

Uso de Nanomateriales en Ingeniería Geotécnica

Héctor Antonio VELAZQUEZ^{a,1}

^a *Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rafaela – Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional San Francisco - Argentina*

Resumen. Se valida con Microscopia de Rayos X, la existencia de nanopartículas, manipuladas en procesos de síntesis químicas, y distintos reactivos y minerales arcillosos. Con muestras de arcillas pampeanas, obtenidas en campo. La medición y validación de las arcillas para nanopartículas, se realizó utilizando un microscopio electrónico de barrido, marca SEM-PHENOM WORLD PURE de 30000X. Conclusiones con trabajo de laboratorio, distintos tipos de arcillas y reactivos, visualizados con microscopia electrónica de barrido. Las imágenes muestran correlación y confirmación, al utilizar este tipo de arcillas para la obtención de nanopartículas, con control racional de tamaños y formas, para aplicaciones específicas.

Palabras Clave. Síntesis de nanomateriales, nanopartículas de arcilla, esmectitas, método coloidal.

1. Introducción

Actualizamos las Nanociencias y Nanotecnologías en Argentina, acompañando esta revisión con Ensayos de Laboratorios Mecánicos, Químicos y de Microscopia Electrónica de barrido a través de aparato SEM, microscopio PHENOM WORLD PURE de 30000 X.

Utilizando la nanotecnología, los científicos pueden cambiar la configuración atómica de la materia. Los nuevos materiales parecen tener aplicaciones mágicas, con promesas que van desde aprovechamiento de la energía solar hasta el reciclaje eterno de los materiales descomponiéndolos en sus elementos constituyentes atómicos y volviéndolos a componer.

El Equipo de Tareas del Proyecto del Milenio de las Naciones Unidas (2005), define la sostenibilidad, nanotecnológica como:

- Requiere poco trabajo, tierra (arcillas, filosilicatos).
- Es de alta productividad y bajo costo.
- Necesita cantidades reducidas de materiales y energía.
- Los productos obtenidos son extremadamente eficientes, como productores de energías, colectores de materiales y equipo manufacturero.

¹ Corresponding Author, hectoravelaz@hotmail.com - hectorantoniovelaz@gmail.com.

2. Zona estudiada

Límite entre las Provincias de Santa Fe y Córdoba, o “Pampa Loessica Argentina”, se extrajeron aproximadamente 100 probetas de suelos en distintas profundidades, seleccionándose 50 probetas, estadísticamente se definió una característica granulométrica en cuanto a la arcilla, sometida a Ensayos de Barrido SEM – PHENOM WORLD PURE DE 30000X.



Figura 1. Zona en estudio para determinar características de Suelos Arcillosos-Limosos de la Pampa Argentina.

2.1. Características y observaciones de la microscopia por barrido electronico

Por microscopia de barrido SEM, se obtuvieron:

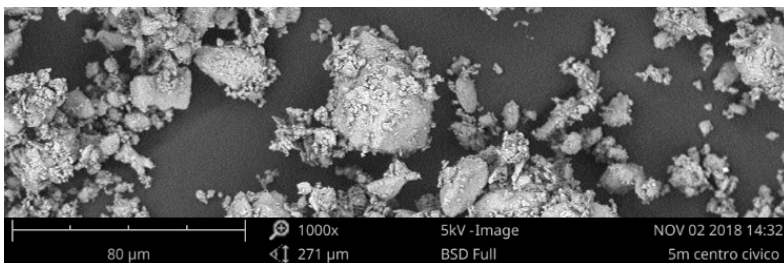


Figura 2. Microscopia de suelo arcilloso de 5 m de profundidad con 1000X – Microscopio de Barrido SEM.

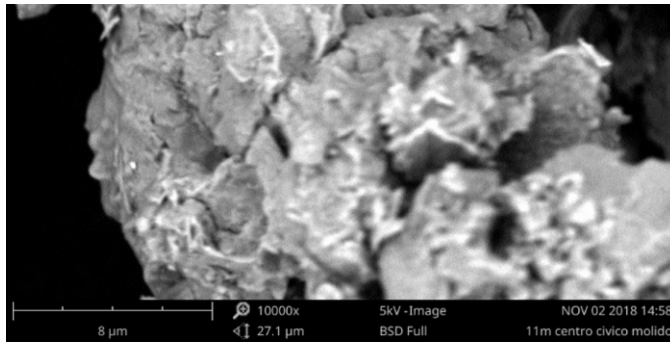


Figura 3. Microscopia de suelo arcilloso de 11 metros de profundidad con 10000X – Microscopio de barrido SEM.

Láminas bien definidas de arcillas, en profundidad de -5,00 metros aparecen elementos redondeados sin bordes en -11,00 metros la presencia de Limos junto a Arcillas Illíticas-Caolíníticas de la zona. En -5,00 metros existencia de enlaces covalentes u homopolar, por coparticipación de uno o más electrones entre dos átomos.

En -11,00 metros, enlaces iónicos o heteropolar, los átomos se mantienen unidos porque están ionizados, o sea que cada átomo ha perdido o ganado uno o más electrones y en vez de ser eléctricamente neutro adquiere carga positiva (catión). Las fuerzas que ligan a los iones son las electrostáticas de atracción entre cuerpos de cargas opuestas.

