

política y ha sido causa de luchas y guerras. En la búsqueda de sustancias minerales se ha ido acumulando gradualmente un caudal de conocimientos sobre su distribución, carácter y lugar donde se encuentran, así como sobre sus usos, este caudal de conocimientos ha llevado a la formación de teorías sobre su origen. A medida que fue prestándose mayor atención a las rocas que contenían los depósitos minerales y al desciframiento de su carácter, estructura y origen y a las formas de tierras existentes encima de dichas rocas, mayor importancia fue adquiriendo la ciencia de la geología. El porvenir de la industria, que es básica para la economía nacional, depende en gran parte de la geología para asegurar la obtención continua de materias.

Los materiales del reino No-Metálico son los más conocidos y la mayoría están repartidos con bastante abundancia en toda la corteza terrestre, el valor depende de las posibilidades de utilizarlos cerca de donde se encuentran más que del material en sí. Su valor económico está determinado en gran parte por el costo del transporte, sus características, el empleo a que se dedica la materia de que se trate y que se utilizan esencialmente en la forma en que se extraen, pocos son los que se descomponen en sus constituyentes, estos desafían una clasificación simple, una sola sustancia podría ocupar más de un proceso industrial, la principal característica y ciertamente la que con frecuencia determina su valor, es el fin con que se usa. Los mármoles representan también la materia prima más frecuente para su empleo en estructuras (mármoles estatuarios), en la fabricación de cal y en la industria química.

Descripción del mármol

Roca metamórfica producida por un proceso de metamorfismo regional o de contacto a partir de rocas calizas. Los mármoles están formados fundamentalmente por calcita que se cristaliza como consecuencia del metamorfismo. Los mármoles no contienen fósiles ni poros y tienen aspecto sacaroide. Presentan textura granoblástica, poseen además una cierta esquistosidad. Como consecuencia de la presión dirigida a parte de la calcita, que es el componente principal, pueden aparecer pequeñas cantidades de otros minerales originados a partir de las impurezas que contenían; así aparece: mica, cuarzo, clorita, albita, titanita, epidota, granate, diópsido, grosularia, idocrasa,

que son los responsables de las diferentes tonalidades que pueden presentar los mármoles. Hay muchas variedades de mármoles, según la coloración que tenga, el que se localiza en la agencia municipal de San Francisco Cozotaltepec, es un mineral blanco con pequeñas vetas irregulares de color gris y azulado, además contiene dolomita, pero mucho menos de lo que se podría esperar debido a que es inestable a altas temperaturas y se transforma en calcita cuyo porcentaje es superior al de las rocas de que procede.

Metamorfismo

Los procesos metamórficos alteran profundamente los depósitos minerales preexistentes y forman otros nuevos. Los principales agentes que intervienen son: el calor, la presión y el agua. Las sustancias sobre las que actúan son yacimientos minerales formados anteriormente o bien rocas. A partir de estas últimas se forman depósitos valiosos de minerales No-Metálicos, principalmente por recristalización y recombinación de los minerales que integran las rocas. Los mármoles son rocas carbonatadas, que derivan de calizas más o menos puras recristalizadas, ya sea por el metamorfismo de carga, el regional o el de contacto, no siempre es fácil distinguir entre los distintos tipos de metamorfismo, en la cual predomina la calcita, la dolomita o ambas; con impurezas de cuarzo, óxidos de hierro y manganeso. El emplazamiento de una roca intrusiva en rocas sedimentarias calcáreas (caliza y dolomita) produce en ellas un proceso de alteración debido al metamorfismo térmico al que son sometidas, transformando sus características físicas y originando al mármol. Dependiendo del grado de metamorfismo, se tiene mármol de diversas calidades, en color, textura, finura del grano, homogeneidad y matizado. Como la caliza, un mármol se caracteriza por su suavidad y la efervescencia con los ácidos cuando es puro, el mármol es de color blanco, pero puede mostrar una gran variedad de colores, debido a las impurezas que contiene.

Estructura y génesis

Los yacimientos de mármol adoptan la forma de cuerpos horizontales cabalgando a los gneises, con inclinaciones que alcanzan hasta los 25° que se presentan en bancos de espesores variables, la mayoría se encuentran cubiertos por capas de sedimentos limo-

arcillosos de hasta 60 centímetros de espesor y en algunas partes se observan ínter estratificaciones.

