra de granito ornamental. De igual forma, estos afloramientos graníticos podrían ser muy rentables en la venta de piedra picada (de diferentes diámetros) para la construcción de viviendas, carreteras, puentes, diques, etc. De hecho, la cercanía de estos yacimientos a la zona industrial de Puerto Ordaz ha despertado un alto interés económico, lo cual queda demostrado por los estudios geológicos que actualmente realizan algunas compañías extranjeras y nacionales en tal sentido.

La explotación de rocas con fines ornamentales requiere que las mismas sean presentadas en bloques rectangulares de tamaño apropiado, de acuerdo con las dimensiones de los equipos con los cuales van a ser procesados (equipos de corte y pulido). En la zona de estudio, la empresa Inversiones Italgranitos, C.A. ha realizado el corte en bloques de 12 metros cúbicos.

A continuación se describen brevemente, los métodos de extracción a utilizar en la exploración y posterior explotación son:

§ Voladura con dinamita. Con este método es necesario hacer una serie de perforaciones, las cuales son cargadas con tacos de dinamita, para luego efectuar la voladura que permitirá la separación de los bloques. Esta metodología requiere de un ajuste bien definido, tanto de la distancia entre perforaciones como de la distribución de la carga para lograr controlar la voladura y optimizar el corte de la roca causando el menor daño posible.

§ Voladura con pólvora. Es una variante de lo anterior, sólo que se utiliza pólvora en sustitución de la dinamita.

§ Corte con cuñas hidráulicas. Al igual que los métodos anteriores, se hacen perforaciones en las cuales se colocan cuñas que son accionadas hidráulicamente, generando la separación de los bloques.

§ Corte con hilos de diamante. Para aplicar esta técnica es necesario hacer dos perforaciones perpendiculares, que se comunican en la parte interna del bloque. A través de las perforaciones se hace circular el hilo de diamante, hasta producir el corte.

§ Corte con soplete. Consiste en aplicar unos chorros de fuego a presión para realizar el corte de la roca; generalmente este método se utiliza para crear una cara libre y luego aplicar algunas de las técnicas antes descritas.

En cuanto a las reservas de los yacimientos graníticos del Fondo El Pilar, se ha considerado en calcular sólo las reservas probadas, por cuantos éstas son las que afloran en la superficie y se pueden calcular con sólo la información topográfica geológica de superficie. El cálculo de las reservas explotables se realizó por el método de las isocías, en el cual el depósito o roca se transforma en un cuerpo de volumen similar, apoyado sobre un plano horizontal. El Mapa 26 fue utilizado para el cálculo de reservas probadas del área de explotación. Debido a las características del yacimiento se ha considerado innecesario la estimación de las reservas probables, puesto que la roca a explotar es la que aflora a nivel del terreno circundante. No obstante, la roca continúa en profundidad y la parte emergente sólo representa una pequeña parte de ella.

7.2 Feldespato

Importantes grupos de minerales petrogénicos componen sesenta por ciento de la corteza terrestre. Entre los minerales formados a partir de rocas los feldespatos deben su importancia al hecho de que constituyen más de cincuenta por ciento de todas las rocas ígneas. Los feldespatos simples son la ortoclasa, la albita y la anortita, que pueden clasificarse como comerciales. Los feldespatos de importancia comercial se encuentran en las pegmatitas, que son emanaciones de magma granítico que han solidificado en forma. Las pegmatitas se encuentran frecuentemente en gneises, dioritas y otras rocas, pero a veces aparecen en calizas y otras rocas sedimentarias.

El feldespato potásico (ortosa) y el feldespato sódico (albita) tienen valor comercial, siendo el primero uno de los más importantes. La ortosa contiene algo de sodio proveniente de la albita incluida; hierro, manganeso y sericita (producto de alteración de los feldespatos) son siempre nocivos puesto que colorean el esmalte y vidriado de las piezas cerámicas. El feldespato se utiliza principalmente en la industria de la cerámica y del vidrio tanto en la elaboración de la masa como para vidriados y esmaltados, porque promueve la fusión durante el fuego e imparte esfuerzo, dureza y durabilidad a los productos terminados. En el vidrio mejora la trabajabilidad y retarda la devitrificación. También puede usarse como abrasivo medio.

7.2.1 Especificaciones según el uso

Una diferencia esencial entre las características de los tipos de feldespatos que utiliza cada una de las industrias ya mencionadas, está en la granulometría y en el contenido de alúmina.

7.2.1.2 Análisis químico

Dentro de las características químicas, la más importante es el contenido de alúmina (Si_2O_3). Es indispensable que el feldespato destinado a la industria del vidrio contenga 18% de Si_2O_3 como

Cuadro 67. Análisis químico del feldespato para vidrio (valores expresados en porcentaje, %)

Tipo	Cedazo	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
F-20	20 mesh	67,54	19,40	0,05	1,94	trazas	4,05	6,76
C-20	20 mesh	67,21	19,30	0,06	0,86	trazas	5,52	6,63
G-40	40 mesh	65,60	19,26	0,06	1,06	trazas	10,16	3,32

máximo, mientras que el destinado a la cerámica puede tener un valor inferior. La compañía estadounidense Feldspar Corp., ubicada en Spruce Pine, Carolina de Norte, y principal proveedor de feldespato a las industrias nacionales que importan este material, ofrece varios tipos de feldespato, cuyos análisis químicos ofrecemos a continuación:

En la fabricación de cerámica, el feldespato utilizado como fundente se integra a la pasta arcillosa. Hay que evitar que éste contenga impurezas que puedan alterar el color del producto. El feldespato importado por Vencerámica y Sanitarios Maracay proviene de la compañía estadounidense International Mineral Chemical Co., con sede en Skolkie, estado de Illinois.

7.2.1.3 Granulometría

El feldespato para vidrio debe tener la misma distribución granulométrica que la arena con la cual es mezclado. Porque, al igual que corren con la arena, un producto demasiado se volatilizaría en los hornos. Este fenómeno se conoce como "pérdida por voltaje" y se debe al hecho de que la llama del fuego es dirigida directamente sobre el material, lo cual repercute en el rendimiento del horno y en la composición del producto acabado, que resulta distinta de la calculada inicialmente. Esta es una de las razones por las cuales Owens Illinois no acepta el feldespato producido por Mominaca, a quien reprocha moler demasiado fino. Sin embargo, Mominaca produce un feldespato granulado que vende a Produvisa, el segundo productor venezolano de vensases de vidrio, sin que haya problemas, pues dicha empresa emplea arena de granulometría similar.

El feldespato para cerámica debe pasar por una malla 200 (74 micras), siendo la curva granulométrica algo similar a los valores mostrados en el Cuadro 68. La industria de la cerámica se surte casi totalmente en el mercado nacional, a través de Mominaca.

Los términos comerciales más comunes son:

§ **20 mallas (Glass Spar).** Producido para la industria de contenedores de vidrio (botellas, jarras, etc)

§ **40 mallas (Glass Spar).** Producido para la fabricación de vidrio plano o estirado.

§ **Alfarería (Pottery Spar).** A 200 mallas para la fabricación de porcelanas, sanitarios, cerámica, esmaltes, aislantes y ruedas vitrificadas de molienda.

§ **Feldespato sódico (Soda Spar).** Contiene más de 10% de Na₂O.

§ **Feldespato potásico (Potash Spar).** Contiene más de 10% de K₂O.

§ **Pertita.** Un intercrecimiento de feldespato sódico y feldespato potásico.

§ **Feldespato de bloques (Block spar).** Sólo requiere apartado manual, molienda, cribado y magnetismo para prepararlo para el mercado.

§ **Alaskita.** Pegmatita que contiene feldespatos de sodio y potasio, cuarzo, mica y minerales accesorios, y requiere flotación para su beneficio.

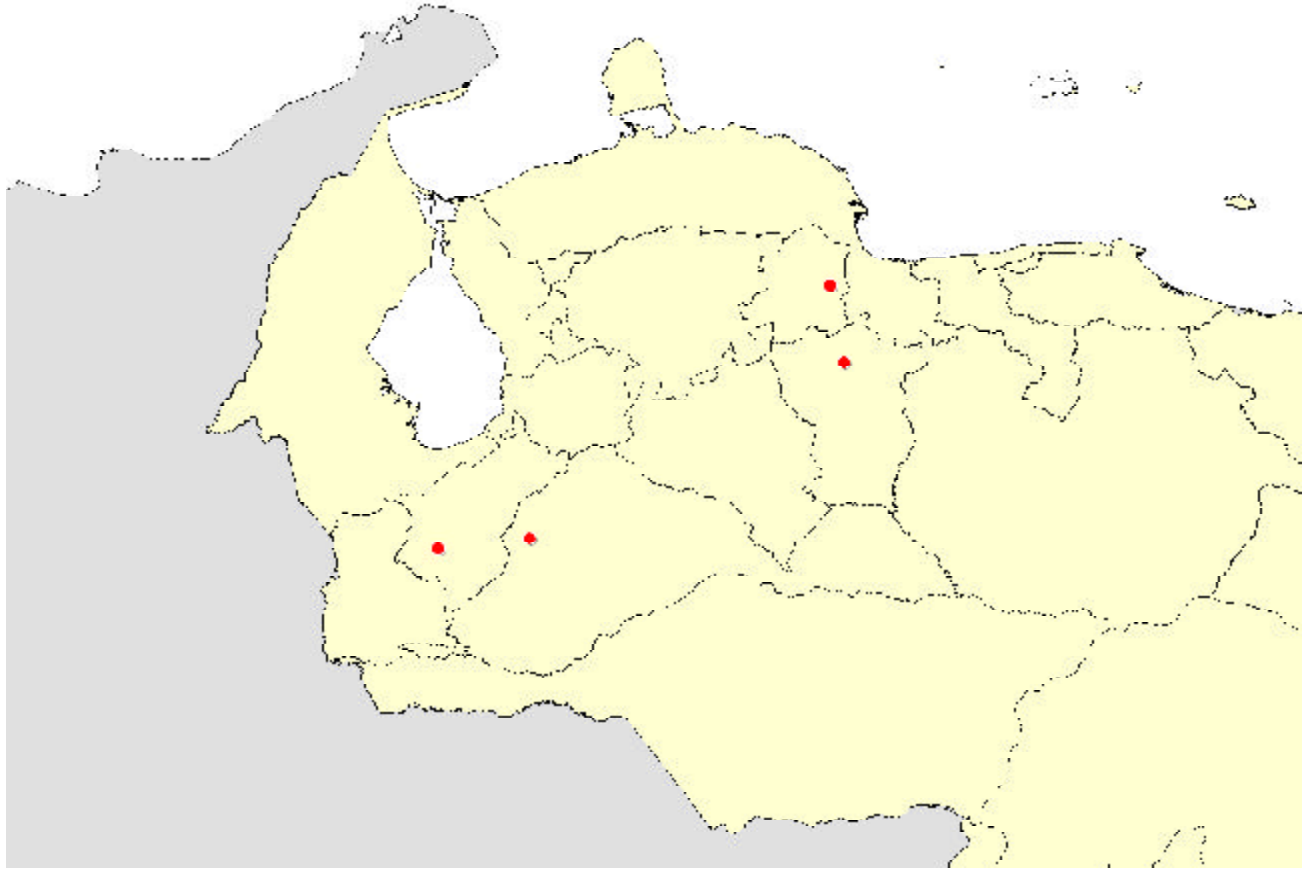
Cuadro 68. Granulometría del feldespato para cerámica (valores expresados en porcentajes, %)

