

Ensayos

Proyecto Geológico. localización y estudio de yacimientos de arcilla en la mixteca oaxaqueña

Resumen

Las arcillas son sustancias estructurales del suelo que se utilizan desde hace muchos años como minerales industriales, con multitud de aplicaciones según sus propiedades. Son productos de alto valor añadido en el sector farmacéutico, como excipiente de medicamentos, en la industria petroquímica, como soporte de catalizadores y en otros sectores como aditivos para pinturas, betunes, construcción, cosmética y agricultura. Se puede enfatizar que las arcillas son materias primas para la producción artesanal siendo una riqueza natural que debemos reconocer y participar en condiciones de plantear el desarrollo de la producción artesanal como base sustentable de la identidad cultural, el desarrollo regional y local, el diseño de los productos y la competitividad de las artesanías. En ésta región se tiene las características geológicas que indican las posibilidades de depósitos de yacimientos minerales arcillosos, de hecho, ya existen yacimientos plenamente localizados y algunos explotados que comprueban lo anterior. Dichos yacimientos son materias primas para la industria y representan recursos potenciales de ingresos en posesión de comunidades, pequeños propietarios y ejidatarios. Esto nos hace plantear que la realización de las exploraciones y explotaciones de estos yacimientos, impulsarían el desarrollo regional y estatal, además significa contar con un catálogo de yacimientos arcillosos que pueda utilizarse para promocionar las inversiones en exploración y explotación, lo cual, beneficiaría a las comunidades en donde se localizan dichos yacimientos.

Abstract

Clay is a structural substance of soil, which has been used for many years as an industrial mineral with a multitude of applications according to its properties. For example, it is a highly valued product used in the pharmaceutical industry as an additive to the bases of medicinal products. In the petrochemical industry it is used as a catalyst support, and in other industries it is used as an additive to paints, polishes, cosmetics, construction materials, and agricultural products.

It can be said emphatically that clay is a primary natural resource for the production of crafts. It is a natural resource that we should recognize. Additionally, we should participate in fostering the creation of conditions favorable to the development of crafts as a sustainable base of cultural identity, local and regional economic development, product design, and competitiveness in the crafts market.

In the Mixteca region of Oaxaca there are geological formations, which indicate the possibility of clay deposits. In fact, clay deposits have already been located and exploited here. These deposits are natural resources for industry and they represent potential sources of income for communities, small property owners and common land holders.

All this suggests that the exploration and exploitation of these deposits would help regional and state development. It also suggests the creation of a catalogue of clay deposits that might be used to promote investments in exploration and development, which would benefit the communities where the deposits are found.

Abstrait

Les argiles sont des substances structurales du sol qu'on utilise depuis de nombreuses années en tant que minéraux industriels, avec une multitude d'applications selon leurs propriétés. Ce sont des produits de haute valeur ajoutée dans le secteur pharmaceutique, comme excipients de médicaments, dans l'industrie pétrochimique, comme support de catalyseurs, et dans d'autres secteurs comme additifs pour les peintures, le bitume, la construction, la cosmétique et l'agriculture. On peut même ajouter que les argiles sont des matières premières pour la production artisanale constituant une richesse naturelle que nous devons reconnaître et qui doit participer des conditions qui font de la production artisanale une base durable de l'identité culturelle, du développement régional et local, du design des produits et de la compétitivité des artisans. Cette région regroupe les caractéristiques de possibles gisements argileux. En fait, il existe des gisements totalement localisés, dont quelques-uns déjà en exploitation, qui confirment les affirmations antérieures. Lesdits gisements sont des matières premières pour l'industrie et représentent des ressources potentielles de revenu en possession des communautés, des petits propriétaires et des bénéficiaires de terrains communaux. Ceci nous amène à penser que la réalisation des explorations et des exploitations de ces gisements encouragerait le développement de la région et de l'état. De plus, le fait de disposer d'un catalogue de gisements argileux signifie que celui-ci pourrait être utilisé pour promouvoir les investissements en exploration et en exploitation, ce qui bénéficierait aux communautés dans lesquelles sont localisés lesdits gisements.

* Cirilo Joaquín
Guerrero Hernández.

* Universidad Tecnológica de la Mixteca

Introducción

El eje fundamental para un cambio es la nueva disposición de los propios artesanos siendo éstos de gran calidad humana y con habilidades artísticas, que han desarrollado un conocimiento en determinadas técnicas y una cul-

tura material, en conjunto puede enfocarse a la organización de micro-industrias asociadas para la producción así como la conservación, mejoramiento, desarrollo de insumos, rescatando a través del negocio familiar la artesanía tradicional y preservar así la riqueza cultural de cada comunidad. Creando fuentes de empleo artesanal en la región, promoviendo la continuidad de la tradición espacialmente; diversificando en nuevos productos las aplicaciones del arte artesanal para otorgar a ésta personalidad e identidad de comercialización. Promover el desarrollo y las mejoras técnicas adecuadas y ambientales sustentables para mejorar la productividad, la seguridad e higiene del trabajo, abaratando costos de producción y proteger los recursos naturales reciclables restaurando la naturaleza y la ecología del lugar, aprovechando el conocimiento técnico como un valor estratégico para la competitividad de los productos así como las características de pieza única que posee cada producto artesanal, trabajando en conjunto el diseñador y el artesano para los nuevos productos a desarrollar.

Metodología

Para este proyecto de investigación se establece como hipótesis de trabajo que en la región de la Mixteca oaxaqueña existe características geológicas que indican la posibilidad de ocurrencia, en distintas zonas, de yacimientos minerales arcillosos, susceptibles de ser explotados y los trabajos de campo y gabinete se realizaron mediante:

Obtención de la información relacionada con los minerales arcillosos, tomando en cuenta: las imágenes de satélite, las fotografías aéreas, así como la obtención de la cartografía base, la verificación de campo de los diferentes yacimientos arcillosos de interés económico, la interpretación y elaboración del informe técnico.

Tras la revisión de algunos trabajos a los que se tiene acceso, se puede decir que el interés por la utilización de materiales arcillosos es creciente, aunque el debate sobre cuál sería la mejor utilización de cada una de ellas sigue abierto. El tema adquiere una especial relevancia en el momento actual en el que los resultados económicos en las explotaciones se ven condicionados por factores legales, ambientales y ecológicos. El presente proyecto de investigación obedece a la necesidad de contar con información acerca de la existencia de yacimientos minerales arcillosos, así como de las zonas que potencialmente pueden contener

dichos yacimientos, ya que como es sabido, estos minerales representan una importante fuente de materia prima para muy diversas industrias.

Objetivos

El objetivo principal de este trabajo de investigación es impulsar el desarrollo regional y estatal sobre la base de la promoción de inversiones en la exploración y explotación de yacimientos minerales arcillosos. Específicamente, con esta información se ubican y delimitan las áreas de yacimientos arcillosos existentes en la Región Mixteca Oaxaqueña, así como contar con la información necesaria para la toma de decisiones con respecto a la realización de trabajos de exploración y explotación de dichos yacimientos.

Promover el desarrollo y las mejoras técnicas adecuadas y ambientalmente sustentables, para mejorar la productividad, la seguridad e higiene del trabajo, reducir costos de producción y proteger los recursos naturales.

Creación de fuentes de empleo para dar ocupación a las obras artesanales que fortalezca la promoción en las comunidades y sus organizaciones.

Diversificar los productos con nuevas aplicaciones para otorgarle una identidad de explotación y comercialización, así como mejorar la presentación y variedad de los productos, dándoles mayor calidad y competitividad.

Localización

La región de la Mixteca oaxaqueña se localiza en porción noroccidental del estado de Oaxaca cuyas coordenadas geográficas son 16°45' y 18°22' de latitud norte y 96°59' y 98°27' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, cuenta con una extensión de 16,333.10 kilómetros cuadrados, que representa el 17.13% de la superficie del estado. La región está dividida en 7 Distritos, 155 municipios y 1650 poblaciones, con 416,150 habitantes (INEGI, 1995). Colinda al norte con el estado de Puebla, al poniente con el estado de Guerrero, al oriente con las regiones Cañada (Distritos Teotitlán y Cuicatlán) y Valles Centrales (Distritos Etlá y Zaachila) y al sur con la región Sierra Sur, Distrito Sosola y Putla, (Figura 1).