La génesis del yacimiento de mármol está estrechamente ligada con depósitos de calizas y travertino, de los cuales la variedad es debida solamente a modificaciones de estructura, mayor pureza relativa de composición y fenómenos de coloración originados por la presencia de óxidos y carbonatos (generalmente hierro y manganeso), el agua cargada de ácido carbónico tiene la propiedad de disolver, a la temperatura ordinaria, el carbonato de calcio haciéndolo pasar al estado de bicarbonato, disuelve también más lentamente a los silicatos de calcio, potasa y sosa y a los óxidos de hierro y manganeso que se presentan con frecuencia en las calizas en proporciones variables. Ahora bien el agua meteórica contiene en disolución como es bien sabido cierta cantidad de ácido carbónico de la atmósfera, cantidad que con el paso del agua por el suelo aumenta en proporción notable, sobre todo en presencia de materia orgánica: El agua meteórica cargada así de ácido carbónico ha circulado y circula a través de las calizas de la región, ejerciendo sobre ellas una acción disolvente bastante enérgica y concentrada, lenta pero constantemente el cloruro de sodio que contiene estas calizas de origen marino, en pequeña proporción; el agua después de un curso subterráneo más o menos largo aparece en diversos puntos del terreno formando los manantiales de agua salada a que se ha hecho referencia, entonces se desprende por disminución de presión gran parte del ácido carbónico en exceso y tiene lugar por consiguiente una precipitación de carbonato de calcio, que según las condiciones de depósito pueden ser de mayor o menor en pureza relativa de composición formando así los yacimientos de travertino, siendo el cloruro de sodio mucho más soluble en el agua que el carbonato de calcio, que continúa disuelto y más tarde es abandonado al evaporarse el agua en los charcos que se forman en las oquedades del terreno.

Localización y acceso del afloramiento de mármol

El municipio de Santa María Tonameca se localiza al S05°E y 136 kilómetros en línea recta del centro de la ciudad de Oaxaca capital del estado; las coordenadas geográficas son: 15°44'46.3" de Latitud Norte y 96°32'43.2" de Longitud Oeste del Meridiano de

Greenwich y tiene elevaciones sobre el nivel del mar de alrededor de 86m, cabe mencionar que el yacimiento de mármol se localiza en la agencia de San Francisco Cozoaltepec.

El acceso es a partir de la carretera federal No. 175 Oaxaca-Pochutla-Puerto Ángel, por donde se llega al municipio de Santa María Tonameca con una distancia aproximada de 256 kilómetros, y continuando por la carretera federal No. 200 Huatulco-Puerto Escondido hasta el kilómetro 170 (Santa Elena), de donde parte una terracería en regulares condiciones hacia el noreste que comunica a la agencia municipal San Francisco Cozoaltepec, con una distancia de 15 kilómetros y de este último al N40°W y 6 kilómetros en línea recta se ubica la zona marmolizada, en el cerro conocido como Cerro Grande de la entidad, dentro de la jurisdicción de Santa María Tonameca, como se ilustra en el plano número uno.

Historia minera

El yacimiento de mármol en esta agencia municipal fue visitado en 1994 por personal del Instituto Estatal de Minería del estado de Oaxaca, sin que exista en el municipio informe alguno, el Sr. Virgilio Ramírez R., representante de los bienes comunales de San Francisco Cozoaltepec en el año de 1995 obtiene una muestra de corte y pulido de dicho mármol, observándose de buena calidad, por lo que solicita apoyo técnico al municipio Santa María Tonameca y en 1999, este municipio solicita una asesoría minera a la Universidad del Mar ubicado en Puerto Ángel, Oaxaca, y el 28 de noviembre de 1999 el que suscribe fue comisionado para realizar trabajos de exploración minera a los yacimientos de mármol, localizados en dicha agencia. Por comentarios de los habitantes de la región en el área donde se ubica el yacimiento de mármol no existe denuncia alguno.

Fisiográfica, clima, vegetación e hidrografía

Fisiográficamente el área de estudio se localiza en la Sub-provincia Costera del Sur perteneciente a la Provincia de la Sierra madre del Sur, (Raisz 1964), en los límites, al norte, con la Sub-provincia Cordillera Costera del Sur y al sur con el Océano Pacífico

Las formas del relieve son contrastantes y presentan una orientación general NW-SE. Destaca en la por-

ción oriental el complejo de la Sierra Madre del Sur, con alturas máximas de 2250 metros sobre el nivel del mar, en la porción central predomina el lomerío con elevaciones de hasta 500m aislados y la franja costera se caracteriza por las constantes llanuras de inundación relacionadas con el desarrollo de lagunas, puntas, barras, bahías y franjas litorales.