Las arcillas visualizadas poseen ambos tipos de enlaces (el covalente y el iónico), por el CO_3 (Calcita), de estos suelos. Los enlaces entre el carbono y los oxígenos del radical carbonato (ion complejo) son covalentes, mientras que las uniones del calcio con el carbonato son iónicas.

Son Arcillas Desordenadas, con:

- Hojas desordenadas
- Minerales alófanos

Mineralogía constituida por filosilicatos, Illíticos y Caoliniticos (abundantes), Vermiculita, Montmorillonita y Esmectita (abundancia media), Oxidos, Carbonatos y Sulfatos (minoritarios).

Minerales de arcilla, formados por meteorización química en el suelo, a partir de los silicatos, fundamentalmente filosilicatos más o menos imperfectos.

La biotita y la moscovita se degradan fragmentándose abriendo sus láminas estructurales perdiendo K dando individuos de menor grado de cristalinidad llamados Illitas. Si la pérdida de K es compensada con la entrada de otros cationes a la estructura cristalina como Ca y Mg se forman otros minerales como Vermiculita y Esmectita. A partir de las biotitas primarias se forman Vermiculitas edáficas por oxidación de los Fe^{++} . La Cloritas pueden ser tanto primarias como secundarias, pero estas últimas sólo se pueden formar en suelos ácidos (los bajos naturales, humedales o cañadas de la Pampa Argentina), porque sólo en esos medios se producirán suficientes aportes de Al. La Paligorsquita y la Sepiolita sólo se forman en los suelos salinos (zona de Lagunas Salinas como La Mar Chiquita, de la Provincia de Córdoba).

La Esmectita se forma en suelos débilmente alcalinos o neutros con altas concentraciones en la solución del suelo de Si y Mg (muy común en la Pampa Argentina Central). La Illita requiere medios con alta concentración de K en la solución mientras que la Caolinita se forma en suelos ácidos con baja a moderada disponibilidad de Si

(suelos lagunares en zonas de humedales o cañadas pampeanas). Se muestra una Microscopía de una arcilla de nuestra zona que ha sido calcinada a 1100°C , es decir el origen sedimentario, eólico y lagunare de la Pampa Argentina.

Formación de edificios cristalinos constituidos por capas alternantes de filosilicatos de diferente especie como los interestratificados, de secuencias irregulares; formados por capas alternantes de Illita y Esmectita, o Clorita y Vermiculita, o Clorita e Illita (filosilicatos 2:1) alternancia de Caolinita (lámina 1:1) y Esmectita (2:1). (Figura 4).

Figura 5 se visualizan fracciones gruesas (arenas), de las zonas aluvionales del Río Paraná y afluentes, donde es posible reconocer las alteraciones de los minerales primarios, caso frecuente de las micas y los feldespatos, se destaca la enorme abundancia del cuarzo como mineral heredado en los suelos y sólo como formas de sílice edáfica está la calcedonia y el ópalo (vidrio). El ópalo se forma en suelos situados en las depresiones de las regiones tropicales o subtropicales de nuestras Pampas Argentinas.

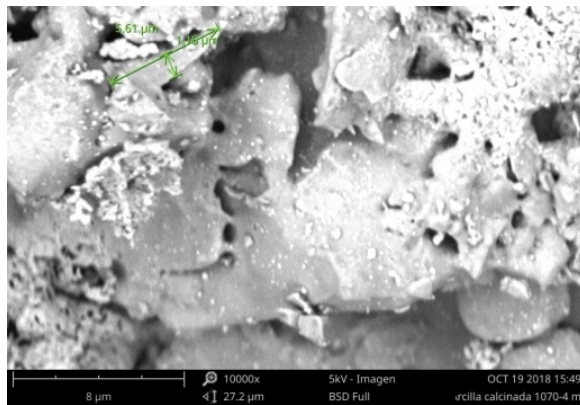


Figura 4. Visualización de una Arcilla Calcinada, donde se observa que la formación de los sedimentos Pampeanos se originó, por la meteorización de los Silicatos, a través de los transportes eólicos y formaciones lagunares, de una roca Ignea (se visualiza en imagen microscópica de 10000X, en barrido electrónico).

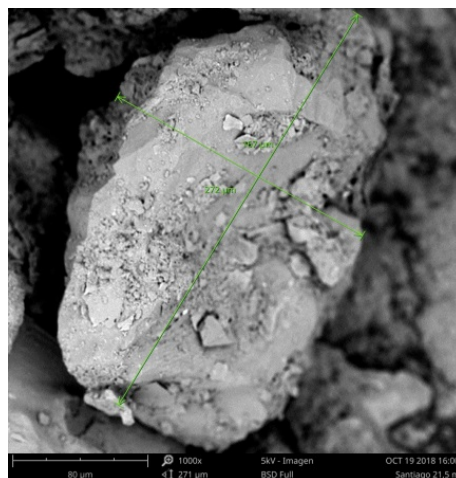


Figura 5. Visualización de un suelo grueso, aluvional, arenoso, se observa la dimensión del grano arenoso y la presencia de Cuarzo y Silicatos.

3. Estructuras de los filosilicatos en la region loessica pampeana

Productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.

Es imprescindible conocer la estructura de los filosilicatos, para comprender sus propiedades.

Presentan una estructura basada en el apilamiento de planos de iones oxígeno e hidroxilos. Los grupos tetraédricos $(\text{SiO})_4^{4-}$ se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros vecinos formando capas, de extensión infinita y fórmula $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$ que constituyen la unidad fundamental. Los tetraedros se distribuyen formando hexágonos. El Silicio tetraédrico, parte fundamental de los suelos loessicos pampeanos, puede en partes estar sustituido por Al^{3+} o Fe^{3+} (este último el más común).