Cedazo	%
74 micras	99,7
44 micras	96,8
20 micras	67,0
10 micras	38,0
5 micras	17,5
2 micras	5,5
1 micra	1,5
0,5 micra	trazas

Cuadro 69. Análisis químico del feldespato (valores expresados en porcentaje, %)

Elemento	Contenido
SiO ₂	65
Al ₂ O ₃	18
Fe ₂ O ₃	0,2*
Na ₂ O	5
K ₂ O	5

Mapa 27. Depósitos de feldespato



El concentrado de feldespato que ha de obtenerse para que pueda usarse en las industrias mencionadas, debe estar dentro de las siguientes especificaciones generales:

7.2.2 Depósitos feldespáticos de Venezuela

Venezuela posee importantes zonas pegmatíticas en los estados Cojedes, Barinas, Táchira, Mérida, Trujillo y Nueva Esparta y en el Territorio Federal Amazonas. En la actualidad la producción comercial se centra sólo en los estados Cojedes y Barinas. Los depósitos de feldespato de Cojedes se asocian con micropegmatitas del complejo granítico de El Tinaco. La roca está constituida por cristales de microclino con grandes inclusiones de cuarzo. En la actualidad la minería es a cielo abierto y la zafra se envía a El Tinaco, donde es triturada, molida, lavada y flotada para la industrias cerámica, porcelana y sanitarios.

Los depósitos de Barinas se asocian con pegmatitas y aplitas presente en el gneis bandeado de la Mitisús. La roca está constituida por cuarzo (30–50%), microlino (30–45%) y plagioclasa (hasta 30%). Es loza de excelente mena y está en amplia minería. El yacimiento de Mérida constituye una de las reservas más importantes de pegmatitas blancas del país, pero su ubicación geográfica las hace no competitivas por ahora. Son enormes cuerpos intrusivos ácidos asociados con el Precámbrico cris-

Cuadro 70. Análisis químico de pegmatita

Elemento	Contenido
SiO ₂	70,55
Al ₂ O ₃	18,90
Na ₂ O	4,60
K ₂ O	4,25

talino andino y mineralógicamente están constituidos por feldespato potásico, moscovita en cristales grandes y cuarzo.

7.2.3 Producción de feldespato en Venezuela

A partir de 1958, las importaciones se han venido sustituyendo por mineral nacional. La principal fuente de abastecimiento proviene del estado Cojedes. En 1981 la producción alcanzó los 21.684 metros cúbicos. El presente estudio encontró que se siguen importando 10.000 t/año de feldespato para vidrio, las cuales prácticamente representan el consumo de la compañía Owens Illinois de Valencia. El resto de los consumidores de feldespato se provee localmente.

Cuadro 71. Producción nacional reportada de feldespato (1999, en toneladas métricas, tm)

1999							
Mes	CONCESION						
	Hato San Antonio	Gloria 3	Gloria 4	Montalbán	Molisanca II	La Gallineta	Total
Enero		1.893,63	1.951,00	3.491,76		729,00	8.065,41
Febrero	3.965,13	2.101,26	2.150,58	4.147,90		979,00	13.343,87
Marzo	1.881,87	2.238,27	2.371,24	4.611,57	4.494,85	1.097,00	16.694,80
Abril	10.358,30	1.466,26	1.446,30	2.523,34		1.005,00	16.799,20
Mayo	3.168,48	1.740,01	1.706,83	2.174,99		1.096,00	9.886,31
Junio	1.613,66	884,10	829,37	4.955,34		1.552,00	9.834,47
Julio	2.524,13	744,14	785,53	4.841,92		1.169,00	10.064,72
Agosto	3.997,87	894,22	898,88	3.419,59		629,00	9.839,56
Septiembre	3.845,10	1.428,52	1.452,14	3.636,23		1.138,00	11.499,99
Octubre	13.968,17	1.414,47	1.396,48	3.203,93		580,00	20.563,05
Noviembre		1.742,19	1.638,74	3.732,83		915,00	8.028,76
Diciembre	6.837,42	1.255,19	1.261,73	4.000,00		244,00	13.598,34
Total	52.160,13	17.802,26	7.868,84	44.739,40	4.494,85	11.133,00	148.218,48

Fuente: Dirección de Fiscalización y Control Minero, Dirección General de Minas, Ministerio de Energía y Minas

Cuadro 72. Producción nacional reportada de feldespato (2000, toneladas métricas, tm)

2000							
Mes	CONCESION						
	Hato San Antonio	Gloria 3	Gloria 4	Montalbán	Molisanca II	La Gallineta	Total
Enero	2.332,10	962,10	938,24	4.013,44			8.295,88
Febrero	2.149,43	1.014,84	1.027,50	4.032,59	5.098,50	236,00	13.558,86
Marzo	4.494,24	1.344,66	1.254,71	4.000,00		504,00	11.597,61
Abril	3.295,93	982,19	960,07	4.000,00		488,00	9.726,19
Mayo	3.831,71	947,45	907,75	4.000,00	4.518,90	728,00	14.205,81
Junio	1.560,09	1.004,35	969,60	4.000,00	3.654,00	1.046,00	11.188,04
Julio	1.055,11	916,68	936,64	4.000,00		910,00	7.818,43
Agosto	2.133,36	1.309,14	1.309,14	4.354,44	850,50	1.365,00	9.956,58
Septiembre	355,99	1.217,49	1.175,84	6.564,04	3.660,30	1.149,00	14.122,66
Octubre		1.499,76	1.439,22	4.323,49		1.028,00	8.290,47
Noviembre		1.742,19	1.638,74	3.732,83		915,00	8.028,76
Diciembre		1.148,68	1.102,28	3.037,44		864,00	6.152,40
Total	21.207,96	13.739,93	13.407,36	52.901,27	21.079,70	9.158,00	131.494,22

Fuente: Dirección de Fiscalización y Control Minero, Dirección General de Minas, Ministerio de Energía y Minas

Capítulo 8.

Aspectos históricos, legales y fiscales de la explotación de rocas industriales en Venezuela

8.1 Antecedentes históricos

A raíz de la Independencia del país, la economía colonial se transformó en economía libre-artesanal, exportadora de algunos frutos tropicales y algo de carne, pero dependiendo principalmente para su mantenimiento, prosperidad o decaimiento de los precios del café; principal producto de exportación. Esta forma o estructura de la economía venezolana va a durar el primer cuarto del siglo. Es una economía agro-artesanal y la agricultura constituía la actividad económica a la cual se dedicaba la gran mayoría de la población. De ella se derivaba la parte más sustancial de la renta nacional. Por otra parte, la industrialización del país era nula, predominando en las secciones urbanas la labor artesanal formada por pequeños talleres que sostenían con sus labores las necesidades contemporáneas. La exportación de prácticamente un solo producto, el café, constituía la actividad económica que predominaba en Venezuela para principios del siglo XX.

El descenso ocasional de los precios del café sumía al país en profundos períodos de crisis, dominantes en la Venezuela agropecuaria durante los 90 años transcurridos de 1830 a 1920. Cualquier acontecimiento excepcional mejoraba o empeoraba los precios del café y el cacao, aumentando o disminuyendo las demandas de esos frutos, estableciendo períodos de alza dentro de los de crisis y manteniendo períodos de nerviosismo causados por los movimientos políticos. Los líderes de las revoluciones, quienes por lo general eran terratenientes latifundistas, era el grupo más afectado por esta crisis.

El surgimiento de la industria petrolera, cuya producción comercial comenzó en 1917, modificó substancialmente el cuadro económico venezolano. A partir de 1920, el comercio de exportación sufre cambios substanciales en su composición, al ocupar el renglón de hidrocarburos el primer lugar en exportación. Desde entonces, la renta de la industria petrolera se desarrolla en forma lenta y la renta producida por el sector agrícola comienza a escasear.

El desarrollo industrial de Venezuela es un proceso reciente, que antes y durante la Segunda Guerra Mundial presentaba una situación intermedia entre la artesanía y la pequeña industria. Hasta finales del siglo XIX, el país casi no conocía la empresa propia de la economía de escala; sólo a fines del siglo algunas empresas industriales llegaron a instalarse en Caracas y muchos años después la actividad industrial en las ciudades correspondía principalmente a ramas artesanales tales como herrería, carpintería, talabartería, zapatería, latonería, sastrería, etc. A principios del siglo XX, con los adelantos de la electricidad y de los vehículos automotores, se generaron nuevas industrias, sin que por ello pueda hablarse de una efectiva industrialización en Venezuela, la cual no llegó sino después de la Segunda Guerra Mundial.

Venezuela es un país de oportunidades. Sus ingentes recursos naturales, renovables y no renovables, su conveniente posición geográfica en América del Sur, su baja densidad de población y la capacidad de sus habitantes lo sitúan como un país privilegiado. En recursos energéticos posee las mayores reservas de petróleo y gas de América latina; esas reservas están entre las primeras del mundo. Además tiene un alto potencial hidroeléctrico y yacimientos considerables de carbón y rocas industriales, así como condiciones geográficas que favorecen el desarrollo y la utilización de otras fuentes renovables de energía.

Estas extraordinarias condiciones energéticas y de otros minerales pueden y deben ser aprovechadas en beneficio de todos los venezolanos. Es necesario articular el país petrolero y minero. Para ello se comenzó con el fortalecimiento del rol de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) en el mercado mundial, acordándose políticas de producción que fueron respetadas en lo fundamental. En consecuencia se logró la recuperación de los precios petroleros. Hoy se buscan mecanismos que permitan precios equilibrados y estables, tan-

to para la economía de los países productores como para los consumidores. La cooperación entre ambos es esencial en esta búsqueda del equilibrio y la estabilidad.