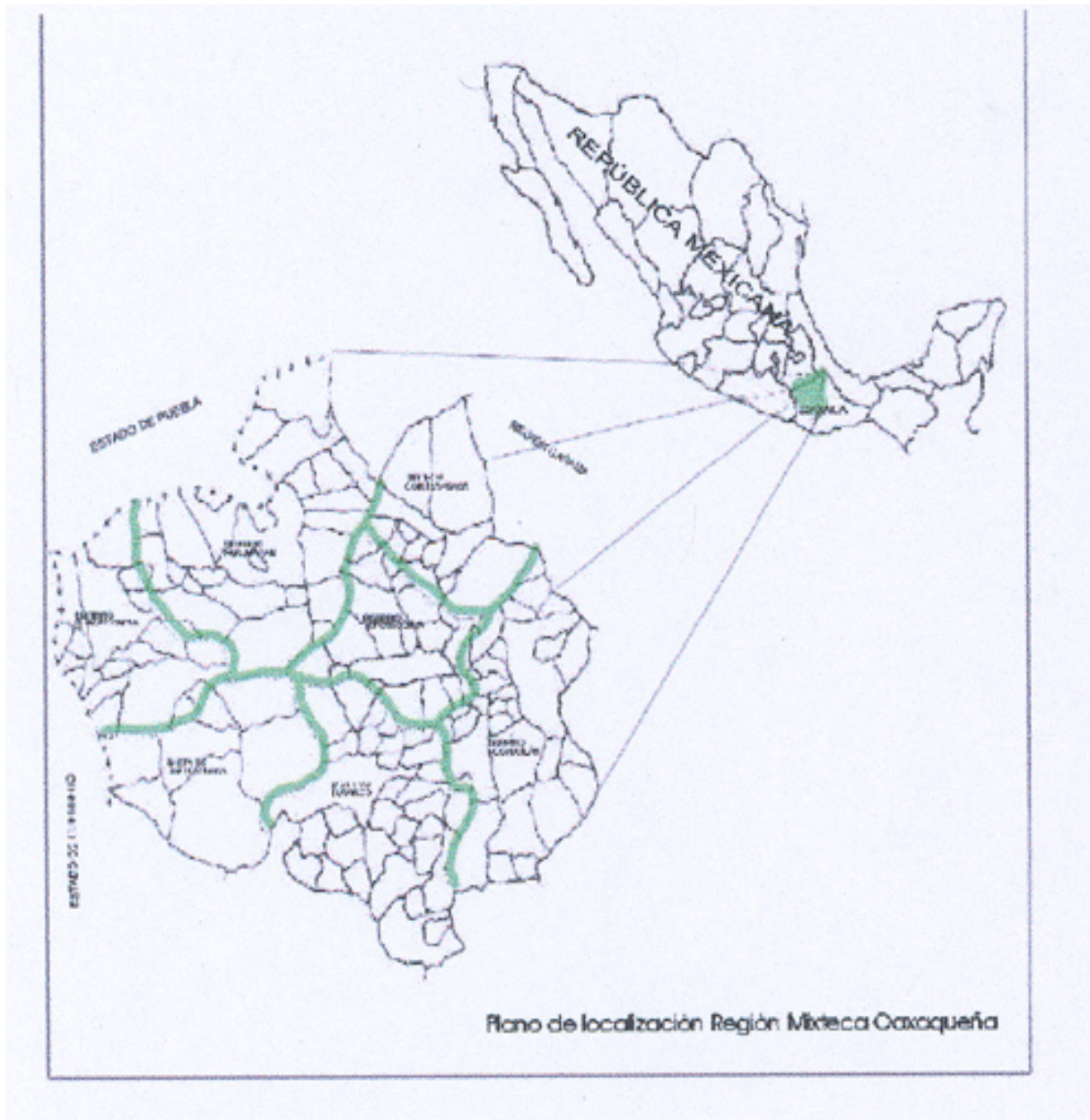


Figura No. 1 Localización de la región Mixteca oaxaqueña

Resultados Obtenidos

Marco Geológico

El marco geológico de la región Mixteca oaxaqueña está conformado por litologías muy variadas y complejas, que provienen de las rocas con edades desde el Precámbrico, Pleistoceno y Reciente (Figura 2), Ígneas y metamórficas donde se supone estuvieron emergidas durante este tiempo; la presencia de rocas Jurásicas y Cretácicas da lugar a la posible comunicación del geosinclinal mexicano con el Océano Pacífico, este patrón tectónico aparentemente controló las estructuras mesozoicas que también tienen una orientación

[yacimientos de arcilla en la mixteca...](#)

general norte-sur entre Acatlán y Tlaxiaco Uribe (1999) menciona que "Dicho patrón es claramente diferente al encontrado en los bordes del Terreno Mixteco como en las regiones del sur de Puebla y Tehuacán, en el estado de Puebla, al oriente de Tlaxiaco, en el estado de Oaxaca y al poniente de Olinalá en el estado de Guerrero (Corona, 1981, Morán, 1987, citados por Uribe, 1999). El Complejo Acatlán es el que representa la era Paleozoica se identifica con las siglas P(E) y está constituida por esquistos de biotita y clorita, filitas, pi-

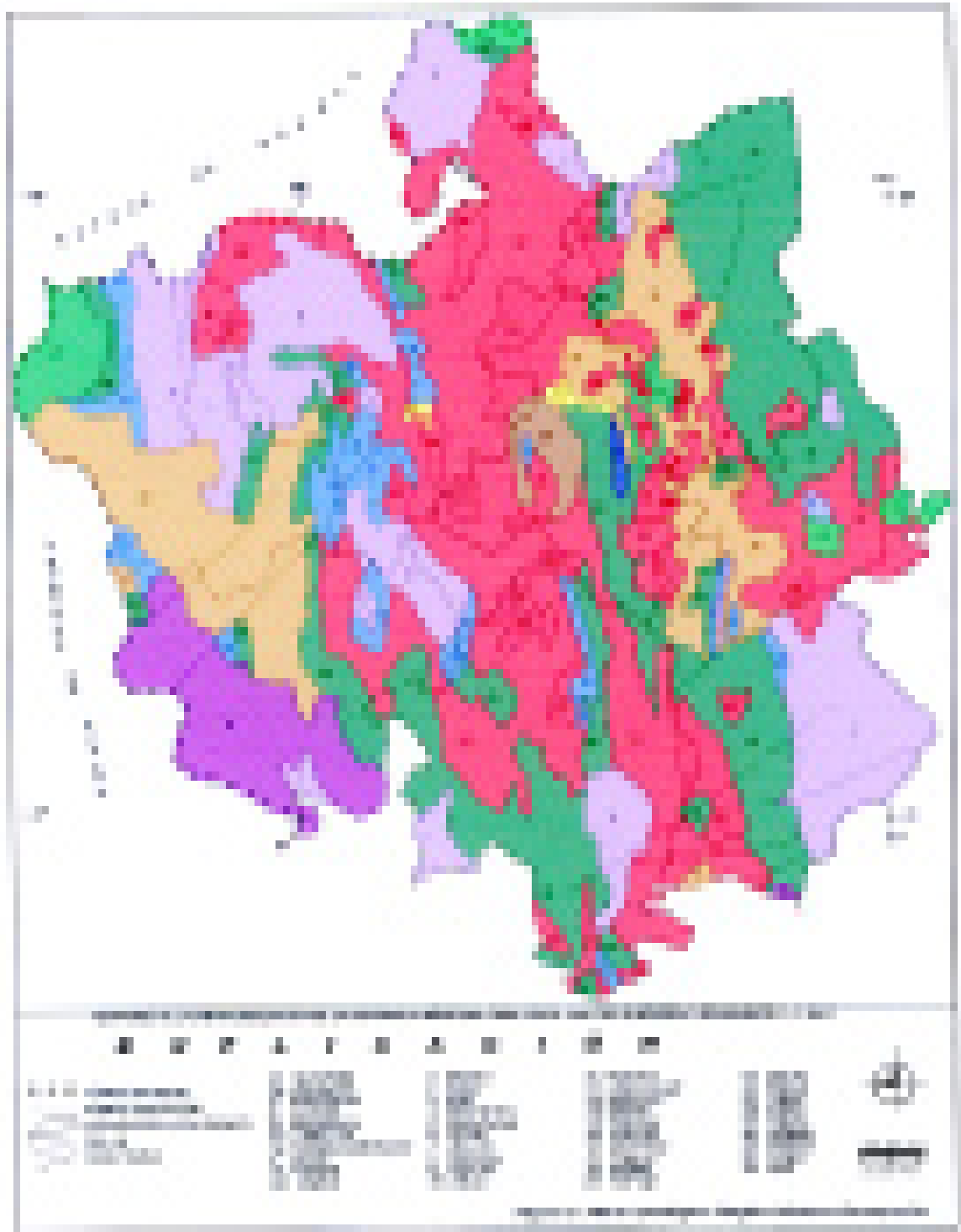


Figura 2. Plano geológico región Mixteca oaxaqueña.