Se verifica un sólido amorfo, es decir un estado sólido de la materia (arcillas), en el que las partículas que conforman el sólido carecen de una estructura ordenada.

Muestran una distribución al azar de sus moléculas, lo que se traduce en que las propiedades físicas macroscópicas del sólido son isotropas, idénticas en todas las direcciones. Estos sólidos tienen una temperatura característica a la cual sus propiedades experimentan cambios importantes, llamada temperatura de transición vítrea (T_g). La Figura 4, (arcilla calcinada), disposición irregular de las partículas, sólido amorfo, diferencia de intensidad de las fuerzas intermoleculares entre ellas, de ahí que la fusión se alcance a distintas temperaturas, según la proporción de las distintas partículas que forman la muestra. El sólido amorfo (arcillas pampeanas), no tiene un punto de fusión definido.

Las propiedades elásticas de un sólido amorfo, se manifiestan a través de sus cristales. Al aplicar una carga a un material amorfo en un intervalo racionado de tiempo, la sustancia desarrollará una deformación pseudo-permanente, es decir, fluirá como si fuera un líquido de viscosidad muy alta. El magnetismo, en los materiales amorfos es donde se presentan propiedades más notables, comportándose como materiales ferromagnéticos.

Los sólidos amorfos de las Planicies Pampeanas se formaron en condiciones naturales. En el año 1969, David Turnbull definió “probablemente todos los materiales pueden, si se enfrían con suficiente rapidez y lejanía de la temperatura crítica, ser transformados en sólidos amorfos”.

Los filosilicatos pampeanos pueden formarse por dos capas: tetraédrica más octaédrica denominándose **bilaminares, 1:1** o **T:O** (Canditas – Caolinita-dioctaédricos); o bien por tres capas: una octaédrica y dos tetraédricas, denominándose **trilaminares, 2:1** o **T:O:T** (Esmectica – Montmorilonita- dioctaédrico; Vermiculitas-trioctaédrico). A la unidad formada por la unión de una capa octaédrica mas una o dos tetraédricas se la denomina **lámina**. Si todos los huecos octaédricos están ocupados, la lámina se denomina **trioctaédrica** (Mg^{2+} dominante en la capa octaédrica), si solo están ocupadas dos tercios de las posiciones octaédricas y el tercio restante está vacante, se denomina **dioctaédrica** (el Al^{3+} es el catión octaédrico dominante).

3.1. Propiedades físico-químicas

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a $2 \mu\text{m}$)
- Su morfología laminar (filosilicatos)

- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades reológicas en suspensiones acuosas.

La carga en las láminas se compensa, con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes, a esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico.

3.2. Superficie específica

Área superficial de una arcilla, externa más interna, de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2/gramos .

- Caolinita de elevada cristalinidad hasta $15 \text{ m}^2/\text{gr}$
- Caolinita de baja cristalinidad hasta $50 \text{ m}^2/\text{gr}$
- Halloisita hasta $60 \text{ m}^2/\text{gr}$
- Illita hasta $50 \text{ m}^2/\text{gr}$
- Montmorillonita $80\text{-}300 \text{ m}^2/\text{gr}$

3.3. Capacidad de intercambio catiónico

Propiedad fundamental de las Esmeclitas, (Montmorillonita, Vermiculita). La capacidad de intercambio catiónico (CEC), suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH, equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral.

- | | |
|--------------------|---------|
| • Caolinita: | 3-5 |
| • Halloisita: | 10-40 |
| • Illita: | 10-50 |
| • Clorita: | 10-50 |
| • Vermiculita: | 100-200 |
| • Montmorillonita: | 80-200 |

4. Marco teórico

4.1. Materiales

Trabajamos con bentonitas poco hinchables, o sea arcillas constituidas fundamentalmente por montmorillonita con Ca como catión de cambio a estas bentonitas cálcicas podríamos denominarlas bentonitas no hinchables. No hemos efectuado sobre las bentonitas una activación sódica, tratándolas con carbonato cálcico, para obtener bentonitas sódicas, tema que en próximas Investigaciones se realizarán en el Laboratorio.

En general hemos utilizado arcillas, material natural de nuestras Pampas Argentinas, terroso, de tamaño de grano fino y que muestran plasticidad al ser mezclado con una

cierta proporción de agua. Su composición química está caracterizada por la presencia de Si, Al, y H_2O , junto a cantidades variables de Mg, Mn, Fe, Ca, Na y K, principalmente.

El pequeño tamaño de los cristales de arcillas durante muchos años fue una barrera infranqueable al conocimiento de estos materiales. Hoy utilizamos técnicas de análisis con microscopio de barrido electrónico SEM – PHENOM WORLD PURE de 30000X, permitiendo realizar caracterización químico-estructurales muy precisas sobre las partículas tan pequeñas como los cristales individuales de arcilla, todavía lejos de conocer el complejo entramado físico-químico que gobierna las interacciones agua-arcilla, como asimismo realizar una verificación de los nanomateriales obtenidos por el Método Coloidal (“bottom up”), con la utilización de los siguientes materiales.