El clima, de acuerdo con la clasificación de Köppen, en la región en la cual se ubica el área de estudio, presenta un clima cálido sub-húmedo con lluvias en verano, con una precipitación media de 900mm y una temperatura media anual de 26°C. La determinación del uso del suelo, proporcionada por el INEGI y verificada en campo indican que en la región el suelo es ocupado por la agricultura de humedad de cultivos anuales, la agricultura de temporal de cultivos anuales y selva media caducifolia con vegetación arbórea.

Hidrológicamente el área en donde se localiza el yacimiento de mármol se encuentra dentro de la Región Hidrológica No. 21 Costa de Oaxaca Puerto Ángel, en la zona de la cuenca B del Río Copalita y de la sub-cuenca "c" del Río Tonameca.

El área pertenece a la vertiente del Océano Pacífico, que es drenada por los Ríos: Grande, Guajimicul, Tonameca y San Francisco; con patrones dendríticos, sub-dendríticos y sub-paralelos, con corrientes perennes e intermitentes. El yacimiento de mármol es drenado al poniente por el Río Valdeflores que nace en las faldas del cerro Cortéz a una altura de 1100 metros sobre el nivel del mar, cuyo flujo es de norte a suroeste y desemboca en el Océano Pacífico y al oriente el Río Cañada que nace en las faldas del cerro El Gavilán a una altura de 800 metros sobre el nivel del mar, el flujo es de norte a sur, uniéndose con el cauce del Río Trapiche en las inmediaciones del poblado de San Francisco Cozoaltepec para formar el Río Cozoaltepec y el flujo es hacia el suroeste, desembocando finalmente en el Océano Pacífico.

Geomorfología

Las formas del relieve del área de estudio están expresadas en una asociación compleja de unidades formadas por rocas de diversos orígenes y períodos. La morfología dominante la constituyen las montañas complejas de la Sierra Madre del Sur, constitui-

das por rocas metamórficas y sedimentarias marinas, todas ellas afectadas por batolitos y en conjunto disectadas por cañones fluviales que hacen evidente el desarrollo juvenil geomorfológico. Todo este conjunto de relieve denudatorio tiene reflejo en las formas acumulativas que se han desarrollado en esta zona y la actividad depositacional del sistema fluvial en esta área está expresada por llanuras de inundación con sistemas de barras y bahías que han sido moderadas por la acción marina.

Estratigrafía y geología estructural

En la región afloran unidades con un rango de edades que comprende desde el Precámbrico hasta el Pleistoceno. Las secuencias metamórficas son las que ocupan las mayores extensiones, la unidad más antigua corresponde a un gneis del Precámbrico, que pertenece al llamado Complejo Oaxaqueño, el cual en el área de interés no muestra una relación observable con las rocas metamórficas del Paleozoico, sin embargo, este Paleozoico está representado por gneis, metagranito y cuarcita. Las rocas de edad Mesozoica, se desarrolla durante el Jurásico en una secuencia metamórfica constituida por gneis, esquisto, migmatita e intrusivos ácidos y cuerpos aislados de caliza que se presentan generalmente en forma de cabalgaduras sobre las rocas metamórficas e intrusivas.

Las rocas del Pleistoceno se caracterizan por el depósito de sedimentos no consolidados, producto de la denudación de las rocas preexistentes en el área y están constituidos por limos, arenas, gravas y cantos rodados.

En el área de estudio el elemento tectónico sobresaliente corresponde al complejo Xolapa. Las estructuras más importantes medidas dentro del área de interés son un sistema de fallas y estructuras que tienen un rumbo general este-oeste y norte-sur respectivamente, con longitudes que varían desde algunos centímetros hasta varios metros de longitud. La estructura gnéisica y esquistosa es un rasgo común que se observa y que constituyen dicho conjunto, en donde presentan foliación orientada predominantemente hacia el N-NW y N-NE, e inclinaciones que oscilan entre los 25° y los 55° al NE y NW respectivamente, se observan también zonas de milonitas y cataclasitas el cual afecta a los ortogneis, migmatitas, rocas intrusivas y cabalgaduras calcáreas marmolizadas.