zarras y además de calizas y lutitas. Los afloramientos se localizan en las inmediaciones de los poblados Villa Chalcatongo, Los Tejocotes, Santo Domingo Tonalá, San Francisco Tlapancingo, Fresnillo de Trujano, San Jerónimo Silacayoapilla, Santa María Acaquizapan, Santiago Chazumba, Co-

soltepec y Santo Domingo Tianguistengo. En el Cretácico inferior las transgresiones marinas cubrieron a las rocas jurásicas con algunos eventos volcánicos intercalados en el registro estratigráfico en mares someros. Durante el resto del Mesozoico las rocas se identificadas con las siglas Ji, Js

(lu-ar, cz, cg); Ki (cz, lu, ar, cg)., los ambientes sedimentarios de plataformas favorecieron el desarrollo de sedimentos con carbonatos (Morán, et al., 1993). Del metamorfismo, cuya deformación desarrolló cinturones plegados de orientación general norte sur que corresponden a lechos rojos, areniscas, mantos de carbón, conglomerados silicios, calizas, lutitas, conglomerados calcáreos, en una alternancia de regresiones y transgresiones. Las rocas volcánicas están representadas por andesitas, diques andesíticos y aplíticos. Durante el Cenozoico y sobre la secuencia de rocas Mesozoicas descansa concordantemente un paquete de rocas, con un rango de depósito que abarca del Paleoceno hasta el Plioceno, de tipo sedimentarios, marinos y continentales e ígneas y vulcanosedimentarias identificados con las siglas Ti (lm, ar, lu, cz, cg); Ts (A, B, cg, ar, Ti) y Tom (A, Bvi, Ti, Ta), iniciándose con un depósito de tipo fliish (alternancia de lutitas y areniscas), conglomerados, areniscas volcánicas, andesitas porfídicas, tobas riolíticas, brecha volcánica y la secuencia vulcanosedimentaria constituida por litarenita, conglomerados y basaltos. Los sedimentos detríticos gruesos cenozoicos enmascaran también los límites tectónicos y/o litológicos del registro estratigráfico, por ejemplo las rocas de la Formación Huajuapán y el Conglomerado Tamazulapán (Ferrusquía, 1976).y posteriormente en el Terciario todas las tierras fueron levantados.

Finalmente, para el cuaternario corresponden los conglomerados polimícticos, areniscas, suelos residuales derivados de las rocas preexistentes y aluviones identificados con las siglas Q (al, cg). Los suelos residuales son sedimentos arcillosos formados debido al intemperismo y desintegración de las rocas calcáreas y metamórficas; los depósitos de aluviones en cambio son del pleistoceno y reciente los derivados de las rocas preexistentes en el área y están constituidas por fragmentos líticos y minerales que en conjunto representan el último depósito de los valles aluviales.

Yacimientos de arcillas en la Mixteca oaxaqueña.

Las arcillas son sedimentos de cristales muy fino (<2m), constituidos principalmente por filosilicatos hidratados de aluminio eventualmente con impurezas de otros minerales, como por ejemplo de cuarzo o limonita. Las arcillas son plásticas cuando son mojadas reteniendo su forma cuando se secan. Se les clasifica de acuerdo con los minerales de los

filosilicatos predominantes que les confieren las propiedades muy importantes para su uso industrial. Los minerales filosilicatos de las arcillas se dividen en esmectitas o montmorillonitas, caolinitas e ilitas. Las arcillas son las rocas blandas que se hacen plásticas al contacto con el agua, siendo frágiles en seco, y con gran capacidad de absorción.

Las arcillas asociadas a las rocas antes mencionadas, son productos de alteración química y física, las cuales consisten de mezclas de partículas de diferentes propiedades tanto físicas, químicas y mineralógicas. Es decir las arcillas son materiales naturales, terrosos de grano fino compuestos por silicato hidratados, sílice, alumina y agua; conteniendo también cantidades apreciables de hierro, álcalis y tierras alcalinas. Los depósitos de arcillas pueden cubrir grandes extensiones superficiales o bien ocurrir en zonas reducidas e incluso intercaladas con otros materiales. Las arcillas se clasifican en .caolín o arcilla china, plástica o ball-clay, esquistosa o refractaria, bentonita, tierra-fuller y arcillas comunes. Sus usos dependen principalmente de la composición y propiedades químicas; así como de sus características y propiedades físicas. Han sido usadas por miles de años, no así el conocimiento de la estructura molecular y atómica, junto con herramientas para medir y obtener las propiedades químicas y físicas, que han determinado una infinidad de usos, tanto artesanales como industriales. Esto implica que la localización de yacimientos arcillosos promueve la instalación de empresas y fomenta la utilización de mano de obra. Por esta razón es de suma importancia el conocimiento de la información de los yacimientos de arcillas de la Mixteca oaxaqueña, mediante su localización, características generales, uso potencial y tonelaje. Se muestra una de varias localidades donde se observan los yacimientos de arcillas como el caolin, la montmorillonita y la bentonita en la región Mixteca oaxaqueña, localidades que en algún tiempo fueron explotadas y otras se encuentran in situ.



Figura No. 3: Afloramiento y corte de un banco de caolín y montmorillonita de 7 metros de espesor, en el municipio de San Miguel Tlapiltepec, distrito Coixtlahuaca, Oaxaca.

Caolín

Clase: Filosilicato (arcilla). Composición: $Al_4(OH)Si_4O_{10}$

Propiedades Físicas: Dureza 2, densidad 2.6gr/cm^3 , agregados terrosos y arcillosos, cuyo color depende de las impurezas presentes y varían entre el gris amarillento, beige y el castaño, blanda, muy ligera, en masa es opaca, mezclada con agua se hace plástica y moldeable, soluble en ácido sulfúrico concentrado en caliente, infusible, pierde agua entre 390 y 450° centígrados y cuando seca es muy dura y permanente.

Ambiente de Formación: Origen supergénico se forma por alteración, incluso hidrotermal de los feldspatos de otros minerales aluminíferos. La caolinita es el principal constituyente del caolín o de arcillas, como uno de los productos de la descomposición de las rocas, se halla en suelos y al ser transportado por las aguas se deposita, mezclado con cuarzo y otros minerales en forma de capas arcillosas y como bancos arcillosos sedimentarios de origen lacustre.

Localidades: son depositados en valles asociados con lomeríos de laderas tendidas los mayores depósitos se localizan en la zona de Tlapiltepec, Tepelmeme Villa de Morelos, Villa Tamazulapan del Progreso, Tejuapan de la Unión, Villa Chilapa de Díaz, San Antonio las Mesas y Mariscala de Juárez.

Aplicaciones: las arcillas son una de las sustancias naturales de mayor importancia industrial, con ella se fabrican muchos y variados artículos, como ladrillos, alfarería, tuberías, porcelana, es aplicado como material de carga en la industria de la goma y del papel, caucho y refractarios.

Especies similares: la dieckita, nacrita, anauxita, halloysita, pero son constituyentes menos importantes de los

depósitos de arcillas.

Potencial geológico en miles de toneladas estimadas en este trabajo: Tlapiltepec 624, Tepelmeme Villa de Morelos 750, Villa Tamazulapan del Progreso 250, Tejuapan de la Unión 125, Villa Chilapa de Díaz 170, San Antonio las Mesas 80 y Mariscala de Juárez 100.

Montmorillonita

Clase: Filosilicato. Composición Química: $Al_2Mg(OH)_2Si_4O_{10}Na(H_2O)_4$; $Al_2O = 39.5\%$, $SiO_2 = 46.5\%$, $H_2O = 14\%$.