- Bentonita cálcica (poco hinchable)
- Arcillas Illíticas, Caoliniticas y Montmorilloníticas de la zona
- Reactivos utilizados en la sedimentación y partículas individuales con movimientos browniano, según los casos: Soda Cáustica ($\text{pH}=2$), Ácido Clorhídrico (HCl) ($\text{pH}=4$), Cloruro Férrico ($\text{pH}=3$), o Vinagre de alcohol ($\text{pH}=3$)

Llevamos a cabo la sedimentación diferencial partiendo tanto de las arcillas como de la bentonita, del mineral en su forma bruta, lo que ha permitido lograr una correcta separación de la fase arcilloso, determinado en la caracterización del material.

- Suspensión de la bentonita o de las arcillas, en su forma bruta (malla 60 – ASTM), en agua destilada, a razón de 40 g/dm^3 .
- Adición a cada recipiente en forma individual (bentonita o arcilla) de $1,5 \text{ dm}^3$ aproximadamente de 3 gotas de disolución de soda caustica (líquido alcalino), o ácido férrico o vinagre de alcohol (líquido ácido), o solo en disolución de agua destilada.
- Agitación vigorosa de las suspensiones durante un período de 8 h.
- Reposo en los recipientes durante 24 horas, o 7 días, seguido de extracción por sifón de los 10 cm superiores de la suspensión o si la suspensión ha sido totalmente decantada de los 10 cm superiores de la decantación, que contiene la fracción de partículas con tamaños menores de $2 \mu\text{m}$ (Ley de Stokes), en el Método de Cálculo se explicita cada caso.
- Recolección de todas las fracciones extraídas y adición de $5,0 \text{ dm}^3$ de HCl $2,0 \text{ mol/dm}^3$ por cada litro de suspensión, o por la fracción extraída en la decantación, para facilitar la floculación del material fino, o suspendido, o en la parte superior de la decantación.
- Separación del sólido arcilloso mediante centrifugación a 2000 rpm.
- Secado a estufa a 100°C .

Todo el material purificado obtenido según este proceso de extracción presenta una similar composición química (% en peso) que podría sintetizarse en lo siguiente: $73,2 \text{ SiO}_2$; $10,1 \text{ Al}_2\text{O}_3$; $11,9 \text{ Fe}_2\text{O}_3$; $0,03 \text{ MnO}$; $1,1 \text{ MgO}$; $0,98 \text{ CaO}$; $0,2\text{Na}_2\text{O}$; $0,60 \text{ K}_2\text{O}$. Su Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es de $47,6 \text{ meq/100 g}$. Para las arcillas, y de $95,4 \text{ meq/100 g}$ para las Bentonitas.

4.2. Métodos de Cálculo

Los métodos de síntesis de nanopartículas suelen agruparse en dos categorías, las aproximaciones “de arriba hacia abajo” también denominadas “top down” (partiendo de

1 nm hasta llegar a $1 \mu\text{nm}$, y las “de abajo hacia arriba” denominadas “bottom-up” (partiendo de $1 \mu\text{nm}$ hasta llegar a 1 nm) [1].

En el procedimiento “de arriba hacia abajo” podemos enumerar los siguientes métodos [1, 2]).

- La evaporación térmica
- El depósito químico en fase vapor (CVD, por sus siglas en inglés)
- La preparación de clusters gaseosos
- La implantación de iones

Todos estos métodos involucran la **molienda** de partículas de tamaño macro a micrométrico, por medio de molinos de alta eficiencia; las partículas resultantes son clasificadas por medios físicos, recuperándose las de tamaño nanométrico. La molienda energética y continua de los materiales iniciales puede inferir cambios energéticos en los sólidos. La activación mecano química de sólidos cristalinos puede producir también alteraciones y cambios tanto texturales como estructurales, que pueden resultar de gran interés en el desarrollo de materiales [3]. La meconosíntesis por reacción entre metales y óxidos ha sido estudiada en algunos sistemas con el objeto de obtener materiales compuestos nanoestructurados [4, 5]. La aproximación “de arriba hacia abajo”, salvo la molienda, requieren de instrumentación compleja y complicada, lo cual los hace costosos, muchas veces se prefieren los métodos que utilizan la aproximación “de abajo hacia arriba”.

Utilizaremos el METODO COLOIDAL, que utiliza procedimientos químicos, para sintetizar nanopartículas.

4.3. Método Coloidal

Los coloides son partículas individuales, más grandes que las dimensiones atómicas, pero lo suficientemente pequeño como para exhibir movimiento browniano. En suspensión puede ser atribuido a bombardeos colectivos de una multitud de moléculas térmicamente agitadas en una suspensión líquida. Este rango de tamaño de partículas en una solución coloidal suele oscilar en el rango de nanómetros, por ello el método coloidal es un método eficiente de producción de nanopartículas [6-18]. Consiste en disolver una sal del precursor metálico o del óxido a preparar, un reductor y un estabilizante en una fase continua o dispersante (un líquido en este caso). Este último puede jugar el papel de reductor, de estabilizante o ambos. En principio el tamaño promedio, la distribución de tamaños y la forma o morfología de las nanopartículas pueden ser controladas variando la concentración de los reactantes, del reductor y del estabilizante, así como la naturaleza del medio dispersante.