Por otro lado se iniciaron transformaciones importantes en los principales componentes del sistema energético venezolano. la nueva Constitución de la República consagró el principio de la propiedad del Estado sobre los recursos de hidrocarburos y mineros en general, y la exclusividad accionaria sobre su empresa petrolera. No obstante, el régimen socioeconómico de esa Constitución permite la participación privada en el desarrollo de negocios relacionados con los hidrocarburos.

En el sector eléctrico y en el gas natural se emprendieron transformaciones fundamentales que cambiarán definitivamente la forma como se vienen conduciendo las actividades y los negocios de estos sectores. No cabe duda de que estas transformaciones afectarán el resto del sistema energético venezolano y su entorno. Las mismas se sustentan en un basamento legal moderno y flexible. En las recientemente promulgadas leyes de minas, de servicios eléctricos y de hidrocarburos gaseosos, así como en sus reglamentos, se permite y estimula la participación del sector privado, el desarrollo de la libre competencia y el crecimiento de esos mercados, con reglas claras estables precisas y no discrecionales. Igualmente establecen la separación jurídica y contable de las actividades que conforman cada sector; evitándose, por lo tanto, la integración vertical y las conductas monopolíticas. Se pretende de esta forma atraer inversiones para la renovación y la modernización de las fuentes energéticas y mineras que marcarán buena parte del siglo que comienza.

El balance energético de Venezuela que presentamos aquí es un esfuerzo por difundir las estadísticas básicas del sector de hidrocarburos, de primordial importancia para el país. La comprensión de la estructura de la producción y del consumo de energía, así como su comportamiento histórico, se hace indispensable para la planificación y el diseño de políticas públicas que sean coherentes a mediano y largo plazo. Pero también para el inversionista nacional o extranjero estas estadísticas son de gran utilidad para perfilar las inversiones en los yacimientos de rocas industriales existentes en Venezuela, y para los negocios venezolanos a fin de robustecer aún más la transparencia y la contribución al desarrollo sano y equilibrado de una nueva economía.

8.2 Desarrollo de los ingresos fiscales

Cuando terminó la Guerra de Independencia, Venezuela era una inmensa ruina. Aunque destruidas totalmente por la guerra, la agricultura y la cría comenzaron a operar lentamente, ayudando a un gradual crecimiento al país y convirtiéndose en el principal sector económico de la Nación. El fenómeno sobresaliente en las actividades agrícolas, durante la llamada etapa agropecuaria que transcurrió de 1830 a 1920, fue el ascenso constante de la producción cafetalera y por consiguiente, su predominio en la exportación. El total de los ingresos fiscales

de la etapa agropecuaria para cubrir los gastos presupuestales alcanzó los 2.307 millones de bolívares, con un crecimiento interanual de 2,3%.

El descenso paulatino de la exportación de los principales productos agrícolas se inició a partir de la segunda década del siglo XX, empezando por el ganado y siguiendo por la producción de café y cacao. Esto se tradujo en un cambio del patrón de poblamiento, que coincidió con el surgimiento de actividad petrolera. La década siguiente fue decisiva para que el petróleo modificase completamente el panorama económico del país. Las actividades agrícolas se estancaron, la industria petrolera creció. Esta expansión contribuyó a un fuerte desplazamiento de la población del campo a la ciudad. En el siglo XIX ochenta por ciento de la población era rural y 20% urbana; mientras que en el siglo XX la población rural descendió a 20 por ciento y la población urbana aumentó a ochenta por ciento.

El auge que ha venido ocurriendo a partir de 1920 ha sido producto de la expansión petrolera y de lo que esta expansión ha representado para la economía del país, impulsando el crecimiento de diversas industrias, que a su vez, han contribuido al continuo crecimiento poblacional regional. Los impuestos gravados a la industria petrolera, la cual ha crecido gracias a la producción de petróleo y los precios petroleros en el mercado internacional, han formado casi totalmente los recursos de la renta fiscal, destinados fundamentalmente para el desarrollo industrial de Venezuela. Entre las nuevas industrias que se han establecido en la etapa petrolera se encuentran las que utilizan rocas como materias primas. La mayoría de estas industrias se encuentran ubicadas en las zonas de cordilleras y sus piedemontes, y algunas en los Llanos.

Venezuela ha dispuesto durante la etapa petrolera, y en especial en el lapso de 1945 a 1981, de elevadas cantidades de divisas producidas mayormente por las rentas del petróleo vendido al exterior. Al mismo tiempo el país ha disfrutado de una libertad cambiaria que, aunada a la posición fuerte y estable del bolívar frente al dólar, ha estimulado la importación de toda clase de bienes. Este hecho, si bien por un lado constituía una reserva para el crecimiento de la producción de bienes de consumo, por otro lado estimuló la adquisición de maquinarias y equipos para el establecimiento de industrias. La alta capacidad para importar, debido a la facilidad de compras de divisas, así como los bajísimos aranceles aduaneros para importar maquinarias –muchas de las cuales eran exoneradas– fueron los principales factores que contribuyeron a que el país pasara a partir de 1945, cuando finalizó la Segunda Guerra Mundial, de artesanal a industrial.

El verdadero desarrollo de carácter industrial manufacturero comenzó en Venezuela por transformar una serie de pequeños establecimientos formados por pequeñas industrias organizadas, los cuales se conoce como el grupo de industrias tradicionales, ya que el origen de estas industrias pequeñas se remonta a los albores de la República. En 1950, comienza a crearse la industria manufacturera de una manera incipiente, sin tener

un programa. En ese entonces, la política industrial era un reflejo de la política del gobierno, que en ese entonces se orientaba con un programa intenso hacia la industria de la construcción, debido al crecimiento fiscal exponencial producido por el petróleo. A partir del año de 1950, la industria de materiales de construcción, se fue haciendo más dependiente del sector gubernamental.

El despertar de la Venezuela agropecuaria a la Venezuela petrolera hizo pasar al país de una economía artesanal a una economía industrial y mecanizada. En el lapso se desarrolló la exploración y subsiguiente explotación de las rocas para el uso de diversas industrias. El crecimiento poblacional, que a la vez ha crecido paralelamente con el de las rentas producidas por el petróleo, en su mayor parte ya que seguimos dependiendo de la renta petrolera.

8.2.1 Estimación de las principales cuentas del balance energético del año 2000

Se estima que la producción de energía primaria para el año 2000 alcance los 1.786 MMBEP, lo cual equivale a un incremento de 9% con respecto a 1999. La producción de petróleo crudo se calcula en 1.288 MMBEP, la de gas natural en 308 MMBEP, la hidroenergía en 131 MMBEP. El procesamiento de crudos en las refinerías del país alcanzará los 410 MMBEP.

El consumo final crecerá a una tasa de 4%, alcanzando un monto de 256 MMBEP, lo cual representa 15% de la energía producida en el país. El consumo del sector industrial representa 50% del total del consumo final. Ese consumo se concentra en las industrias energointensivas. El sector transporte es el segundo en importancia con 84MMBEP, seguido por el sector residencial con 25 MMBEP y el resto corresponde a los sectores servicios y otros.

El consumo del sector energético representa 17% del total de la energía producida en el país. Se estima un total de 291 MMBEP. Las pérdidas en transformación representarán 55% del total del consumo de este sector. El sector eléctrico contribuye con alrededor de 80% de esas pérdidas.

El total de las exportaciones alcanzará 1.223 MMBEP, lo cual representa un crecimiento de 11% con respecto a 1999. Las exportaciones de energía primaria totalizarán los 924 MMBEP ó 76% del total. Las de petróleo crudo representarán el 94%. La energía secundaria, por su parte, totalizará alrededor de los 299 MMBEP ó 24% del total.

8.3 Aspectos legales de la exploración y explotación de minerales en Venezuela

El origen del derecho minero se remonta a 1493, cuando se expidió la Bula *Noverint Universi*, mediante la cual se distribuyeron entre España y Portugal las tierras recién descubiertas, quedando el territorio venezolano bajo el dominio de los Reyes de España. Esa bula marca el origen de la propiedad minera en

América. Por cédula del 19 de diciembre de 1526, dada por Carlos V, se declaró que la Corona Española tenía la propiedad de las minas del nuevo continente y posteriormente, en 1650, bajo el nombre de Recopilación de Indias, se instauró la propiedad de las minas a la nación. En 1784, se aplicaron en la Intendencia Venezolana, las Ordenanzas de Minería de Nueva España, dictada el año anterior en Aranjuez y la cual extendía el dominio de la Corona española a los minerales no metálicos. Posteriormente, mediante decreto promulgado en Quito el 24 de octubre de 1829, El Libertador Simón Bolívar sentó el principio de que "Las Minas de cualquier clase corresponden a la República" y dispuso también la vigencia de las ordenanzas de "Minería de Nueva España".

Se ha dicho que esas ordenanzas, integradas por 19 títulos, constituyen un verdadero código de minas, más amplio que cualquiera de los que posteriormente han regido en Venezuela. Dichas ordenanzas contenían el principio de que las minas no se puedan laborar sin concesión del soberano reafirmado, así como el principio que establece que las concesiones se otorgan para que las minas sean explotadas y disfrutadas por el concesionario. Este último elemento, después de haber sido olvidado, durante mucho tiempo, reapareció en la Ley de Hidrocarburos de 1943. La legislación en esta materia, desde la aparición del primer Código de Minas en 1854 hasta la promulgación de la vieja Ley de Minas y su Reglamento en 1944, ha sido prolija y se ha mantenido constante a determinados principios, tales como el carácter de utilidad pública a la actividad minera, la obtención de la concesión como requisito necesario y primordial para ejercer la explotación minera y la aplicación parcial del sistema de la "accesión" en cuanto se refiere a las piedras de construcción y de adorno, cuya propiedad siempre se ha reconocido a favor del dueño del suelo y por consiguiente su libertad de explotación. Es de hacer notar que antes de la promulgación de dicha ley en 1939 el Ejecutivo Nacional había dictado una serie de disposiciones con el objetivo de mejorar la administración de los recursos mineros, especialmente el hierro. Ese año se declararon zona reservada para el mineral de hierro los Distritos Piar y Roscio del estado Bolívar y el Territorio Federal Delta Amacuro.