Propiedades Físicas: dureza 2, densidad 2.6gr/cm^3 , jamás se presenta en cristales, en general aparece en forma de masas microcristalinas terrosas, pulverulentas y escamosas, color blanco o gris; blandísima, muy ligera, fácilmente disgregable y untuosa al tacto, opaca a causa del pequeño tamaño de las partículas. Como propiedades características de las demás arcillas son el aumento de volumen por absorción de agua o de otros líquidos y la posibilidad de intercambio iónico.

Ambiente de Formación: se forma en ambiente sedimentario de clima tropical, por alteración de los feldspatos en rocas pobres en sílice, en ambiente hidrotermal a costa de vidrios volcánicos y tobas. En el área de interés, los depósitos están semicompactos y pseudoestratificados.

Localidades: observados en lomeríos suaves asociados con valles que se encuentra en forma de grandes masas en áreas ejidales del municipio San Mateo Tlapiltepec, distrito Coixtlahuaca; en áreas ejidales El Frayle municipio Mariscala de Juárez; en el ejido de Guadalupe de Nogales municipio San Francisco Tlapancingo, distrito Silacayoapan; áreas ejidales del municipio Villa de Chilapa de Díaz y en áreas ejidales del municipio de Villa de Tamazulapan del Progreso, distrito Teposcolula, San Pedro Yodoyuxi (Figura 7), municipio Huajuapán de León.

Aplicaciones: fundamentalmente encuentra utilidad en la industria de la porcelana y como material de carga en la industria de la goma y del papel, caucho, absorbente, para purificar y decolorar líquidos, como base para cosméticos, medicina y en perforaciones de pozos petrolíferos. La montmorillonita es el mineral de la arcilla dominante en la bentonita que es una ceniza volcánica alterada que tiene la propiedad poco común de aumentar de volumen varias veces cuando es sumergida en agua.

Potencial geológico en miles de toneladas estimadas en este trabajo: San Mateo Tlapiltepec 60, Mariscala de Juárez 135, Guadalupe de Nogales 4, Villa de Chilapa de Díaz 8 Villa

Características generales de las arcillas

Son producto de alteración química y física que consisten de mezclas de partículas de diferentes propiedades tanto físicas como químicas y mineralógicas.

Son materiales naturales, terrosos de grano fino compuestos por silicatos hidratados, sílice, alúmina y agua, conteniendo cantidades apreciables de hierro, álcalis y tierras alcalinas. La disgregación o desintegración se facilita por la existencia de las diaclasas debido por enfriamiento de las rocas eruptivas. Las partículas son microscópicas.

Son las más abundantes en la superficie terrestre. Formando una capa que se distribuye a lo largo y ancho del planeta y sin ella no sería posible la vida en nuestro planeta.

Características de las alteraciones

Caolinización. La caolinización es un proceso que se produce por alteración de los silicatos de aluminio, particularmente de los feldspatos, debido a la acción de soluciones ascendentes a través de zonas de debilidad (fallas y fracturas), interconectadas con la cámara magmática. Esta alteración se observa en rocas de composición ácida, principalmente tobas y brechas volcánicas. Dicha caolinización se observó en una superficie de más 15 km² en la porción oriente de la región.

Silificación. La silificación es la segunda guía importante de la mineralización; esta alteración se debe a los procesos hidrotermales que dieron origen a la mineralización de la zona. Las rocas que manifiestan esta alteración están confinadas en zonas de intenso fracturamiento; los minerales esenciales de esta alteración son el cuarzo y los feldspatos potásicos.

Argilización. La argilización con frecuencia se encuentra superpuesta a la silificación; estas alteraciones se forman por la acción de soluciones ascendentes y presentan un color pardo claro. Consiste básicamente en la alteración de los feldspatos por soluciones hipogénicas.

Oxidación. Esta alteración es el resultado de la acción de aguas meteóricas que actúan sobre productos de argilización y silificación principalmente, la oxidación presenta un color que va de café oscuro a rojizo, siendo las impurezas que se encuentran en las arcillas.

La nobleza de las arcillas

Las arcillas o lodos heredados de los continentes y depositados, neoformados o transformados, en los lechos marinos, lacustres, fluviales o estuarinos, han provocado cambios espectaculares en el planeta Tierra. Que digan si no es así la formación del petróleo, la de las moléculas orgánicas prebióticas que dieron origen a la vida y la de los suelos agrícolas, sin mencionar el surgimiento de las civilizaciones que hicieron uso del barro cocido en la manufactura de su cerámica.

En efecto, la mayor parte de las cimas de los yacimientos de petróleo de las costas del Golfo de México (EUA-México) ocurren a la profundidad en la que usualmente se produce la transformación de las arcillas tipo esmectita (E) en las denominadas illitas (I). Ambas tienen la misma estructura laminar, excepto que las segundas no son expandibles debido a las fuertes cargas electrostáticas que mantienen a las hojas ligadas. Así, la transformación de la esmectita en illita pudo haber desempeñado papel importante en la génesis del petróleo: al ser contenidas las moléculas orgánicas en el interior del espacio interlaminar de la esmectita, aquellas estaban «protegidas» de la oxidación y sujetas a un proceso de tipo catalítico que pudo haberlas convertido en petróleo, tal y como ahora lo conocemos. Pero es un hecho experimental que la sustitución del silicio (Si) por aluminio en las hojas que componen el acordeón químico de la esmectita, origina un exceso de carga electrostática negativa en las hojas, de tal magnitud a escala molecular que provoca la deshidratación del potasio (K), el cual se encuentra comúnmente en el espacio interlaminar de las arcillas. Luego, el agua así expulsada pudo haber acarreado en su paso a los hidrocarburos formados en el interior de las arcillas, mientras que la contracción subsiguiente de las hojuelas de arcilla deshidratada podría haber provocado un colapso en el material, dejando hendiduras y poros por los que pudo migrar el fluido hacia los recipientes rocosos.

Por otro lado, la estructura laminar de las arcillas permite el almacenamiento de agua en el espacio interlaminar, formando así agregados lodosos difíciles de romper. La combinación de la arcilla con la materia orgánica del suelo y algunos óxidos minerales contribuye a la estabilidad estructural necesaria para resistir los efectos mecánicos destructivos. La porosidad interna de las hojuelas de arcilla y su carga electrostática asociada son adecuadas para la absorción de especies tales como los cationes de potasio (K^+), magnesio (Mg^{++}) y amonio (NH_4^+), los cuales son liberados bajo condiciones ácidas apropiadas, pudiendo ser absorbidos por las raíces de las plantas.

La acidez es provocada por una acumulación de iones de hidrógeno (H^+) provenientes de compuestos químicos disueltos en el agua y acarreados por las lluvias; en ellos la concentración ácida llega a ser tal que algunos de los otros cationes atrapados por las arcillas, como los iones Al^{3+} se disuelven rápidamente en las soluciones, pasando a las raíces vegetales y provocando efectos tóxicos en las plantas. Es por ello que un suelo fértil debe estar balanceado en lo que a la acidez se refiere y el tratamiento en este caso consiste en la neutralización de la acidez mediante la agregación de compuestos alcalinos, como el carbonato de calcio. Luego tenemos que la combinación de acidez e intercambio iónico en las arcillas del terreno es importante en el desarrollo de los suelos agrícolas.

Éstos, en la actualidad, se encuentran expuestos a las contaminaciones por lluvia ácida proveniente de las zonas industriales y por los abonos químicos y plaguicidas, los cuales son absorbidos por las arcillas minerales provocando los efectos combinados de acidez e intercambio mencionados. En cualquier caso, las arcillas son las protagonistas en la formación de los suelos agrícolas y sus propiedades son determinantes para el crecimiento de los vegetales. Por otra parte, la mineralogía del suelo es resultado de diversos factores, el clima y el intemperismo, así tenemos que en las regiones tropicales predominan los caolines mezclados con óxidos minerales (oxisoles) y los suelos negros formados por esmectitas expandibles (vertisoles) combinadas. Si la acidez es baja ($pH > 6$) el suelo arcilloso tiende a ser rico en calcio, en cambio si la acidez es alta ($pH < 6$) el aluminio tiende a ser más abundante, lo que trae efectos tóxicos para la vegetación. Otros cationes, como el amonio, los nitratos y los fosfatos, también son retenidos por las arcillas del suelo e intercambiados bajo condiciones de humedad y

acidez adecuadas, siendo realmente accesibles a las plantas y representando una fuente importante de nutrientes. La composición óptima del suelo debe incluir una fracción de arcilla compuesta de partículas menores a 2 micras, y una proporción mayor de sedimentos con tamaños de partícula entre 2 y 60 micras. Esta combinación parece incluir las mejores características para el cultivo y crecimiento de las raíces vegetales. Es claro, pues, que las arcillas son los componentes del suelo que provocan la mayor influencia en su productividad.