Marco geológico local

En el área de interés afloran rocas metamórficas constituidas por gneis, esquistos, granulitas, rocas sedimentarias formadas por calizas, mármol y travertino, rocas intrusivas graníticas y aluvión los cuales están formados por arenas, limos, cantos rodados y gravas.

Los gneises son rocas de edad Precámbricas, identificadas en el plano No. 2 con las siglas P^E (Gn), que se designan a una asociación de gneis, esquistos, granulitas, granodioritas gnéisica y metagranito. El gneis, tiene un color gris claro de la facies esquistos verdes, con presencia de minerales de cuarzo, plagioclasas, turmalina y pirita. Los esquistos son miloníticos intercalado con gneis de color grisáceo, con minerales de biotita y lentes de cuarzo. Las granulitas son de grano medio a fino en donde se observa cuarzo, clorita y pirita. Las granodioritas gnéisicas, son de color grisáceo con bandas negras de hornblenda y el metagranito se observa intrusionando a todo el paquete de rocas de esta unidad.

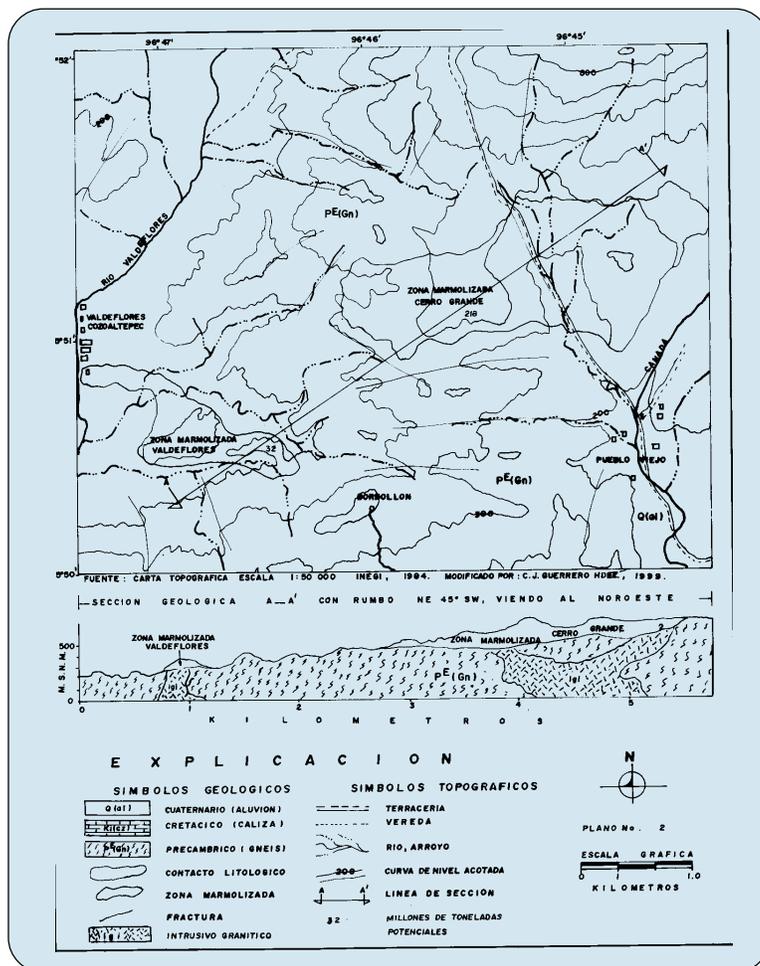
Lasa rocas calizas de edad Cretácico Inferior, identificadas en el plano No. 2 con las siglas Ki(cz), se observan en una secuencia de caliza cristalina y marmolizadas, en forma masiva, de color gris claro con tonos negros, en estratos de hasta 1.5 m de espesor. Esta unidad de caliza aparece en afloramientos aislados que constituyen cabalgaduras sobre los cuerpos batolitos y sobreyace discordantemente a la unidad de gneis, el mármol presenta colores de blanco a gris verdoso. Morfológicamente corresponde a cerros escarpados y lomeríos que afloran en la porción noroeste del poblado de San Francisco Cozoaltepec.

Los afloramientos de aluviones son sedimentos de edad Pleistoceno, identificados con las siglas Q(al) que representan a los depósitos detríticos de fragmentos de cuarzo, feldespatos no consolidados y constituidos por gravas, arenas y limos, el color es variado de claros a rojizos y amarillentos.