Las rocas estudiadas en este libro están comprendidas en los artículos 7 y 8 de la Ley de Minas promulgada en 1945. La fiscalización y el control de las explotaciones de dichas rocas son realizados por el Ministerio de Energía y Minas, a través de las oficinas ubicadas en cada región, las cuales están en la obligación de hacer cumplir las disposiciones establecidas en la Ley sobre Seguridad Minera. En lo que se refiere a la permisología para realizar las exploraciones y explotaciones de minerales que debe otorgar el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales se tiene que: De conformidad con las atribuciones conferidas en los artículos 35 y 36 de la Ley Orgánica de la Administración Central, como la Ley Orgánica del Ambiente en sus artículos 2º, 3º, 4º, y 7º otorgan el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales la facultad de planificar y autorizar la ocupación y el uso del territorio nacional y formar el aprovechamiento de los recursos naturales. Pero como las

empresas son particularmente mineras el Ministerio del Ambiente, antes de otorgar los permisos correspondientes, debe recibir la opinión favorable o no del Ministerio de Energía y Minas a los fines para los cuales son requeridos dichos permisos.

8.3.1 Exposición de motivos de la Ley de Minas vigente

La Presidencia de la República de Venezuela elaboró la siguiente Exposición de motivos del Decreto con Rango y Fuerza de la Ley de Minas actualmente en vigencia. Según Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5.382 de fecha 28 de noviembre de 1999.

Durante el tiempo de vigencia de la Ley de Minas de 1945 ha surgido una serie de hechos que en la actualidad han dado como resultado, en la mayoría de las veces, la desaplicación de la Ley ante actividades de carácter público o privado que han venido siendo realizadas al margen de la misma, tal como ocurrió con las encomiendas, asignaciones y delegaciones hechas a la Corporación Venezolana de Guayana (CVG), para el desarrollo, exploración y explotación de oro y diamantes, en la región Guayana, que originó una complejidad de contratos de dudosa legalidad.

Estas circunstancias han conducido a la revisión de los principios y normas contenidas en la Ley de Minas, entre los que cabe destacar la figura del denunció minero y la concesión de explotación, de otorgamiento facultativo por parte del Ejecutivo Nacional y adicionalmente, la situación sobrevenida con el Decreto N° 2.039 de fecha 15 febrero de 1977, mediante el cual el Ejecutivo Nacional se reservó la exploración y explotación de todos los minerales que no hubiesen sido reservados con anterioridad. Como consecuencia de esta reserva, quedó en suspenso el derecho a la exploración libre y exclusiva, influyendo de igual modo, sobre el derecho de explotación al dejar también en suspenso la aplicación del régimen de denunció minero.

Otra figura tradicional en nuestra legislación minera que perdió vigencia fue la del libre aprovechamiento, por disponer el artículo 200 de la Ley de Minas que en zonas declaradas de reserva, en nuestro caso, todo el territorio nacional, queda prohibido el libre aprovechamiento. Sin embargo, es posible constatar que en la práctica, a pesar de la prohibición expresa de la Ley, existe este tipo de explotaciones ilegales.

La presencia de tales explotaciones al margen de la Ley, nos enfrenta al hecho de que gran parte de la actividad minera que se desarrolla actualmente es una actividad ilegal. Realidad que se torna mucho más aguda, por cuanto los ingresos que debe percibir el Estado por concepto de impuestos provenientes de la actividad extractiva son evadidos. Por otra parte, el régimen fiscal vigente está contemplado sobre la base de un conjunto de alícuotas que no se corresponden con los márgenes de ganancia, desarrollo y expansión de la actividad minera existente.

Las circunstancias referidas hacen evidente la necesidad de adecuar las actividades mineras, a un régimen legal cónsono con las realidades nacionales actuales. En tal sentido, en el marco de la Ley Orgánica que autoriza al Presidente de la República para Dictar Medidas Extraordinarias en Materia Económica y Financiera requeridas por el interés público se autorizó al Presidente en Consejo de Ministros para dictar las medidas necesarias a fin de ordenar el régimen jurídico de las minas, de manera que mediante reglas claras y modernas se garantice la preservación del ambiente y se pueda atender al desarrollo minero integral, armonizando las actividades mineras con el resto de nuestra economía.

Atendiendo a los lineamientos mencionados, se elaboró este Proyecto de Decreto –Ley en el cual, se contemplan principios generales, acogidos por la mayoría de las legislaciones mineras; los cuales se pueden apreciar de forma constante en todo el cuerpo del Decreto –Ley.

En tal sentido, uno de los principios fundamentales que nutre las bases de este proyecto de Decreto–Ley lo constituye la declaratoria expresa de que las minas son propiedad de la República. Esta declaración aparece consagrada en nuestro ordenamiento jurídico a partir del decreto de El Libertador, dado en Quito el 24 de octubre de 1829, adelantándose en muchísimos años a las nuevas teorías y sistemas sobre la nacionalización de las minas. Sobre la base de este principio, el Estado se comporta frente a la riqueza minera como un verdadero propietario y no como un simple administrador de ella; por lo tanto, puede explotar por sí mismo en un régimen de concurrencia con terceros mediante concesiones o puede reservarse la explotación, sin que en ningún momento se desprenda de la propiedad de las minas. En el proyecto se adopta el sistema nominal que comprende las dos modalidades mencionadas anteriormente, es decir, la explotación directa o explotación mediante concesiones facultativas, en consecuencia, esto provoca la eliminación del sistema regalista y desaparecen por lo tanto las figuras del denunció, la exploración libre, la exploración exclusiva y el libre aprovechamiento.

Por otra parte, se acoge la utilidad pública en la materia regulada por el Decreto–Ley, como ha sido tradicionalmente en nuestro régimen minero y se establece por primera vez en la legislación venezolana el principio del desarrollo sostenible, el cual implica el ejercicio de la actividad minera en concordancia con aspectos ambientales, de ordenación del territorio, de estabilidad económica y de responsabilidad social, conjugados con principios de racionalidad y óptima recuperación del recurso.

Se atribuye al Estado la obligación explotatoria y el inventario de los recursos mineros. El Ministerio de Energía y Minas tendrá competencia sobre todas las materias relativas a la minería, específicamente de los planes de exploración, planificación, defensa y conservación, así como el régimen de la inversión extranjera.

En el título II, referente a la Administración de las Actividades Mineras, se regula el ejercicio de las mismas, las cuales pueden ser ejecutadas bajo cinco modalidades creadas con fines específicos para atender los requerimientos del sector, esas modalidades son: (a) directamente por el Ejecutivo Nacional, (b) concesiones de exploración y subsiguiente explotación, (c) autorizaciones de explotación para el ejercicio de la actividad de la pequeña minería, (d) mancomunidades mineras y (e) minería artesanal. Ante la posibilidad de que existan minerales o áreas geográficas respecto a los cuales el Ejecutivo Nacional tenga especial interés, éste podrá mediante reglamentación que dictará al efecto, señalar sobre la base de las modalidades adoptadas, las inversiones requeridas, así como cualquier otro elemento relevante para el desarrollo científico y tecnológico de la actividad minera en dichas áreas, tanto en el ámbito nacional como en el regional.

En el título III, relativo al Ejercicio de las Actividades Mineras, se establece el principio de la temporalidad de las concesiones, según el cual, la explotación de las minas tiene una limitación en el tiempo. Así mismo su ejercicio se circunscribe a los límites geográficos determinados.

Dada la naturaleza de la actividad minera y la preservación de dichos recursos y con el objeto de atender las posibles colisiones entre el superficiario y el minero, se hace la distinción entre suelo y subsuelo. En tal sentido, el suelo comprende la simple superficie y la capa que alcanza hasta donde llegue el trabajo del superficiario en actividades ajenas a la minería y el subsuelo se extiende indefinidamente en profundidad desde donde el suelo termina. Se hace esta distinción con el propósito de establecer que las actividades mineras que se realicen en el subsuelo no dan derecho a indemnización para el superficiario, que solo tiene ese derecho cuando tales actividades se realicen en el suelo. Es bueno recordar que en ningún caso, los propietarios del suelo ni del subsuelo pueden reclamar la propiedad de los yacimientos, que es siempre de la República.

Para facilitar las actividades mineras, el uso de la superficie y permitir el cabal desarrollo de las mismas, los beneficiarios de derechos mineros gozarán además de la posibilidad de constituir servidumbres, la ocupación temporal y la exploración; así como, el derecho para la utilización de los terrenos baldíos y al uso y aprovechamiento racional de las aguas del dominio público.

El ejercicio directo de la actividad por parte del Ejecutivo Nacional realizado bien sea, por órgano del Ministerio de Energía y Minas o mediante entes propiedad de la república, reafirma el dominio que el Estado tiene sobre los recursos naturales.

Es importante señalar el establecimiento del régimen de concesión única, la cual será de exploración y subsiguiente explotación, cuya duración no excederá de veinte (20) años, con posibilidad de prórrogas, que sumadas no podrán ser superiores a ese periodo. Otra característica de la concesión diseñada, consiste en la eliminación de la distinción basada en la pre-

sentación del mineral, en cuanto a veta, manto y aluvión, es decir, el concesionario tendrá derecho a la explotación del mineral cualquiera que sea su presentación.

La extensión horizontal de la concesión será de forma rectangular, cuya unidad de medida superficial es la hectárea. Los lotes estarán conformados por "unidades parcelarias", las cuales representan la unidad mínima de división del lote. La superficie de la unidad parcelaria variará entre un mínimo de 493 Has. y un máximo de 513 Has., todo ello permite darle una medida real a los lotes de acuerdo a la curvatura de la tierra y sobre la base de las más avanzadas técnicas de medición en materia minera. Se mantiene el sistema de proyección Universal Transversal Mercator (UTM), que permitirá ordenar de manera segura el otorgamiento, fiscalización y control de las concesiones.

Dentro del ámbito de la concesión, El Ejecutivo Nacional por razones de beneficio colectivo, podrá reservarse la ejecución de las actividades mineras sobre los minerales no otorgados en el título y se establece la obligación del concesionario de comunicarles al Ministerio de Energía y Minas el hallazgo de tales minerales, ya que conforme al nuevo sistema, la concesión no abarca todo los minerales que se encuentren dentro del área otorgada, sino expresamente aquellos a los cuales el título se refiere. Los concesionarios tienen un derecho preferente ante cualquier otro solicitante de concesión, para que le sean otorgados cualesquiera otros minerales y de hacer uso de este derecho, bastará que celebre convenios con el Ministerio de Energía y Minas.

Siguiendo principios de nuestra legislación minera, el Ministerio de Energía y Minas podrá estipular con el concesionario, ventajas especiales para la República, con ocasión de los derechos mineros a ser otorgados.