No menos importante ha sido la interacción de las arcillas con las moléculas orgánicas. Su afinidad por las bases orgánicas nucleicas, como la guanina, la citosina, ha provocado interés creciente entre la comunidad científica que trata de atribuir un papel preponderante a los compuestos minerales de tipo laminar en la formación de las moléculas prebióticas, con las arcillas y su posible relación con el origen de la vida en el planeta.

Tipos de arcillas.

Los usos de las arcillas son numerosos siendo también numerosos sus análisis que se les aplica a las arcillas. Los análisis más importantes son el difractométrico, granulométrico y térmico-diferencial. Los minerales de arcillas se determinan por difracción de rayos X o por análisis térmico diferencial. La difracción estudia la estructura de los minerales y permite determinar cuales están presentes.

Las arcillas rojas: esta clase la integra generalmente un depósito de tipo marino formado por los restos de materiales calcáreos y ferrígenos, polvo volcánico, restos de esponjas silíceas, dientes de tiburón, etc. El color rojizo proviene por lo común de sus componentes férricos. Se ha encontrado que estos depósitos son muy extensos.

Arcilla ferruginosa: contiene en su composición diferentes cantidades y tipos de óxido de hierro y puede ser de color amarillo, ocre e inclusive negra (tierras de Siena) debido al óxido de hierro hidratado, mientras que las arcillas rojas contienen, por lo general, un óxido conocido como hematita. Esta particularidad de las arcillas explica por qué en algunas regiones el barro es negro o rojizo, lo cual incide en los colores de la cerámica que se fabrica a partir de estos materiales. Recordemos en este punto al barro negro de Oaxaca, tan distinto de la cerámica ocre o rojiza de la zona

central del valle de México.

Arcilla magra y arcilla grasa: estos materiales contienen cierto grado de impurezas, lo que afecta sus propiedades plásticas, es decir, que a mayor contenido de impurezas se obtiene una pasta menos plástica (arcilla magra) al amasarla con agua.

Arcilla de batán: llamadas también tierra de batán, debido al uso que tuvieron en el «batanado» de las telas y de las fibras vegetales como el algodón. Este proceso consistía en limpiar las fibras formadas en la máquina (batán) eliminando la materia grasa mediante la adición de arcilla, por lo general del tipo esmectita, cuyo nombre proviene del griego smektikós: "que limpia."

Arcilla marga: es un material impermeable y frágil, con un contenido de caliza de entre 20 y 60%, aproximadamente.

Arcillas de esquisto o pizarra: las constituyen formaciones antiguas que se presentan en forma de estratos o de plaquetas paralelas que se han dividido por la presión del suelo.

Arcilla atapulgita: también conocida como tierra de Florida o floridrín, aunque algunas veces se la llamó tierra de Fuller. El último apelativo se empleó también para denominar a las sepiolitas. Actualmente la atapulgita es llamada paligorskita

Arcilla bentonita: nombre comercial de las arcillas tipo montmorillonita, las que, tratadas con compuestos químicos aminados (p. ej. dodecilamonio) se vuelven repelentes al agua —hidrofóbicas—, aunque mantienen gran afinidad por las especies orgánicas, en particular los aceites, las grasas y los colorantes o pigmentos naturales. El nombre bentonita proviene de Fort Benton, Wyoming, EUA donde W. C. Knight descubrió un enorme yacimiento de este tipo de arcilla en 1896.

Grupo de la caolinita. La caolinita está muy extendida, es el principal constituyente del caolín o de la arcilla; siempre un mineral de origen supergénico, que se produce por la alteración de los silicatos de aluminio particularmente feldespatos; Se halla mezclado con los feldespatos en rocas meteorizadas, en algunos lugares forman depósitos grandes donde la meteorización ha sido completa; como uno de los productos comunes de la descomposición de las rocas, se halla en suelos y al ser transportados por las aguas se de-

posita mezclado con cuarzo y otros minerales en forma de capas de arcilla, es abundante en las pizarras; Este mineral tiene pequeña absorción de iones y de agua y un grado de compactación bajo.

Grupo de la montmorillonita. Es el mineral de la arcilla dominante en la bentonita, que es una ceniza volcánica alterada y que tiene la propiedad poco común de aumentar de volumen varias veces cuando se sumerge en agua. Se presenta en hojuelas menores de 0.2 micrones de diámetro; tiene gran capacidad de absorción de iones y de agua, baja permeabilidad y gran plasticidad.

Grupo de la mica hidratada. Es un término general aplicado a los minerales micáceos de la arcilla; las cuales se diferencian por tener menos silicio sustituido por aluminio y contener más agua y tener parte del potasio sustituido por calcio y magnesio; es el principal constituyente de las pizarras arcillosas, se encuentra en hojuelas de hasta 0.1 micrones de diámetro, tiene un valor intermedio de capacidad de absorción de iones, de agua, permeabilidad y plasticidad.

Grupo varios (cloritas). Este grupo de minerales puede considerarse como derivados ricos en magnesio del grupo de la montmorillonita (Keller, 1955); Han sido recocidos como un elemento constitutivo importante en los sedimentos recientes y antiguos. Esta ocurre en hojuelas que pueden ser de dimensiones menores de 0.1 de micrones de diámetro.

Aplicaciones de arcillas

La época moderna ha incorporado a las arcillas en numerosos productos de uso cotidiano a través de las nuevas tecnologías de modo que, aunque no lo percibamos, las arcillas forman parte importante de nuestras vidas. Un ejemplo son los nuevos materiales poliméricos que incluyen en su composición las arcillas minerales con el fin de lograr superficies suaves al tacto y propiedades mecánicas mejoradas, como en los juguetes, en las partes del automóvil y en otros componentes que son, además, resistentes a la flama y al desgaste. Algunos productos de alta tecnología incorporan a las arcillas en alta proporción, como los convertidores catalíticos que se utilizan en el control de emisiones contaminantes de los vehículos de motor o bien en el papel incombustible con que se provee a los astronautas desde el accidente del Challenger o en las revistas de alta calidad.

Para la industria interesa principalmente la bentonita compuesta principalmente por esmectitas y el caolín constituido por caolinitas predominantes. Las arcillas restantes o comunes están compuestas por illitas mezcladas con otros minerales, predominantemente arcillosos. Existen todas las variedades mencionadas de arcillas. Como faltan generalmente los análisis de laboratorio se les clasifica empíricamente de acuerdo con sus propiedades o más frecuentemente por sus características externas, lo que conduce a numerosos errores, dificulta su beneficio y control de calidad. Por esto, las arcillas de la región Mixteca pueden competir con las importadas a pesar de que éstas tienen a veces precios mayores. Esta situación ofrece muchas oportunidades de negocios ya que las arcillas en parte tienen propiedades de gran interés para la industria e inclusive son exportadas.

Es decir que si desde el punto de vista geológico las arcillas son minerales naturales que se formaron hace varios millones de años y que reúnen las características peculiares de composición y formación relacionadas con el curso de la evolución de la Tierra, para el artista constituyen los materiales plásticos o los pigmentos que le permiten expresar, mediante formas y composiciones de color, un estado de alma o de conciencia que puede ser bello.

Desde un punto de vista utilitario las arcillas han sido los materiales preferidos por el hombre para la manufactura de utensilios que sirven en la cocción y el consumo de sus alimentos, de vasijas de barro para almacenar y añejar el vino, de piezas finas de porcelana, así como pisos de mosaico y embaldosados.

Existen otras aplicaciones masivas de las arcillas minerales: los lodos de perforación de los pozos petroleros, los moldes de fundición y los catalizadores empleados en la refinación del petróleo.

No faltan las aplicaciones en el campo farmacéutico y en los productos de belleza, ya que las arcillas forman parte importante de los talcos desodorantes, jabones y cremas, pastas de dientes.