Las arcillas depositadas en aguas saladas (marinas o salobres) tienden a tener una estructura floculada, mientras que aquellas que lo hacen en ambientes de agua dulce (ríos, lagos, etc.) dan texturas defloculadas. En experimentos de laboratorio es fácil comprobar que la adicción de un electrolito a una suspensión de arcilla tiene el efecto de flocular la suspensión. ¿Cuál es la justificación de este fenómeno? La explicación hay que buscarla en interacciones de tipo electrostático. Todas las arcillas poseen un exceso de carga negativa por lo que diversas partículas de arcilla en suspensión en una solución tenderán a repelerse electrostáticamente al estar cargadas de igual manera. Cuando decanten, lo harán interactuando lo menos posible con las adyacentes, dando una textura defloculada. Las fuerzas de unión entre partículas son mayoritariamente de Van der Waals. A veces, cuando se ha producido la sedimentación en ambientes muy salinos, la estabilidad de la

masa de arcilla puede incrementarse al precipitar pequeños cristales de sales que actúan a modo de cemento entre las partículas de arcilla.

4.4. Ensayos realizados

Siguiendo en Método Coloidal se realizaron los siguientes Ensayos:

4.4.1. Ensayo No. 1

Suelo utilizado: Arcillas profundidad -2,00 metros- Peso suelo a decantar: 250 g.

Líquido de decantación: Agua destilada- Cantidad de agua utilizada: 1000 cm^3 – pH del líquido 7.

Peso de suelo seco en suspensión: 15,2814 g secado en estufa a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Método utilizado

Se colocaron 250 g. De suelo arcilloso seco, pasa tamiz 200 (93%), en estado natural, de profundidad de -2,00 metros, en 1000 cm^3 de agua destilada pH=7, se batió fuertemente durante 5 minutos y se tomó una muestra, de 50 cm^3 , con pipeta de la parte en suspensión, obteniéndose un peso de suelo seco de esta muestra, secada en estufa a 110°C , de 15,2814 g, esta muestra fue visualizada en Microscopio de Barrido SEM-PHENOM WORLD PURE DE 30000X.

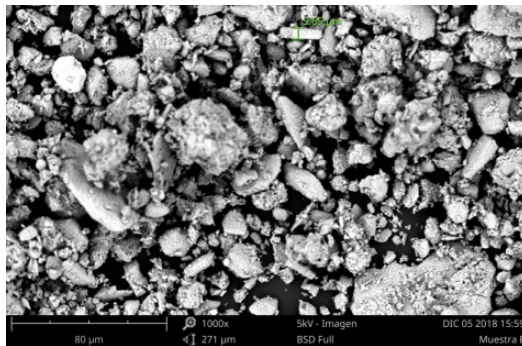


Figura 6. Microscopio de barrido SEM-PEHENOM WORLD PURE a 1000X.

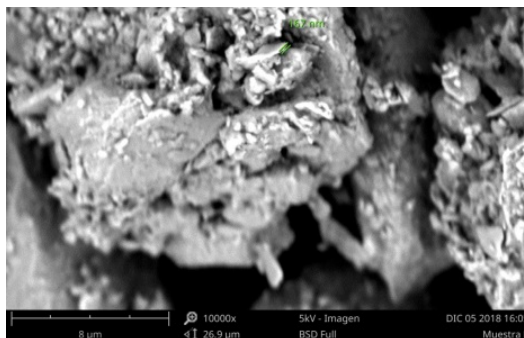


Figura 7. Microscopio de barrido SEM- PHENOM WORLD PURE a 10000X se observa espesor de la lámina de arcilla de 167 nm.

Idéntico Ensayo se realizó con un batido, suave, durante 5 minutos, y tomando una muestra de 50 cm^3 , con pipeta se obtuvo un peso de suelo seco, secado en estufa a 110°C , de 2,02 g.

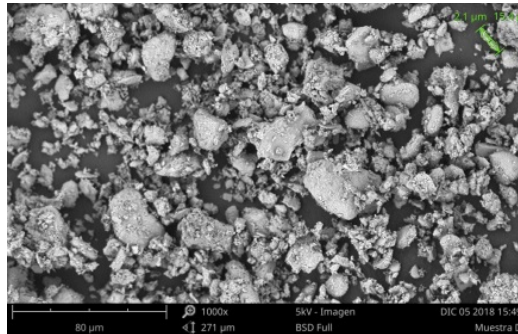


Figura 8. Microscopio de barrido SEM-PHENOM WORLD PURE a 1000X se observa lámina de arcilla de largo de $15,4 \mu\text{m}$, y ancho $2,1 \mu\text{m}$.

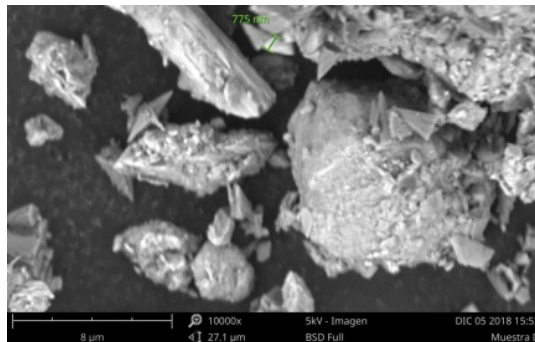


Figura 9. Microscopio de barrido SEM-PHENOM WORLD PURE a 10000 X, se observa lámina de arcilla de 775 nm.

4.4.2. Ensayo No. 2

Suelo utilizado: Bentonita cálcica poco hinchable – Peso utilizado 40 g

Líquido de decantación: Agua destilada con 5 gotas de Soda Caustica – cantidad 1000 cm^3 – pH. del líquido 8.