Se crea una comisión interministerial permanente, integrada por los ministerios de Energía y Minas, del Ambiente y de los Recursos Naturales, de Finanzas y de la Defensa, con el propósito de coordinar las materias de la competencia de dichos despachos relativas a la minería, a la protección ambiental, al Resguardo Minero y a la materia fiscal. Se propone la creación de una taquilla única a los fines de la tramitación coordinada de las diversas solicitudes de concesión.

A los fines de lograr una mayor celeridad en el otorgamiento de derechos mineros y conforme a lo previsto en la Ley Orgánica de Procedimientos Administrativos, se establecieron los lapsos por días continuos, permitiendo el acotamiento de los lapsos a cumplir para el otorgamiento de las concesiones.

Tomando como fundamento la legislación vigente, se estableció un procedimiento expedito para el otorgamiento de las reservas nacionales resultantes de la selección del lote que haga el concesionario en cada caso, aplicable igualmente para las zonas libres, conformadas por las concesiones extinguidas, renunciadas, caducadas por las concesiones extinguidas, re-

nunciadas, caducadas o anuladas por sentencia de la Corte Suprema de Justicia.

El periodo de exploración tendrá una duración que no será mayor de tres (3) años, más un (1) año de prórroga. Por otra parte, el concesionario queda sujeto a la presentación de un estudio de factibilidad que comprende tres aspectos: técnico, financiero y ambiental. La presentación del estudio de factibilidad y del plano correspondiente constituye requisito fundamental e impermitible a los fines de la continuación de los trabajos y labores en la concesión. Como consecuencia de la presentación de ambos documentos y cumplidos los términos correspondientes, se procederá al otorgamiento del Certificado de Explotación, acto dictado por el Ministerio de Energía y Minas que confiere a los concesionarios, sus herederos y causahabientes en las parcelas seleccionadas. Así mismo, el concesionario tendrá un lapso máximo hasta siete (7) años para poner en explotación las parcelas objeto de la concesión.

En el título IV se consagra una nueva figura distinta de la tradicional concesión, para tener una minería de menor escala, como es la pequeña minería, la cual está concentrada específicamente en la explotación de oro y diamantes. Este sistema constituye un régimen más flexible que el de la concesión, su trámite administrativo es más breve y permite explotar un pequeño número de hectáreas. Se otorga mediante una Autorización de Explotación emanada del Ministerio de Energía y Minas, la cual es a título precario, no confiere derechos reales y sólo puede ser ejecutada por los venezolanos.

Se introduce también, en la legislación minera nacional, la figura de las Mancomunidades Mineras, su esencia proviene de la Ley de Minas de España, y se aspira ponerla en práctica con el fin de obtener un mejor aprovechamiento de los recursos mineros, facilitar las operaciones técnicas de los yacimientos, mejorar el rendimiento de las explotaciones y proteger los recursos naturales y el ambiente. La Mancomunidad Minera se orienta hacia el mejoramiento y organización de la actividad minera, lo cual tendrá una repercusión social en las áreas donde se desarrolle, permitiéndole a los titulares de ésta, la posibilidad de obtener una concesión en fase de explotación. Otra de las ventajas desde un punto de vista económico de las Mancomunidades Mineras es que de ellas resulta una concentración de actividades en una localidad (región) reduciendo los costos, aunque cada empresa sea pequeña. La concentración genera la posibilidad de tener costos más bajos por servicios conexos, infraestructura y tiende a generar proveedores más eficientes, por lo que surge la tendencia a la formación de complejos industriales.

Asimismo, se regula la Minería Artesanal, la cual se ejercerá por personas naturales de nacionalidad venezolana y se caracteriza por el trabajo personal y en forma directa de una mina realizado mediante equipos manuales, simples y portátiles, con técnicas de extracción y procesamiento rudimentarios.

Por su parte, el título V establece que las actividades de almacenamiento, tenencia, beneficio, manufactura, transporte, circulación y comercio, estarán sujetas a la vigilancia e inspección por parte del Ministerio de Energía y Minas. En el título VI relativo a la Fiscalización y Vigilancia de las Actividades Mineras, se crea el Resguardo Nacional Minero, con el carácter de órgano auxiliar del Ministerio de Energía y Minas, el cual será ejercido por el Ministerio de la Defensa, por órgano de las Fuerzas Armadas de Cooperación (la Guardia Nacional). Este Resguardo Minero comprende, entre otras, las funciones y competencias de inspección, vigilancia y control en el territorio nacional de las actividades mineras que directa o indirectamente puedan incluir sobre el normal desarrollo de las mismas, velar por el cumplimiento de todas las disposiciones legales y mantener el orden público.

El título VII prevé el Régimen Tributario, del cual podemos destacar que, a fin de establecer un régimen fiscal fundamentalmente instrumental que propicie la inversión privada nacional y extranjera, se analizó el régimen fiscal vigente en la legislación comparada latinoamericana, las alícuotas de los tributos mineros vigentes a escala nacional, las estructuras de costos de las empresas mineras operadoras y los márgenes de ganancias en función de las inversiones realizadas. De la misma manera, se tomó en consideración la recesión económica que afecta a las empresas mineras y la tendencia a la baja experimentada en los precios y consumo en los mercados de minerales a escala mundial que incide en la producción de minerales y en la rentabilidad de las empresas mineras, en consecuencia se eliminó el impuesto de explotación, y se estableció un impuesto superficial progresivo en el tiempo y en función del número de hectáreas de las concesiones, a fin de propiciar e impulsar la exploración y la explotación. Una vez iniciada la explotación, se permite que se deduzca, hasta concurrencia, el impuesto superficial.

Por otra parte, se faculta al Ejecutivo Nacional para reducir el impuesto de explotación hasta uno por ciento (1%) y de restituirlo hasta sus niveles originales tres por ciento (3%) para propiciar la rentabilidad de las exportaciones mineras.

El título VIII consagra las causales de extinción de los derechos mineros; se amplían las causales existentes de caducidad de las concesiones y se crean las causales de caducidad para las autorizaciones de explotación. Asimismo, se mantiene y perfecciona la figura de la reversión de los bienes adquiridos con destino a las actividades mineras, debiendo ser mantenidos y conservados por el particular en condiciones de buen funcionamiento durante todo el término de duración de los derechos mineros, en virtud de este principio, dicho bienes al cesar los derechos pasarán en plena propiedad a la república libre de gravámenes y cargas, sin indemnización alguna. Se prevé el evento del cierre de la mina desde el comienzo mismo de la concesión, para que vayan tomando las medidas a fin de que se afecten de la menor manera los intereses ambientales del Estado y de los particulares.

Por otra parte, el Título IX establece aplicable en caso de contravención de las normas previstas en este Decreto-Ley y se prevé las características para su aplicación. En el Título X se crea el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), el cual servirá como centro de información básica nacional, centro de acopio y divulgación de datos técnicos-científicos fundamentales sobre geología, recursos minerales, geotecnia, sismología, geoambiente y otros, necesarios para permitir la realización de los planes para el desarrollo minero. Finalmente el Título XI establece las Disposiciones Transitorias, según las cuales, la explotación de los minerales contemplados en el artículo 7° de la Ley de Minas que se deroga, continuarán sometidos a las disposiciones de la misma hasta tanto los Estados asuman su misión descentralizadora, dictando una ley especial que regule la actividad de dichos minerales. Por otra parte, se hace declaración fundamental respecto a los contratos suscritos por la Corporación Venezolana de Guayana (CVG), señalando un procedimiento para su conversión en concesiones o autorizaciones de explotación, para el ejercicio de la pequeña minería según el caso. Al mismo procedimiento se someten los contratos suscritos por las Corporaciones Regionales de Desarrollo, en cuanto les sea aplicable.

Con estas disposiciones y con las referentes a la pequeña minería, se ofrece un cauce para que se adecuen a la legalidad, explotaciones mineras que ahora se ejecutan con formas de dudosa legalidad.

8.3.2 Principales aspectos del Decreto 478 sobre regionalización

El objeto principal es establecer una Oficina Regional de Coordinación y Planificación en cada una de las Regiones. Las Corporaciones Regionales de Desarrollo son los instrumentos del desarrollo, tienen la responsabilidad de impulsar proyectos y apoyar iniciativas productivas de las particulares. En cada Región funcionará un Consejo Regional de Desarrollo. Se abre la posibilidad de crear subregiones y áreas de programación especial a fin de promover el desarrollo de problemas integrados y proyectos específicos, así como dar especial impulso a áreas retrasadas o deprimidas.

En el Cuadro XX presentamos la lista de las diferentes Oficinas Regionales de Coordinación y Planificación y las entidades federales que las conforman.

8.3.2.1 *Inspectoría Técnica Regional N° 1 de Guayana*

La Región de Guayana está constituida por las entidades federales: estado Bolívar y los Territorios Federales Amazonas y Delta Amacuro.

La Región de Guayana comprende la parte sur de Venezuela situada al Sur del río Orinoco y cubre una extensión territorial de 50 por ciento de la superficie del país. Geológicamente se denomina Escudo de Guayana y está constituida por rocas precámbricas arquezóicas y proterozóicas de diversas litologías,

Cuadro XX. Oficinas Regionales de Coordinación

REGIÓN	ENTIDADES FEDERALES
Inspectoría Técnica Regional N° 1	Estado Bolívar Territorio Delta Amacuro Guayana
Inspectoría Técnica Regional N° 2 ^a . Capital	Estado Amazonas Distrito Federal Estado Miranda
Inspectoría Técnica Regional N° 2 ^b . Centro-Llanos	Estado Aragua Estado Carabobo Estado Cojedes Estado Guárico Estado Apure Estado Lara Estado Yaracuy Estado Portuguesa
Inspectoría Técnica Regional N° 3. Zuliana	Estado Zulia Estado Falcón
Inspectoría Técnica Regional N° 4. Los Andes	Estado Tachira Estado Mérida Estado Trujillo Estado Barinas
Inspectoría Técnica Regional N° 5. Nororiental e insular	Estado Anzoátegui Estado Sucre Estado Monagas Estado Nueva Esparta

metamorfizadas o menor intensidad durante una serie de episodios geotécnicos. Con base en las características petrológicas el Escudo ha sido dividido en Venezuela en cuatro provincias: Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima; las cuales difieren en sus direcciones estructurales, estilos de deformación tectónicas, asociaciones litológicas y metalogénicas y edades. Petrológicamente la Provincia de Imataca pertenece al cinturón granulítico, Pastora al cinturón verde, Cuchivero por sus extensiones de granitos y Roraima es una cubierta sedimentaria discordante sobre las provincias Pastora y Cuchivero. Rocas sedimentarias del Cuaternario son abundantes en la gran hoya hidrográfica regional.