En términos generales tienen aplicación en artículos domésticos e industriales, tales como: cerámica, porcelana, utensilios de cocina, jarrones ornamentales, estufas de porcelana, tejas, telas impermeables, linóleo, papel para decoración de paredes, jabones para limpieza, ladrillos de pulimenta-

ción, adulteración de alimentos, ladrillos de construcción, esmaltes, para conducción de agua, revestimiento de pozos, conductos de chimenea, albañilería, bloques de cimentación, en la industria eléctrica, cajas de enchufe, aisladores, ladrillos refractarios, equipo para fundición de vidrio y cristales, ruedas de esmeril, crisoles de caucho, balastro de ferrocarril, cemento portland, filtros de aceite, fabricación de loza.

Los productos secundarios, tales como: micas, minerales de titanio y sílice, con posibilidades de ser recuperados, han recibido poca atención por los productores de arcillas debido a problemas de mercado.

Arcillas comunes. El principal uso de estos materiales arcillosos se da en el campo de la cerámica de construcción (tejas, ladrillos, tubos, baldosas...), alfarería tradicional, lozas, azulejos y gres. Uso al que se destinan desde los comienzos de la humanidad.

Caolín. Se trata de un mineral muy importante desde el punto de vista industrial. Ha sido utilizado desde la antigüedad para numerosos usos. En el siglo XVI adquirió gran fama entre la nobleza la porcelana fabricada a base de pastas cerámicas ricas en caolín. Los principales usos a los que se destina en la actualidad son: Fabricación de papel. El principal consumidor de caolín es la industria papelera, utilizando más del 50 % de la producción. En esta industria se usa tanto como carga, como para proporcionarle al papel el acabado superficial o estucado. Para que pueda ser destinado a este uso las especificaciones de calidad requeridas son muy estrictas, tanto en pureza como en color o tamaño de grano. Cerámica y refractarios. También es importante el uso del caolín en la fabricación de materiales cerámicos (porcelana, gres, loza sanitaria o de mesa, electrocerámica) y de refractarios (aislantes térmicos y cementos). Al igual que en el caso del papel las especificaciones requeridas para el uso de caolines en cerámica y refractarios son estrictas en cuanto a pureza y tamaño de grano.

Otros usos

Además se utilizan caolines, en menores proporciones en otras industrias: como carga más económica sustituyendo a las resinas en pinturas, aislantes, caucho. También como carga de abonos, pesticidas y alimentos de animales.

La industria química consume cantidades importantes de caolín en la fabricación de sulfato, fosfato y cloruro de Al,

así como para la fabricación de zeolitas sintéticas.

A partir del caolín calcinado se obtienen catalizadores y fibras de vidrio. La industria farmacéutica utiliza caolín como elemento inerte en cosméticos y como elemento activo en absorbentes estomacales.

A pesar de que la industria ha evolucionado considerablemente en las últimas décadas y ha ido sustituyendo a las bentonitas por otros productos en la fabricación de moldes para fundición, éste sigue siendo su uso principal.

La proporción de las bentonitas en la mezcla varía entre el 5 y el 10 %, pudiendo ser ésta tanto sódica como cálcica, según el uso a que se destine el molde. La bentonita sódica se usa en fundiciones de mayor temperatura que la cálcica por ser más estable a altas temperaturas, suelen utilizarse en fundición de acero, hierro dúctil y maleable y en menor medida en la gama de los metales no féreos. Por otro lado la bentonita cálcica facilita la producción de moldes con más complicados detalles y se utiliza, principalmente, en fundición de metales no féreos.

Peletización. La bentonita se ha venido usando desde los años 50 como agente aglutinante en la producción de pelets del material previamente pulverizado durante las tareas de separación y concentración. La proporción de bentonita añadida es del 0,5%, en la mayor parte de los casos. Aunque no existen especificaciones estandarizadas para este uso, se emplean bentonitas sódicas, naturales o activadas, puesto que son las únicas que forman buenos pelets con las resistencias en verde y en seco requeridas, así como una resistencia mecánica elevada tras la calcinación.

Absorbentes. La elevada superficie específica de la bentonita, le confiere una gran capacidad de absorción, debido a esto se emplea en decoloración y clarificación de aceites, vinos, sidras, cervezas. Tienen gran importancia en los procesos industriales de purificación de aguas que contengan diferentes tipos de aceites industriales y contaminantes orgánicos.

Se utiliza además como soporte de productos químicos, como por ejemplo herbicidas, pesticidas e insecticidas, posibilitando una distribución homogénea del producto tóxico.

En los últimos años, además, están compitiendo con otras arcillas absorbentes (sepiolita y paligorskita) como materia prima para la fabricación de lechos de animales. La demanda de bentonitas para este uso varía sustancialmente de unos países a otros, así en Estados Unidos comenzaron a utilizarse a finales de los años 80, sin embargo en Europa el mercado es más complejo y su demanda mucho menor.

Material de sellado. La creciente importancia que está tomado en los últimos años, por parte de los gobiernos de toda Europa, la legislación en lo referente a medio ambiente, ha favorecido la apertura y desarrollo de todo un mercado orientado hacia el uso de bentonitas como material de sellado en depósitos de residuos tanto tóxicos y peligrosos, como radiactivos de baja y media actividad.

Durante muchos años las bentonitas se han venido utilizando en mezclas de suelos en torno a los vertederos, con el fin de disminuir la permeabilidad de los mismos. De esta forma se impide el escape de gases o lixiviados generados en el depósito. Esta mezcla se podía realizar in situ o sacando el suelo de su emplazamiento, mezclándolo con la bentonita y volviéndolo a colocar en su sitio, la ventaja de la primera alternativa es que supone un gasto menor pero, sin embargo, implica una mezcla menos homogénea. La segunda alternativa, sin embargo, es más cara pero asegura una mejor homogeneización de la mezcla bentonita-suelo. Por otro lado, esto disminuye la cantidad de bentonita necesaria (5-6 %), frente a 7-8 % para la utilizada en mezclas in situ.

Más recientemente ha surgido una nueva tendencia en el diseño de barreras de impermeabilización que se basa en la fabricación de complejos bentonitas-geosintéticos (geomembranas y geotextiles). Consiste en la colocación de una barrera de arcilla compactada entre dos capas, una de geotextil y otra de geomembrana (plásticos manufacturados, como polietileno de alta densidad o polipropileno).

La geomembrana es impermeable, mientras que el geotextil es permeable, de modo que permite a la bentonita hinchar, produciendo la barrera de sellado compactada. La normativa varía de un país a otro en cuanto a los valores que tienen que cumplir las arcillas compactadas para dicho fin.

Esta utilidad de las bentonitas como material de sellado se basa fundamentalmente en algunas de sus propiedades características, como son: su elevada su-

baja compresibilidad. Las bentonitas más utilizadas para este fin son las sódicas, por tener mayor capacidad de hinchamiento.

Ingeniería Civil. Las bentonitas se empezaron a utilizar para este fin en Europa en los años 50, y se desarrollaron más tarde en Estados Unidos. Se utilizan para cementar fisuras y grietas de rocas, absorbiendo la humedad para impedir que esta produzca derrumbamiento de túneles o excavaciones, para impermeabilizar trincheras, estabilización de charcas. Para que puedan ser utilizadas han de estar dotadas de un marcado carácter tixotrópico, viscosidad, alta capacidad de hinchamiento y buena dispersabilidad. Las bentonitas sódicas o cálcicas activadas son las que presentan las mejores propiedades para este uso. Creación de membranas impermeables en torno a barreras en el suelo, o como soporte de excavaciones. Prevención de hundimientos. En las obras, se puede evitar el desplome de paredes lubricándolas con lechadas de bentonita.

Protección de tuberías: como lubricante y rellenando grietas. En cementos: aumenta su capacidad de ser trabajado y su plasticidad. En túneles: Ayuda a la estabilización y soporte en la construcción de túneles. Actúa como lubricante (un 3-5 % de lodo de bentonita sódica mantenida a determinada presión soporta el frente del túnel). También es posible el transporte de los materiales excavados en el seno de fluidos benoníticos por arrastre.