Peso seco de la Bentonita en suspensión previo secado en estufa a 110°C de 8,5 g.

Método utilizado

Se tomaron 40 g de Bentonita cálcica, poco hinchable, diluida en 1000 cm^3 de agua destilada, con el agregado de 5 gotas de Soda Caustica, se tomó una muestra del líquido en suspensión y se lo seco a 110°C obteniéndose un peso seco de 8,5 g. Luego el líquido y decantación restante se la flocculo con 10 gotas de Vinagre, obteniéndose un líquido con un pH= 4, se retiró por centrifugado la parte inferior decantada y se la seco a estufa de 110°C , del peso del suelo seco es de 12,00 g.

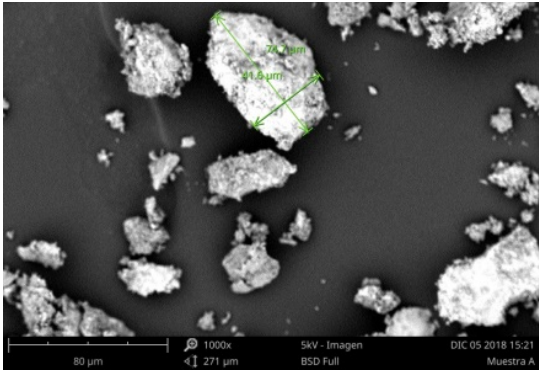


Figura 10. Microscopio de barrido SEM-PHENOM WORLD PURE a 1000 X, se observan granos de Bentonita en suspensión de dimensiones de 74,7 μm (largo) por 41,6 μm (ancho) y una importante aglutinación de granos.

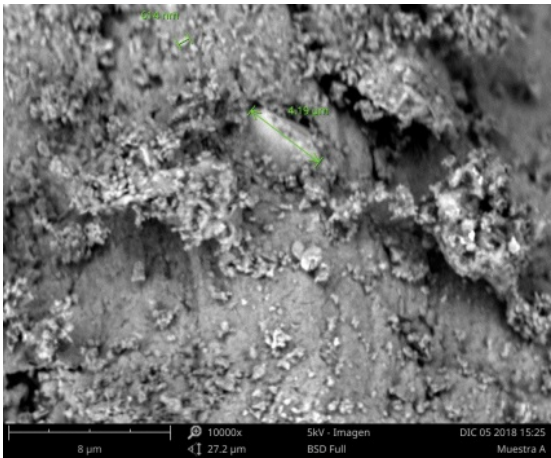


Figura 11. Microscopio de barrido SEM-PHENOM WORLD PURE a 10000 X, se observa que el grano de Bentonita posee 4,19 nm, y que los pequeños granos en gran cantidad todos poseen valores dentro de los 614 nm.

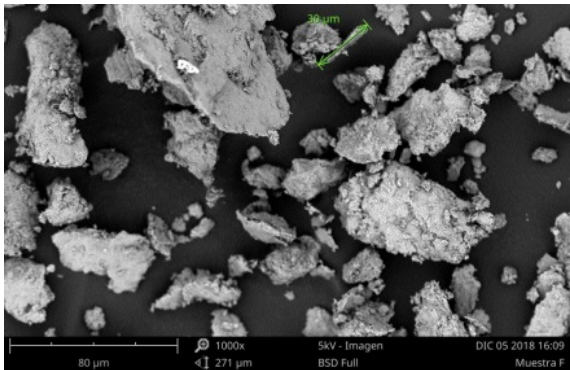


Figura 12. Microscopio de barrido SEM-PHENOM WORLD PURE, a 1000X, se observa en la Bentonita decantada una menor aglutinación de granos, mejor identificación de láminas arcillosas y una de ellas se identifica con 30 μm .

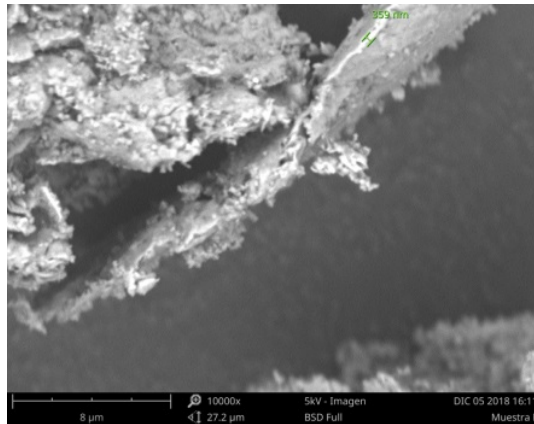


Figura 13. Microscopio de barrido SEM-PHENOM WORLD PURE a 10000X, se observa clara disposición de láminas arcillosas con espesores de 359 nm y mejor dispersión.

4.4.3. Ensayo No. 3

Suelo utilizado: Arcillas de -2.00 metros de profundidad – Peso del suelo utilizado 40 g.

Líquido de decantación: Agua destilada con 5 gotas de Ácido Cítrico – cantidad 1000 cm³ – pH del líquido 6.

Peso suelo decantado, con el agregado de 10 gotas de HCl.

Método utilizado

Se utilizó 40 g de suelo arcilloso, diluido en 1000 cm³ de agua destilada con el agregado de 5 gotas de ácido cítrico, pH= 6 de la solución acuosa, luego sobre lo decantado previo retiro de ello por centrifugado, se agregaron 10 gotas de Acido HCl., obteniéndose un peso de suelo seco, secado en estufa a 110°C de 39,5 g (No se observa líquido en suspensión).