8.3.2.2 *Inspectoría Técnica Regional N° 2-A Capital*

La Región Capital está constituida por las siguientes entidades federales: Distrito Federal y estado Miranda. Estas entidades se encuentran situadas a lo largo de la parte central de la Cordillera de la Costa.

El Distrito Federal forma un cinturón angosto entre las montañas, ocupando más o menos la mitad del largo de la Cordillera de la Costa. En esta zona la geología consiste principalmente de rocas metamórficas, escasas rocas sedimentarias y algunas intrusiones ácidas y básicas. La serie litológica de Caracas está formada por sedimentos en dirección Este-Oeste. Esta serie comienza con un conglomerado basal denominado conglomerado de Las Brisas que descansa directamente sobre el granito. Sobre estos conglomerados yacen los Conglomerados de Zenda sobre los cuales, a la vez, reposan los esquistos de Las Mercedes, los cuales son calcáreos, grafiticos y micáceos

y exhiben algunas arenosas. En cuanto a yacimientos de arenas y gravas, los depósitos de antiguos lechos del río Guaire han sido explotados para suplir demandas locales de arena y grava. El río Guaire meandrababa sobre el ancho piso del Valle de Caracas, y en algunos lugares se han encontrado bolsones de más de 10 metros de espesor, de arena y grava susceptible de ser explotados.

La mayor parte del estado Miranda está incluido en la Serranía del Interior y comprende casi todo el valle del río Tuy. La Serranía del Interior está constituida por sedimentos altamente metamorfizados e intensamente plegados que incluyen calizas, areniscas, conglomerados y pizarras calcáreas. Los conglomerados se pueden seguir por una considerable distancia y forman capas y horizontes uniformes en rumbo y buzamiento; hay una gran cantidad de masas de calizas. En el valle del río Tuy, en el de sus tributarios y zonas adyacentes, se encuentra en abundancia y de buena calidad los yacimientos de arenas y gravas de buena calidad. Los yacimientos de arcillas se localizan en la región de los Valles del Tuy y en la región de Barlovento, donde se identifican las formaciones La Cymaca y Mamporal.

El estado Vargas fue creado recientemente. Después de las crecientes de los ríos y quebradas de la zona en diciembre de 1999, todas las canteras y areneras existentes en las zonas fueron paralizadas.

8.3.2.3 Inspectoría Técnica Regional N° 2–B Centro–Llanos

La Región Central está constituida por las entidades federales: estados Aragua, Carabobo, Cojedes y Guárico.

La Región Central se encuentra situada en la parte noroeste–centro de Venezuela. Es amplia, se extiende en dirección Norte–Sur desde el Litoral de Carabobo hasta Los Llanos de Cojedes, atravesando geológicamente la Cordillera de la Costa y entrando en la septentrional de la zona de los Llanos de Venezuela; por consiguiente, presenta una geología variada. En la Cordillera e la Costa comienza con un conglomerado basal que descansa sobre un augen–gneis granítico sobre el cual yacen una serie de esquistos calcáreos, grafiticos micáceos y calizas. En el área de Los Llanos se encuentran sedimentos blandos poco erosionados.

La Región de los Llanos está constituida por las entidades federales: estados Guárico y Apure.

La Región los Llanos se encuentra situada en el centro–sur de Venezuela. Geomorfológicamente ubicada en el centro de la Región Centro–Los Llanos de Venezuela, caracterizada por una topografía de bajo relieve y constituida geológicamente por sedimentos terciarios, cuaternarios y aluviones recientes. En la zona norte en el área piemontina se encuentran yacimientos de calizas y yeso. En los cauces de los ríos se localizan sedimentos recientes de gravas, arenas y arcillas. No existen datos

estadísticos de la producción de rocas industriales en esta región.

La Región Centro–occidental está constituida por las entidades federales: estados Yaracuy, Lara, Apure y Portuguesa.

La Región Centro–occidental está situada en la parte centro norte–occidental de Venezuela. Es una zona de relieve variado y elevado, constituida por una serie de sierras de poca elevación, cuyos ejes están casi todos orientados de Oeste a Este. Geológicamente, alrededor de 70% de la superficie de la región está compuesta por rocas sedimentarias de edad terciaria, el resto puede ser dividido entre sedimentos del Cuaternario de los Llanos de Portuguesa y sedimentos del Cretáceo de Lara.

Las arenas del Decreto 600 son las explotadas en playas de mar y en las riveras navegables, por lo tanto son las que necesitan mayor atención en cuanto a los métodos y procedimientos en su extracción. A continuación presentamos el directorio de las empresas que explotan grava marina en el estado Aragua.

8.3.2.4 Inspectoría Técnica Regional N° 3 Región Zulia – Falcón

La Región Zuliana está constituida por las entidades federales de los Estados Zulia y Falcón.

La Región Zuliana se encuentra situada en el extremo nor–oeste de Venezuela, ocupando por entero y solamente el Estado Zulia. Dicho estado se encuentra ubicado en la Cuenca de Maracaibo, que es una gran depresión estructural y topográfica que se extiende hacia el Norte y el Este de la Cordillera de los Andes y de la Sierra de Perijá. El área de la cuenca sufrió submergencias en el Paleozoico, seguido por una sedimentación bajo condiciones continentales en el Triásico. Los sedimentos del Eoceno, en gran parte de origen marino, están distribuidos en la cuenca, aflorando hacia sus bordes de los Andes y Perijá. Otros sedimentos terciarios, igualmente bien distribuidos, que indican ambientes de deposición diversos, se encuentran en las cuencas. La cuenca está cubierta en gran parte por sedimentos cuaternarios. Generalizando, la columna estratigráfica de la cuenca es muy interesante por la diversidad de los tipos geológicos que comprenden y por alcanzar un espesor considerable.

8.3.2.5 Inspectoría Técnica Regional N° 4 Región Los Andes

La Región Los Andes está constituida por las entidades federales: estados Táchira, Mérida, Trujillo y Barinas y el Distrito Páez del estado Apure.

Cincuenta por ciento de la Región Los Andes se encuentra situada en la zona de la Cordillera de los Andes y el otro cincuenta por ciento en la zona de los Llanos de Barinas y Apure, a lo largo del río Apure en su margen izquierda hasta su confluencia con el río Guárico. La Cordillera de los Andes es el sistema

montañoso más elevado del país, es la prolongación de los Andes colombianos, que penetran a Venezuela por la depresión del Táchira, desde donde se prolongan por más de 460 kilómetros hasta la depresión de Yaracuy. El río Apure nace en la Cordillera de los Andes en el Estado Táchira, con el nombre de Uribante y toma el nombre de río Apure de su unión con el río Sarare. El núcleo basal de la Cordillera de los Andes venezolanos consiste en rocas metamórficas intrusionadas por ígneas principalmente ácidas, flanqueadas por rocas sedimentarias en estructura anticlinal por capa muy inclinadas que van desde el Paleozoico al Cuaternario. En estas formaciones se encuentran importantes yacimientos de rocas con usos industriales, notándose calizas, arcillas, fosfatos, gravas y arenas. Los Llanos altos de Barinas están formados por sedimentos del Reciente en terrazas relativamente altas que se desarrollan en el piedemonte andino. Los Llanos bajos formados por sedimentos del Reciente cubren su total superficie.

8.3.2.6 Inspectoría Técnica Regional N° 5 Región Nororiental e Insular

La Región Nororiental e Insular está constituida por las siguientes entidades federales: Estado Anzoátegui, Sucre, Monagas y Nueva Esparta.

La Región Nororiental está situada en la parte norte–este–centro de Venezuela. Es amplia, se extiende tanto en dirección Norte–Sur como en dirección Este–Oeste. Está comprendida geomórfologicamente entre la Cordillera de la Costa Oriental y los Llanos Orientales de Venezuela. La parte norte de la región es montañosa, se encuentra en la sección Oriental de la Cordillera de la Costa formando las penínsulas de Araya y Paria, y la Sierra del Interior extendiéndose paralelamente a la Cordillera de la Costa hasta el estado Sucre. La Cordillera de la Costa Oriental es de tografía simple, de unos 250 kilómetros de longitud y unos 20 kilómetros anchura promedio. Geologicamente consiste en un núcleo principalmente de rocas metamórficas cretatas. A lo largo de la costa sur de la Península de Paria se encuentran depósitos de yeso, arenas, arcillas y conglomerados. En la Serranía del Interior afloran exclusivamente rocas sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico.

La parte septentrional de la Región Nororiental comprende los Llanos de Anzoátegui y de Monagas. Estas llanuras, al igual que las de los Llanos occidentales de Venezuela, están constituidas por sedimentos blandos cuaternarios y grandes extensiones de depósitos de aluviones; pero los Llanos orientales de Venezuela presentan mayor diversidad geomorfológica por influencia de su geología. El manto de sedimentos recientes y del Pleistoceno ha sido removido por erosión en parte de Anzoátegui y Monagas, y las formaciones del Mioceno así expuestas producen una topografía caracterizada por un drenaje rectangular y dentritico. En consecuencia los Llanos de Anzoátegui y Monagas se caracterizan por la presencia de mesas extensas y planas, bordeadas por farallones abruptos que constituyen los cauces de los ríos, cursos generalmente con rumbo Oeste –Este.