Alimentación animal. Una aplicación de las bentonitas que está cobrando importancia en los últimos tiempos es su utilización como ligante en la fabricación de alimentos pelletizados para animales. Se emplea en la alimentación de pollos, cerdos, pavos, cabras, corderos, y ganado vacuno, fundamentalmente. Actúa como ligante y sirve de soporte de vitaminas, sales minerales, antibióticos y de otros aditivos.

En 1992 se empezó a fabricar con bentonitas un innovador producto comestible denominado «Repotentiado Bentonite (RB)». Según estudios del «Poultry Research Institute» el aporte de pequeñas cantidades de bentonitas (1 %) a la alimentación de aves de corral reporta importantes beneficios: se incrementa la producción de huevos en un 15 %, su tamaño en un 10 % y la cáscara se hace más dura.

La bentonita tiene una doble misión: actúa como promotor del crecimiento y como atrapador de toxinas. Esto se

debe a que el alimento mezclado con bentonita, debido a su gran capacidad de adsorción, permanece más tiempo en la zona intestinal, la arcilla adsorbe el exceso de agua, y hace que los nutrientes permanezcan más tiempo en el estómago, siendo mayor su rendimiento (mayor producción). Por otro lado adsorben toxinas, no pudiendo éstas, por tanto, atravesar las paredes intestinales. La mayor adsorción de agua de los nutrientes, además, hace que los excrementos sean menos húmedos, así los lechos permanecen más tiempo limpio y se reduce la probabilidad de epidemias y la proliferación de moscas y parásitos. Las aves que comen este tipo de alimentos excretan un 26 % más de toxinas y adsorben un 42 % más de proteínas.

Catálisis. El uso de aluminosilicatos en diferentes campos de la catálisis es tan antiguo como el propio concepto de catálisis. Son muchas las aplicaciones de las arcillas como catalizadores o soporte de catalizadores en diferentes procesos químicos. Así, es utilizada en reacciones de desulfuración de gasolina, isomerización de terrenos, polimerización de olefinas, cracking de petróleo. Las propiedades catalíticas de las bentonitas son resultado directo de su elevada superficie específica y tipo de centros activos

La pilarización consiste en introducir, en el espacio interlamina de una esmectita, un polication muy voluminoso que, tras calcinación, da lugar a un óxido estable que determina una porosidad fija y permanente de tamaño controlado (tamices moleculares).

Industria farmacéutica. Desde hace tiempo las arcillas se vienen usando como excipiente por la industria farmacéutica. Debido a que no son tóxicas, ni irritantes y a que no pueden ser absorbidas por el cuerpo humano se utilizan para la elaboración de preparaciones tanto de uso tópico como oral. Se utiliza como adsorbente, estabilizante, espesante, agente suspensor y como modificador de la viscosidad. Su principal uso es la preparación de suspensiones tópicas, geles y soluciones. Cuando se usa como parte de una preparación oral, su naturaleza adsorbente puede enmascarar el sabor de otros ingredientes o puede ralentizar la liberación de ciertos fármacos catiónicos (la hectorita y la saponita se utilizan como fármacos o drogas retardantes). Como en el resto de los excipientes, las cantidades que se requieren son pequeñas. Generalmente las concentraciones de bentonita como agente de soporte es del 0,5-5 % y del 1-2 % cuando se usa como adsorbente.

Las posibles aplicaciones de las bentonitas son tan numerosas que es casi imposible citarlas todas. Además de los campos de aplicación industrial indicados anteriormente, las bentonitas se utilizan:

En la industria de detergentes, como emulsionante y por su poder ablandador del agua, debido a su elevada capacidad de intercambio catiónico

Para la fabricación de pinturas, grasas, lubricantes, plásticos, cosméticos, se utilizan arcillas organofílicas, capaces de hinchar y dispersarse en disolventes orgánicos, y utilizarse, por lo tanto, como agentes gelificantes, tixotrópicos o emulsionantes.

Para desarrollar el color en leucocolorantes, en papeles autocopiativos, se utilizan bentonitas activadas con ácido.

En agricultura, para mejorar las propiedades de suelos arenosos o ácidos. Así mismo se utilizan esmectitas sódicas para recubrir ciertos tipos de semillas, de forma que su tamaño aumente, y resulte más fácil su distribución mecánica, a la vez que se mejora la germinación.

Otros usos de la interacción del barro (arcilla) con las moléculas orgánicas lo encontramos en la manufactura de la cerámica en la antigüedad. Baste mencionar el uso que los griegos daban a los pigmentos vegetales para la obtención de la cerámica negra y roja, típica del arte de Micenas. Otros ejemplos más sorprendentes los encontraremos en el curso de esta obra en la que estudiaremos la porcelana china del periodo Sung (969-1279 d.c.), la llamada porcelana de «cáscara de huevo» que, debido a su fineza y alta resistencia sorprendió al mundo occidental. Su delicadeza era tal que ya en el siglo IX se hablaba de los vasos de porcelana china translúcida, que dejaban ver los líquidos contenidos en su interior. Se decía que las piezas de porcelana de esta clase trascendían a la naturaleza humana. En cualquiera de los casos precedentes, la arcilla mineral ha sido la protagonista y, gracias a su abundancia natural y accesibilidad, el barro tradicional ha tenido un papel importante en el desarrollo de las primeras civilizaciones. Desde muy temprano, el hombre observó que los objetos de barro húmedo se contraen y endurecen al secarse por la acción del calor y que su resistencia mecánica en esas condiciones es suficiente. Aunque estas propiedades son tan familiares que hacen pensar en una serie de características simples, ha tomado muchos años desentrañar los secretos que dieron origen a las propieda-

des mencionadas. Ahora que se cuenta con instrumentos analíticos poderosos y con métodos de cálculo avanzados, la sorpresa ha sido mayúscula al comprobarse que donde se esperaba encontrar una estructura simple y rígida, se tiene un arreglo complejo y flexible. Se ha venido encontrando que el horizonte llano presenta en realidad profundos abismos y montañas en lo que se refiere a la física y la química de las arcillas minerales. Un tema de investigación que parecía pertenecer al pasado se descubre ahora como fuente inagotable de nuevos conocimientos y nuevas aplicaciones. Todas estas características sólo hablan de la nobleza de un material y nos dan la esperanza de que con el polvo se han de construir y transformar grandes cosas para beneficio del hombre.

Conclusiones

Con este trabajo de investigación del proyecto geológico: Localización y estudio de yacimientos de arcilla en la Mixteca oaxaqueña, se obtuvieron abundantes áreas potenciales con características físico-químicas que los yacimientos minerales arcillosos son susceptibles de ser explotados económicamente.

Con la ubicación de los yacimientos arcillosos en la región Mixteca oaxaqueña, se espera incrementar el interés por invertir en estudios cualitativos y cuantitativos de dichos yacimientos y con ello fortalecer los esfuerzos por mejorar el nivel de vida de la población que habita estos lugares.

La explotación de las arcillas es producida en tajo abierto por lo que los costos son reducidos en comparación con las explotaciones subterráneas.


Las perspectivas que presentan los yacimientos arcillosos en cuanto al potencial es prometedora, ya que se pueden explotar grandes volúmenes con diferente porcentaje de minerales caolinífero, bentoníticos y montmorilloníticos de acuerdo con las nuevas tecnologías, estos materiales pueden ser usados en diferentes campos de la industria.

Recomendaciones

Surge un conjunto de necesidades y posibilidades sobre los yacimientos arcillosos en cuanto a investigar, restaurar, cuantificar, optimizar, proteger, difundir y promover la producción, la aplicación de los materiales, la diversificación de las líneas del producto, la imple-

mentación de calidad, las formas de presentación, cómo mejorar los horizontes de comercialización del trabajo y del empleo, así como la calidad de vida y la sustentabilidad ambiental y ecológica.

Con los avances parciales de este trabajo de investigación, se realizarán acercamientos con las empresas públicas y privadas que realizan exploraciones y explotaciones, con la finalidad de inducir interés hacia estudios más detallados en las zonas donde afloran caolines, bentonitas y montmorillonitas, así como la posibilidad de iniciar operaciones en yacimientos arcillosos que en algún tiempo fueron explotados.

El reto del futuro es que existe un amplio campo de investigación de las arcillas, principalmente sobre las propiedades nutricionales 

Bibliografía

A. BETEJIN.

1970 Curso de Mineralogía. Editorial Mir, segunda edición. 735p.

ALAN M. BATEMAN.