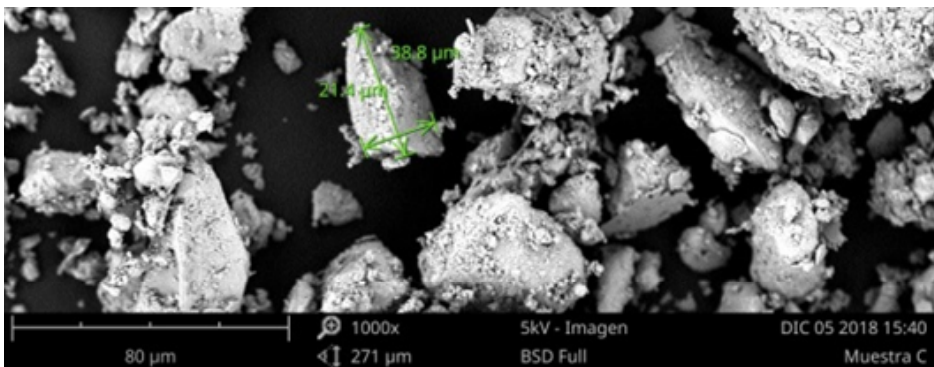


Figura 14. Microscopio de barrido SEM-PHENOM WORLD PURE a 1000X, se observa aglutinación de láminas arcillosas unidas a presencia de Limos pequeños, la lámina arcillosa posee 38,8 μm de largo por 21,4 μm de ancho.

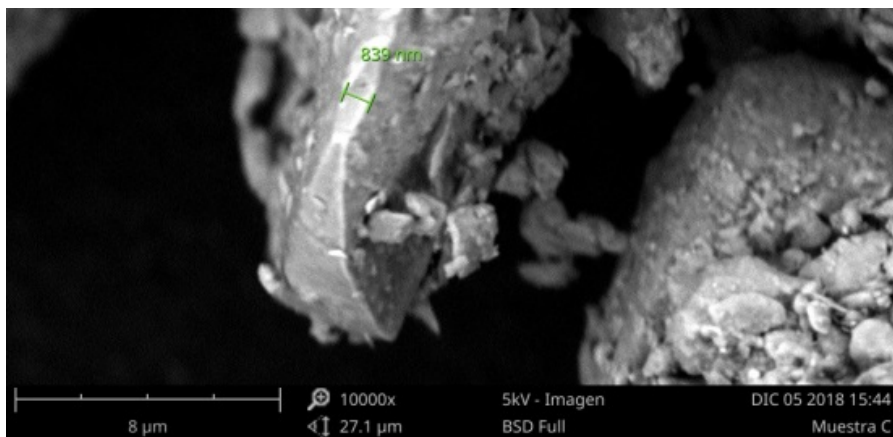


Figura 15. Microscopio de barrido SEM-PHENOM WORLD PURE a 10000X, claramente se observa la lámina arcillosa de 839 nm de espesor, a la cual se encuentran adheridos granos de Limos, los granos se encuentran dispersos en la solución.

4.4.4. Ensayo No. 4

Suelo utilizado Arcillas de -2,00 metros de profundidad – Peso del suelo utilizado 40 g

Líquido de decantación: Agua destilada con 5 gotas de Soda Caustica- Cantidad de agua destilada 1000 cm³ – pH = 5 del líquido de decantación.

No se observa líquido en suspensión luego de 24 h de decantación.

Método utilizado

Se utilizó 40 g de suelo arcilloso diluido en 1000 cm³ de agua destilada con la incorporación de 5 gotas de Soda Caustica (pH= 13), se dejó reposar 24 h, luego no se observa partículas en suspensión, se retira la parte inferior decantada, por sifonamiento, previa incorporación de 10 gotas de vinagre de alcohol (pH=3), se deja en esta decantación 24 h en estufa a 110°C, luego se obtiene un peso de suelo seco de 38,5 g, verificándose en imágenes de microscopio lo siguiente:

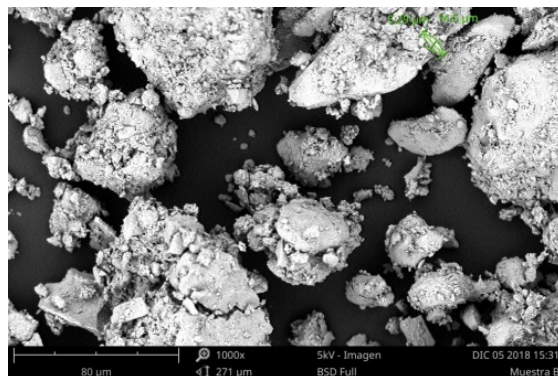


Figura 16. Microscopio de barrido SEM-PHENOM WORLD PURE a 1000X, se observa aglutinación de limos adheridos a las láminas de arcillas dispersos. Dimensión de lámina arcillosa de 14,6 μm por 5,29μm.