El estado Nueva Esparta está en la Región Insular al Norte del estado Sucre, y comprende las Islas de Margarita, Coche y Cubagua. De las islas venezolanas, la Isla de Margarita es la más importante, tanto por su población como por su extensión. Se encuentra ubicada a unos 30 Kms. al Norte de la Península de Araya. Está compuesta por dos picos montañosos unidos por dos barros de arena. Estas montañas son parte de la Cordillera de la Costa. Las rocas más antiguas de la Isla están constituidas por secuencias de rocas metavolcánicas y rocas metasedimentarias que se dividen en dos partes: la parte inferior de anfibolitas y la superior de esquistos y gneises, las cuales han sido intrusionadas por rocas ultramáficas. Las rocas sedimentarias se encuentran casi en su totalidad en la parte sur de la Isla y pertenecen al Terciario; a excepción de los conglomerados y areniscas de la bahía de Juan Griego, que pertenecen al Pleistoceno.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguerrevere, S.E. 1938. Geología de la Isla de Gran Roque y sus depósitos de fosfato. Rev. Fom. Vol. 2, Na. 21.
- Aguerrevere, S.E. 1939. Exploración de la Gran Sabana, estado Bolívar. Rev. Fom. Na. 19.
- Bateman, A.M. 1957. Yacimientos minerales y de rendimiento económico. Edit. Omega, Barcelona.
- Bertolio, S. 1922. Canteras y minas. G. Gill Edit.
- Boky, B. 1967. Mining Mir. Pub Moscow.
- Bureau of Mines. 1970. Mineral Facts and Problems. Dept. of Interior, Washington, D.C., USA.
- Carmona, C.L. 1954. Arcillas, caolín, feldespato y yeso en Venezuela. Informes geológicos. Archivo de la Dirección de Minas del Ministerio de Energía y Minas.
- Carmona, C.L. 1954. Fosfato, estado Táchira. Informes geológicos. Archivo de la Dirección de Minas del Ministerio de Energía y Minas.
- Carmona, C.L. 1965. Fosforita, estado Táchira. Informes geológicos. Archivo de la Dirección de Minas del Ministerio de Energía y Minas.
- Carmona, C.L. 1971. Dolomita, estado Falcón. Informes geológicos. Archivo de la Dirección de Minas del Ministerio de Energía y Minas.
- Carmona, C.L. 1975. Fosforita, Lizardo, estado Falcón. Informes geológicos. Archivo de la Dirección de Minas del Ministerio de Energía y Minas.
- Carmona, C.L. 1981. Calizas en Venezuela. Informes geológicos. Archivo de la Dirección de Minas del Ministerio de Energía y Minas.
- Costes, J. 1970. Equipos de extracción y de preparación de minerales.
- Cotton, C.A. 1942. Geomorphology. Whitcombe-Tomas, London.
- Chi-Yi, Chen. 1973. Distribución espacial de la población venezolana. Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela.
- Deflamde, G. . La vida creadora de las rocas. Edit. Unión.
- Espejo, Aníbal. 1989. Áreas calcáreas de Venezuela como materia prima para la fabricación de cemento y carbonato de calcio para la industria.
- Freile, A. 1963. Provincias fisiográficas de Venezuela. Ministerio de la Defensa. Pub. Na. 63.
- Fustesr, J.A. 1980. Paraninfo, Madrid.
- González, Juana C. de. 1980. Geología de Veenzuela. Caracas.
- Huang, W.T. 1968. Petrología. Centro Regional de Ayuda Técnica. México.
- Harker, A. 1960. Petrology for Students. Cambridge Univ. Instituto Venezolano. 1963-1966. Arcillas industriales.
- Lewis, R.S. y G.B. Clark. 1966. Elements of Mining. John Wiley. New York.
- Lobeck, A.K. 1939. Geomorphology. McGraw Hill.
- Minero de España. 1975-1976. Arenas y gravas, Rocas calcáreas, Sedimentarias, Vidrios volcánicos, Dunita y olivino, Pizarras.
- Montana, A., R. Grespi y G. Liborio. 1980. Guía de minerales y rocas. Edit. Grijalbo. Barcelona.
- Mudd, S.W. 1937. Industrial Minerals and Rocks. Am. Inst. Min. Met Eng. New York.
- Pomero, C. y R. Fouet. 1953. Las rocas sedimentarias. Edit. Universitarios. Buenos Aires.
- Rivero Palacio. 1967.
- Rodríguez, Simón E. 1986. Recursos minerales de Venezuela
- Samper, J. 1940. Las riquezas de la Tierra. Edit. Labor. Barcelona.
- Stoces, B. 1963. Elección y crítica de los métodos de explotación en minería. Edit. Omega. Barcelona.
- Turnet, F.J. y J. Verhoogen. 1963. Petrología ígnea y metamórfica. Edit. Omega. Barcelona.

GLOSARIO

Abisal: Roca formada a gran profundidad, sinónimo de roca plutónica.

Alfarería: Taller donde se fabrican vasijas de barro.

Anticlinal: Pliegue convexo de estratos levantados en forma de bóveda alargada, de manera que forma dos pendientes contrapuestas.

Arcilla: Roca suelta clástica, finamente terrosa, formada de cuarzo y minerales arcillosos procede de los silicatos primarios contenidos en las rocas, tales como micas, feldspatos, piroxenos, anfíboles, etc, que por oxidación o desilificación parcial se convierten en minerales arcillosos.

Arena: Roca suelta, compuesta de granito y minerales, de 0,06 a 2 mm de diámetro. Es producto de la meteorización de rocas y de la selección del material detrítico lavado.

Arenera: Yacimiento natural de arena

Arenisca: Roca sedimentaria procedente de la cementación de la arena.

Batolito: Masa rocosa profunda, formada por rocas cristalinas de grano grueso, que en estado líquido o magmático las capas más elevadas de la corteza terrestre y se solidificó dentro de una distancia rasada de la superficie.

Bóveda: Cumbre o cima redondeada. Sinónimo de cúpula, domo amplio.

Brecha: Roca detrítica, compuesta por fragmentos angulares de diversos tamaños. Eruptiva: cuando está constituida por restos angulosos de rocas eruptivas volcánicas y por minerales procedentes de las paredes de la grieta filónica y cementada por materia mineral tectónica; originada por la

fricción sobre el plano del movimiento en proceso de dislocación. Se denomina también milonita.

Cacharro: Vasija de loza ordinaria.

Caliza: Roca sedimentaria generalmente marina, de origen químico u orgánico. Su componente principal es la calcita.

Cantera: Lugar de donde se extrae la piedra empleada en la construcción de obras.

Caolín: Roca compuesta esencialmente de silicato de aluminio (caolinita). Debe su origen a la meteorización de silicatos de calcio de arcilla.

Cemento: Producto de la caliza que sirve para fabricar la argamasa en la construcción.

Cerámica: (Del griego *keramos*, arcilla). Arte de fabricar vasijas y objetos de arcilla.

Clástica: Roca compuesta de fragmentos.

Concordancia: Estratificación paralela de distintas capas de modo que todas ellas presentan igual inclinación.

Conglomerado: Roca sedimentaria clástica formada por detritos de roca grandes o medianos, redondeados, unidos por cementos calcáreos, silíceos u otros, y consolidados diagenéticamente.

Criba: Cedazo. Aparato mecánico provisto de uno o varios depósitos con fondo de tela metálica o plancha agujereada que sirve para separar por dimensión las partículas o fragmentos de materias pulverulentas o granuladas.

Cribar: Pasar material a granel a través de mallas u orificios de un cedazo o criba con objeto de eliminar las impurezas mez-

Glosario

cladas en ellas o para separar sus fragmentos por grosores diferentes.

Cuarcita: Roca sedimentaria o metamórfica formada por granos de cuarzo silíceo cementado.

Cuarzo: Mineral incoloro o colorado de fórmula SiO_2 (ácido silícico deshidratado).

Cuenca: Depresión cerrada de la superficie terrestre de paredes suaves. Amplio espacio de sedimentación de forma cóncava, rellenado a menudo por sedimentos recientes.

Cuenca hidrográfica: Territorio cuyas aguas fluyen todas al mismo río, lago o mar. Está limitada por divisorios de aguas.

Detrito: Material de meteorización y fragmentos rocosos de cualquier tipo. Los agentes móviles lo convierten en material móvil.

Diaclasa: Una figura en la roca.

Diagénesis: Consolidación de una roca sedimentaria tras la deposición; sea, por ejemplo, por presión (deshidratación), por recristalización o por la cementación llevada a cabo por los aglutinantes contenidos en las soluciones químicas.

Dique: Intrusión a modo de muro que corta la estratificación, masas ígneas u otras intrusiones y cuyo espesor es pequeño respecto a su longitud.

Discordancia: Deposición de los estratos rocosos en sentido inverso al de su lugar de deposición; por ejemplo, estratos planos y más recientes sobre otros más antiguos, plegados y posteriormente allanados.

Dolomia: Roca granuda o densa compuesta fundamentalmente de dolomita. Se forma a partir de la caliza con aporte de magnesio.

Dolomita: Carbonato cálcico-magnesio, parecido en su aspecto a la calcita, pero menos frecuente que éste.

Domo: Forma abovedada que presentan algunos cerros en los cuales la erosión ha actuado uniformemente.

Duna: Acumulación de arena fina de cuarzo por obra del viento.

Epi: Prefijo inseparable, del griego *epi*, que significa sobre.

Epigenético: Término usado para describir un proceso que ocurre en o cerca de la superficie terrestre.

Era geológica: Cada una de las grandes divisiones de la historia de la Tierra: Arcaica, Paleozoica, Meozoica, Terciaria y Cuaternaria.

Erosión: Parte del proceso de denudación que involucra el desgaste de la superficie rocosa de la Tierra por la acción mecánica del detrito rocoso transportado.

Esquisto: Roca metamórfica megascópicamente cristalina de estructura secundaria hojosa o laminar, lo que permite que pueda separarse en hojas. Se distingue de la pizarra en que los minerales de ésta son de grano fino.

Evaporita: Deposición sedimentaria formada por precipitación de sales procedentes de cuerpos de disoluciones concentradas rodeadas de tierra.

Exploración de yacimientos: Conjunto de trabajos que tienen a la localización de un yacimiento mineral que puede ser explotado económicamente.

Explotación de un yacimiento: Acción y efecto de dirigir y aprovechar la extracción de minerales de un yacimiento.

Falla: Fisura en una roca a lo largo de la cual se observa que ha existido desplazamiento entre los bloques que la fractura separa.

Feldespatos: Importante grupo de minerales petrogénicos de la corteza terrestre (60 por ciento de ella). De la alteración de los feldespatos resulta el carbonato de calcio, la sustancia arcillosa y la caolinita.

Filita: Pizarra cristalina microgranulada, compuesta de cuarzo y sericita. Se origina por metamorfismo regional a partir de pizarras arcillosas.

Filón: Relleno mineral o rocoso de una grieta en otra roca más antigua.

Formación: Conjunto heterogéneo de capas sedimentarias estructuradas o no, depositadas en un mismo lugar y durante un mismo período.

Fosforita: Depósitos sedimentarios fosforados que se presentan como masas o capas carbonatadas.

Gabro: Roca ígnea plutónica de grano grueso, color oscuro y compuesta de plagioclasa, augita y olivino.

Gneis: Roca metamórfica bandeada, formada durante un alto grado de metamorfismo regional, que incluye numerosos tipos de roca de diferentes orígenes.

Gradiente: Aumento o disminución de una magnitud física cuando se pasa de un punto a otro del espacio.

Granito: Roca ígnea plutónica, compuesta de cuarzo, feldespato y mica, así como también de hornblenda, augita, magnetita, etc.

Rocas Industriales de Venezuela

Grava: Conjunto de productos gruesos procedentes de la meteorización de las rocas todavía poco afectadas por el transporte y el roce consiguiente. Su tamaño varía de 0 a 1 cm.