1982 Yacimientos Minerales de Rendimiento Económico, Editorial Omega. 975p.

ALENCÁSTER, GLORIA.

1963 Pelecípodos del Jurásico Medio del noroeste de Oaxaca y noreste de Guerrero: UNAM. México, Paleontología Mexicana n15. p.52.

ALENCÁSTER, GLORIA Y BUITRÓN, B. E.

1965 Fauna del Jurásico Superior de la región de Petalcingo, Estado de Puebla: UNAM. México, Instituto de Geología, Paleontología Mexicana No.21 p53.

CONSEJO DE RECURSOS MINERALES.

1996 Monografía Geológica-Minera del Estado de Oaxaca. 279p.

CORMNELIUS S. HURLBUT, JR.

1980 Manual de Mineralogía de Dana. Editorial reverté, segunda edición. 653p.

CARRASCO, RAMÍREZ, R.

1981 Geología Jurásica del área de Tlaxiaco Mixteca Oaxaqueña. UNAM. Facultad de ciencias. Tesis Maestría.

E. W. M. HERINRICH.

1980 Petrografía Microscópica. Editorial Omega. Segunda

Edición. 320p.

ERBEN, H. K.

1965 Estratigrafía y paleontología del mesozoico de la cuenca sedimentaria de Oaxaca y Guerrero especialmente del jurásico inferior y medio Libreta Guía. p77.

CENTENO-GARCÍA, ELENA, ORTEGA-GUTIERREZ, FERNANDO Y CORONA ESQUIVEL, R. J.

1990 Oaxaca fauna del .Cenozoico(resumen) vol. 22 p.13.

FERRUSQUIA-VILLAFRANCA, I.

1970 Geología del área de Tamazulapan-Teposcolula-Yanhuitlán, Mixteca Alta, Estado de Oaxaca. Soc. Geol. Méx. P97-119.

FERRUSQUIA-VILLAFRANCA, I.

1976 Estudio Geológico-Paleontológico en la región Mixteca parte1.

GONZÁLEZ, TORRES, ENRIQUE.

1987 Geología y paleontología del área de Tezoatlán, Oaxaca: UNAM. Tesis prof.

GUERRERO H. C. J.

1996 Asesoría geológica-minera al lote minero de yeso "El Mezquite" en el municipio Santo Domingo Tonala, Huajuapán, Oaxaca. 22p.

GUERRERO H. C. J.

1997 Asesoría geológica-minera al lote de tobas (carteras) en el municipio Asunción Cuyotepeji, Huajuapán, Oaxaca. 20p.

GUERRERO H. C. J.

1998 Asesoría geológica-minera al lote de tobas (carteras) en el municipio San Miguel Tulancingo, Coixtlahuaca, Oaxaca. 20p.

GUERRERO H. C. J.

1999 Asesoría geológica minera al yacimiento de mármol en el municipio de Tonameca, Pochutla, Oaxaca. 22p.

GRAJALES-NISHIMURA, J.M.

1988 Geology, geochronology and tectonic implications of the Juchatengo green rock sequence, state of Oaxaca, Southern México. Tesis Maestría 145p.

INEGI

1998 Carta Topográfica escala 1:250000 Oaxaca, E14-9. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México.

INEGI

1994 Carta Geológica escala 1:250000 Oaxaca, E14-9. Instituto Nacional de Estadística e Informática.

- México.
- INEGI
1984 Carta Geológica escala 1:250000 Orizaba, E14-6. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México.
- INEGI
1989 Carta Topográfica escala 1:50000 Yolomecatl, E14-D35. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México.
- INEGI
1996 Carta Topográfica escala 1:50000 Asunción Nochixtlán, E14-D36. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México.
- INEGI
1989 Carta Topográfica escala 1:50000 Tepelmeme, E14-D15. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México.
- INEGI
1984 Carta Topográfica escala 1:50000 Santa Cruz Tachiche, E14-D13. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México.
- INEGI
1983 Carta Topográfica escala 1:50000 Xochihuehuetlán, E14-D12. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México.
- INEGI
1984 Carta Topográfica escala 1:50000 Santo Domingo, E14-D24. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México.
- INEGI
1992 Carta Topográfica escala 1:50000 Huajuapán de León, E14-D14. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México.
- INEGI
1995 Carta Topográfica escala 1:50000 Santiago Juxtlahuaca, E14-D33. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México.
- INEGI
1992 Carta Topográfica escala 1:50000 Tlaxiaco, E14-D34. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México.
- INEGI
1991 Carta Topográfica escala 1:50000 Tamazulapán, E14-D25. Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- México.
- INEGI
1991 Carta Topográfica escala 1:50000 Tezoatlán de Segura y Luna, E14-D24. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México.
- INEGI
1993 Carta Topográfica escala 1:50000 Santiago Tamazola, E14-D23. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México.
- LÓPEZ RAMOS ERNESTO.
1969 Rocas paleozoicas marinas de México. Bol. Soc. Geol. Méx. V32 p. 15-44.
- López Ramos E.
1983 geología de México. Tomo III Edición Escolar. México.
- LÓPEZ-TICHA, D.
1989 Revisión de la estratigrafía y potencial petrolero de la cuenca de Tlaxiaco; Asoc. Méx. Geol. Petrolero, Bol. 37 p.49-92.
- LUÉVANO, ORTEGA, ALVARO.
1988 Mapa geológico del área Villa Silacayoapan, San Jorge Nuchita, Estado de Oaxaca: UNAM. Tesis prof.
- MALPICA, CRUZ, RODOLFO Y DE LA TORRE LÓPEZ, GUILLERMO.
1980 Integración estratigráfica del paleozoico de México: IMP. proyecto.
- MORÁN-ZENTENO, D. J.
1987 Paleografía y paleomagnetismo precenozoico del terreno Mixteco: UNAM. Facultad de ciencias tesis maestría. 177p.
- MOTTANA ANNIBALES, CRESPI RODOLFO, LIBORIO GLUSEPPE.
1977 Guía de Minerales y Rocas. Editores Milán. Segunda Edición.
- ORTEGA, GUERRERO, BEATRIZ.
1989 Paleontología y Geología de las unidades clásticas mesozoicas del área Totoltepec-Ixcaquixtla, Estados de Puebla y Oaxaca: UNAM. Tesis de maestría 155p.
- ORTEGA-GUTIERREZ, F.
1978^a Estratigrafía del complejo Acatlán en la Mixteca Baja, Estado de Puebla y Oaxaca. UNAM. Insti, Geol, Revista V2 p112-131.

- ORTEGA-GUTIERREZ, F.
 1978b Notas sobre la Geología del área entre Santa Cruz y Ayuquilla, Estados de Puebla y Oaxaca, UNAM. Inst. Geol. Paleont.. Méx. 44 p17-26.
- PANTOJA-ALOR, JERGES.
 1970 Rocas sedimentarias paleozoicas de la región centroseptentrional de Oaxaca. Libro Guía, p67-84.
- PÉREZ, IBARGUENGOITIA, J. M, HOKUTO-CASTILLO, ALFONSO Y C SERNA, ZOLTAN DE.
 1965 Reconocimiento geológico del área de petlalcingo-Santa Cruz, municipio de Acatlán, Estado de Puebla: UNAM. Inst. De Geol. Y Paleon. Mex. 53p.
- RODRIGUEZ, TORRES, RAFAEL.
 1970 Geología metamórfica del área de Acatlán, Estado de Puebla, Méx. Libro Guía p51-54.
- RUIZ-CASTELLANOS, M.
 1970 Reconocimiento Geológico en el área de Amatitlán-Mariscala, Estado de Oaxaca. Soc. Geol. Mex. Libro Guía p55-56.
- RUIZ CASTELLANOS, MARIO.
 1979 Rubidium-strontium geochronology of the Oaxaca and Acatlán Metamorphic áreas of southern México. Tesis doctorado. 178p.
- SCHLAEPFER, C. J.
 1970 Geología Terciaria del área de Yanhuitlán-Nochixtlán, Oaxaca. Soc. Geol. Mex. Libro Guía. P85-86.
- TORRES, EVAN Y TORRES ALARCÓN.
 1987 Geología del área de Santa María Tejotepec, Oaxaca. UNAM. Tesis prof.