Localmente en esta zona marmolizada, afloran como rocas basales, una secuencia metamórfica compuesta por gneises y anfibolitas, correlacionables con el complejo Xolapa, de edad Cretácica los cuales afloran en toda el área de interés. En la porción noreste del área, este paquete de rocas metamórficas se encuentra en contacto con una serie de rocas calizas masivas del Cretácico Inferior, perteneciente al Grupo Sierra Madre. Grandes cuerpos intrusivos de edad Terciaria afectan tanto a la secuencia metamórfica como a las calizas; en este caso, ha tenido lugar la formación de mármol como se puede apreciar en el plano No. 2, cubriendo discordantemente a la secuencia descrita y yacen depósitos aluviales del Pleistoceno.

Depósitos minerales, tipo y dimensiones

Dentro del área conocido como Cerro Grande existen dos mantos de mármoles uno localizado en las inmediaciones del poblado de Valdeflores Cozoaltepec y otro en el Cerro Grande, que presentan un color blanco y



Plano 2

con tonalidades en forma de bandas o listas entre grisáceo y verdosa, con olor fétido ya que contienen un porcentaje de azufre reducido de tal forma que al golpearlas desprenden un olor fetido, de una estructura masiva con el tamaño de los granos variables entre fino y grande, tipo sacaroides, se les observa la presencia de óxidos de hierro, cuarzo, calcita y pequeñas cantidades de otros minerales originados a partir de las impurezas que contenían y que son las responsables de las diferentes tonalidades que adquiere este yacimiento de mármol.

El mármol que se ubica en la localidad antes mencionada, tiende a semejar el tipo de Carrara que es un mármol blanco con pequeñas vetas irregulares de color grisáceo. El manto de mármol localizado en las inmediaciones del poblado de Valdeflores Cozoaltepec tiene una longitud de unos 2 kilómetros, un espesor promedio de 100m. y una potencia promedio de 60 metros, el mármol localizado en el Cerro Grande tiene una longitud de unos 3 kilómetros, un ancho de 300 metros y una potencia promedio de 90 metros.

Potencia y perspectivas

Se ha estimado reservas potenciales del orden de los 32 millones de toneladas en el lote localizado en las inmediaciones del poblado Valdeflores Cozoaltepec y de 218 millones de toneladas para el lote localizado en el Cerro Grande, cabe mencionar que los mantos de mármol se les observa continuidad longitudinal, sin embargo habrá que desarrollar programas de exploración más detallados mediante baremaciones, a fin de definir el potencial y las perspectivas reales de la zona así como de un estudio de mercado y uno de impacto ambiental de la zona de interés, en este caso la zona marmolizada.

Por otro lado cabe mencionar que este tipo de roca es muy apreciado por su valor ornamental, son utilizados para revestir fachadas, esculpir, fabricar objetos de adorno y de gran importancia en la construcción, tanto en bruto como pulimentada, comercialmente toman el nombre o bien de la localidad de procedencia o de las

características del color de zonación. Recordemos que todavía, hoy el término comercial de mármol comprende impropriamente a rocas calcáreas no metamórficas, pero compactas y susceptibles de ser trabajadas y pulidas. Los mármoles representan también la materia prima más frecuente para su empleo en estructuras, en la fabricación de cal y en la industria química 

Bibliografía

ALAN M. BATEMAN

- 1982 Yacimientos Minerales de Rendimiento Económico, sexta Edición.
1915 Some Observations on Contact. Metamorphic. Deposits, Econ. Geol. 10: p55-69.

J. B. UMPLEBY

- 1915 Occurrence of Ore on Limestone Side of Garnet Zones. Pub. 10: p25-37.

J. B. UMPLEBY

- 1917 Geology and Ore Deposits of the Mackay Region, Idaho. U. S. Geol. Surv. P97

INEGI

- 1997 Anuario Estadístico del Estado de Oaxaca. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
1988 Carta Geológica E14-3 Puerto Escondido, escala 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
1988 Carta Uso Potencial Agricultura E14-3 Puerto Escondido, escala 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
1988 Carta Hidrológica de Aguas Superficiales E14-3 Puerto Escondido, escala 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
1988 Carta Topográfica D14-B 17, escala 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.

Cirilo Joaquín Guerrero Hernández
Universidad Tecnológica de la Mixteca