Gravera: Yacimiento natural de gravas.

Gres: Pasta cerámica, parcialmente vitrificada por la cocción, que por ser refractaria se usa para fabricar recipientes.

Grieta: Abertura en rocas. Su extensión puede ser muy variable.

Guijarro: Canto rodado.

Hidratación: Acción y efecto de hidratarse una roca, o sea, de combinarse con los elementos del agua alguno de los elementos que la roca contiene.

Hiper: Prefijo, del griego *hiper*, que significa sobre.

Hipo: Prefijo, del griego *hypo*, que significa inferioridad.

Hipoabisal: Término aplicado a las rocas intrusivas que cristalizan en condiciones intermedias entre las abisales (plutónicas) y las volcánicas (extrusivas).

Hipogénico: Término usado para describir los procesos que se originan en la corteza terrestre, especialmente los yacimientos mineros formados por fluidos magmáticos ascendentes.

Ígneas: Rocas de origen magmático, sean intrusivas o extrusivas.

Intrusión magmática: Proceso por el cual el magma procedente del interior de la Tierra permanece dentro de la corteza terrestre consolidada, formando cuerpos rocosos de distintos tipos: lacolitos, plutones, etc. La intrusión puede ser causa del metamorfismo de las rocas vecinas.

Juntas: Fracturas en la roca a lo largo de las cuales han tenido movimientos relativos no mensurables.

Juntura : Fractura de una roca que no señala la existencia de movimiento en su formación. En general comprende estratificación, clivaje y esquistocidad.

Kimberlita: Peridotita micácea. Roca de la cual provienen los diamantes.

Lacolito: Masa magmática que se solidifica en la corteza terrestre, provocando una deformación convexa de los estratos superiores en forma de cúpula.

Ladrillo: Arcilla cocida en forma de prisma que se utiliza en la construcción.

Lava: Flujo rocoso (magmático) en estado incandescente que asciende desde el interior de la Tierra, formando rocas extrusivas al solidificarse en la superficie.

Limo: Arcilla muy fina. Sinónimos: barro, cieno, fango, lodo, etc.

Litoral: Costa de un mar-

Lopolito: Masa magmática que se solidifica en la corteza terrestre, provocando una deformación cóncava en forma de plato vuelto hacia arriba.

Loza: Arcilla fina que sirve para hacer utensilios domésticos sencillos.

Rocas Industriales de VenezuelaCapítulo I. Introducción107107Rocas Industriales de VenezuelaCapítulo I. Introducción107107Rocas Industriales de VenezuelaCapítulo I. Introducción107107**Lutita:** Roca arcillosa.

Magma: Flujo rocoso incandescente compuesto de óxidos y elementos volátiles que se encuentran en zonas más profundas de la corteza terrestre. Puede ascender a la superficie o quedar apresado por movimientos de la corteza. En caso de llegar a la superficie, forma las rocas ígneas extrusivas y si se solidifica dentro de la corteza terrestre forma las rocas ígneas intrusivas.

Marga: Roca sedimentaria formada por arcilla y caliza de mezcla variada.

Mármol: Roca cristalina formada por metamorfismo a partir de caliza densa o dolomita.

Meandro: Sinuosidad regular descrita por el lecho ordinario de un río.

Mena: Sustancia mineral de veta.

Mesolítico: Período prehistórico comprendido entre el Paleolítico y el Neolítico.

Metamorfismo: Transformación que sufren las rocas en el interior de la corteza terrestre a consecuencia de cambios de temperatura o depresiones.

Metamorfismo de contacto: Producido por contacto del magma ascendente en las rocas vecinas.

Metamorfismo regional: Producido al hundirse parte de la corteza terrestre en zonas más profundas, causando aumento de presión y temperatura.

Meteorización : Destrucción de las rocas y los minerales cercanos a la superficie por agentes atmosféricos.

Glosario

Mina: Explotación de un yacimiento mineral.

Minerales: Cuerpos homogéneos de origen natural que componen la corteza terrestre.

Neolítico: Período prehistórico que va de 8.000 a 2.500 a.C. Situado entre el Mesolítico y la Edad de los metales. El hombre comienza a utilizar la piedra para la construcción y la arcilla para la cerámica.

Paleolítico: Primera época de la Prehistoria, caracterizada por la industria de la piedra tallada y que duró desde la aparición del hombre hasta el año 12.000 a.C., cuando comienza la etapa mesolítica.

Pedernal: Roca química sedimentaria compuesta de ópalo, calcedonia y cuarzo cristalino. Ocurre en forma de capas continuas interestratificadas con calizas y pizarras; también ocurre como concreciones o nódulos en rocas sedimentarias calcáreas.

Peridotita: Roca profunda ultrabásica compuesta esencialmente de piroxenos.

Piedra: Fragmento de roca o material rocoso.

Piroxenita: Roca profunda ultrabásica compuesta esencialmente del grupo de los piroxenos.

Piroxeno: El grupo de los piroxenos o de las augitas está formado por un grupo importante de minerales petrogenéticos, químicamente silicatos cálcicos magnésicos con contenido variable de álcalis, aluminio y hierro o carentes de los mismos.

Pizarra: En sentido amplio, todas las rocas que pueden explotarse fácilmente en capas delgadas.

Placer: Acumulación de minerales beneficiables, depósitos de arenas y cantos rodados.

Plagioclasa: Feldespato sódico calizo.

Pliegue: Ondulación de una capa o estrato de longitud y forma variable. Según sean las capas más recientes las que se encuentren en el núcleo del pliegue, se tiene un anticlinal o un sinclinal.

Plutón : Masa de roca profunda, de tamaño y forma variable. Solidificada dentro de la corteza terrestre por debajo de 5 Km de la superficie. Son plutones, entre otras, el batolito y el lacolito.

Plutónicos : Rocas ígneas intrusivas formadas a gran profundidad, con estructuras no orientadas, formadas en un plutón.

Porcelana: El más fino de los productos cerámicos. La porcelana consta de un elemento plástico (caolín), al cual se le agrega un desengrasante (cuarzo, silicio) que atienda su plasticidad y un fundente (feldespato, fosfato de cal, etc.) que facilita la fusión y mezcla de los ingredientes. Existen numerosas calidades.

Refractario: Mineral que resiste bien la acción de agentes químicos o físicos, especialmente las temperaturas elevadas. Los materiales refractarios se usan para el revestimiento y la construcción de todo tipo de hornos y crisoles.

Roca: Material solidificado de la corteza terrestre, formado por la asociación de minerales cristalinos o amorfos que presentan caracteres homogéneos. Según su modo de formación pueden clasificarse en tres grupos: ígneas, metamórficas y sedimentarias.

Rocas clásticas: Rocas formadas de fragmentos de rocas preexistentes, los cuales se han producido por procesos de meteorización y erupción y, en general, son transportadas al lugar donde han sido depositadas.

Rocas ígneas: (Del latín *ignis*, fuego). Las rocas ígneas se originan por la cristalización de un flujo rocoso incandescente (magma), compuesto de óxidos y elementos volátiles que se encuentran en zonas profundas de la corteza terrestre y pueden ascender a la superficie o quedar aprisionadas por movimientos de la corteza. En caso de llegar a la superficie, se forman las rocas ígneas efusivas. Si se solidifican dentro de la corteza, se forman las intrusivas.

Rocas metamórficas: (Del griego *meta* y *morphe*, cambio de forma). Las rocas metamórficas son el resultado de un proceso de transformación producido por presión, calor y fluidos químicamente activos sobre rocas bajo la superficie de la Tierra, causándoles ajustes estructurales y mineralógicos de la roca original.

Rocas sedimentarias: (Del latín *sedimentum*, asentamiento). Son sedimentos que se consolidan en rocas duras, firmes y estratificadas. Los sedimentos pueden estar integrados por fragmentos de rocas de diferentes tamaños, minerales resistentes y organismos (rocas sedimentarias clásticas) y de productos químicos o de evaporación o una mezcla de ellos (rocas sedimentarias no clásticas).

Sal gema: Químicamente, cloruro de sodio. Ocurre en depósitos sedimentarios de tipo químico, derivados de la evaporación del agua, en general en salinas, mares cerrados y bajo clima cálido.

Serpentina: Mineral petrogénico. Se origina fundamentalmente por hidratación de olivino, piroxeno y antisol. Existen dos clases: la fibrosa (crisotilo) y la hojosa (antigorita).

Rocas Industriales de Venezuela

Sill: Cuerpo intrusivo en forma de manto entre dos estratos, sin perturbar el plano de estratificación.

Sin: Preposición, del griego *syn*, que significa unión, inseparable.

Sinclinal: Parte cóncava de un pliegue.

Singenético: Formaciones originadas al mismo tiempo que aquellas que la rodean. Un yacimiento sigenético es el formado originalmente a partir del magma o la roca eruptiva.

Suelo: Formación natural en la superficie, de estructura blanda y espesor variable, resultante de la transformación de las rocas subyacentes bajo la acción de diversos procesos físicos, químicos o biológicos meteorológicos.

Supergénicos: Minerales no pertenecientes a los depósitos originales (minerales primarios o hipogénicos), sino formados posteriormente.

Tallar: Cortar una roca para esculpirla o darle forma.

Tamiz: Cedazo de mallas tupidas. La fineza de los granos de un material pasado por un tamiz se expresa por el número de mallas o hilos que la tela del tamiz contiene por centímetro cuadrado o por pulgada cuadrada.

Tamizar: Operación de pasar el material fino por el tamiz y criarlo para separar los granos finos de los más gruesos.

Tectónica: Parte de la geología que se ocupa de la estructura de la corteza terrestre, en especial de las líneas de perturbación, los plegamientos y los movimientos que son causa del relieve superficial.

Testigo: Muestra de los terrenos del subsuelo extraída durante las perforaciones y que sirve para hacer la reconstrucción geológica de la zona perforada.

Textura: Disposición de los cristales en el interior de una roca cristalina.

Tolva: Depósito grande a modo de embudo con forma de pirámide invertida en el cual se acumula o almacena material encima de los aparatos machacadores, clasificadores, separadores, ensacadores, clasificadores, etc. para cargar directamente a los transportes.

Veta: Estrato rocoso que contiene materias económicamente valiosas.

Volcán: Montaña formada por materiales procedentes del interior de la corteza terrestre y expulsados por una o varias aberturas del suelo (chimeneas).

Volcanismo: Conjunto de fenómenos propios de la actividad volcánica.

Yeso: Sulfato de calcio hidratado que acompaña los yacimientos de sal aglomerados para obras de fábricas que resulta de la cocción de dicho material.