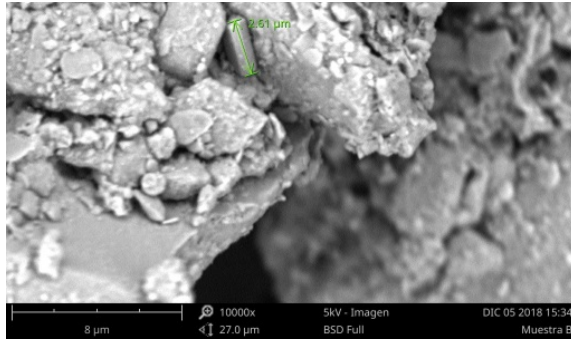


Figura 17. Microscopio de barrido SEM-PHENOM WORLD PURE a 10000X, se observan claramente las láminas arcillosas mucho más desprendidas de 331 nm.

5. Discusión

Siendo la Nanotecnología una de las ciencias en continuo crecimiento y en nuevas aplicaciones, podríamos enumerar algunas de sus aplicaciones dentro de la Geotecnia e Ingeniería Civil:

- Desinfección rápida del agua utilizando nanofilms.
- Hidrogeles inteligentes con estructuras no homogéneas ensambladas, utilizando sub-unidades de hidrogel reticulado con nanoarcilla como bloques de hormigón.
- Láminas de compuesto auto-ligado a base de nanofibras de celulosa y nanocristales de quinina como materiales antifúngicos.
- Métodos para preparar estructuras de nanodendrímeros de metal.
- Métodos de fabricación de estructuras nanoporosas.
- Nanotubos de carbono multi-funcionalizado.
- Compuesto orgánico de nanoarcilla-polímero.
- Propiedades magnéticas de nanocables de hierro multifuncionales.
- Creación de membranas impermeables en torno a barreras en el suelo, o como soporte de excavaciones.
- Prevención de hundimientos, pueden los nanomateriales evitar la licuación de suelos por efectos sísmicos, o excesos de vibraciones en el suelo.

6. Resultados

- Existencia de láminas arcillosas, unidas a limos, especialmente en los estratos superiores del suelo.
- En decantación, las láminas arcillosas se observan en una mejor distribución que las obtenidas en los líquidos en suspensión.
- Las Bentonitas (vermiculita, montmorillonita), en suspensiones presenta aglutinación de granos, mientras que, en decantaciones realizadas con líquidos de tipos químicos alcalinos, la decantación permite observar una distribución de los filosilicatos en láminas más ordenadas.
- El químico diluyente, de tipo ácido permite mayor decantación que los químicos alcalinos.

- Es necesario, realizar procesos de eliminación de los limos, especialmente en suelos superiores, para obtener láminas arcillosas más ordenadas y llegar más fácilmente a los materiales de tipo nano buscados.

Referencias

- [1] Schmid, G., Nanoparticles, From theory to application, Weinheim: Wiley-VCH., 2004.
- [2] Rao, C.N.R., Müller, A., y Cheetham, A.K., The Chemistry of Nanomaterials (Vols. 1 y 2), Weinheim: Wiley-VCH, 2004.
- [3] Boldyrev, V.V., "Mechanochemistry and mechanical activation of solids", Russian Chemical Reviews, 2006, 75, 177-189.
- [4] Takacs, L., "Metal-metal oxide systems for nanocomposite formation by reaction milling", Nanostructured Material, 1993, 2, 241-249.
- [5] Kim, Y.G., Oh, S.K., y Crooks, R.M., Chemistry of Materials, 2004, 16, 167-172.
- [6] Comisión Europea, Segunda revisión regulatoria de los nanomateriales, Comunicación final 572 de la Comisión, [http://ec.europa.eu/nanotechnology/pdf/second_regulatory_review_on_nanomaterials_com\(2012\)_572.pdf](http://ec.europa.eu/nanotechnology/pdf/second_regulatory_review_on_nanomaterials_com(2012)_572.pdf), 2012
- [7] Ten Have, H., "Introduction: UNESCO, ethics and emerging technologies" (Introducción: la UNESCO, la ética y las tecnologías emergentes), en Ten Have, H, (ed.) Nanotechnologies, Ethics and Politics, Ediciones UNESCO, París, 2007.
- [8] UNESCO, Ética y política de la nanotecnología. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, París, 2006, <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001459/145951e.pdf>.
- [9] Equipo de Tareas del proyecto del Milenio de las Naciones Unidas, Innovation: Applying Knowledge in Development (Innovación: aplicar el conocimiento del desarrollo) Earthscan, Londres, 2005, www.unmillenniumproject.org/reports/tf_science.htm.
- [10] Doval, Montoya, M. García Romero, E., Luque Del Villar, J., Martín-Vivaldi Caballero, J.L., y Rodas Gonzalez, M. "Arcillas industriales, Yacimientos y Aplicaciones" En: Yacimientos Minerales. Editores: R. Lunar y R. Oyarzun, Editorial Centro de Estudios Ramon Areces, S.A. Madrid., (1991), 582-608.
- [11] Doval Montoya, M., "Bentonitas". En Recursos Minerales de España. Coord. J. García Guinea y J. Martínez Frías. Textos Universitarios (C.S.I.C.) 15, (1990), 45-69.
- [12] Figueras, F., "Pillared Clays as Catalysis". Catal. Rev. Sci.Eng. (1988), Vol. 30 (3) 457-499.
- [13] Galan Huertos, E., "Palygorskita y sepiolita" En: Recursos Minerales de España. Coord. J. García Guinea y J. Martínez Frías. Textos Universitarios (C.S.I.C.) 15, 1990, 71-94.
- [14] Gonzalez, I., "Arcillas comunes" En: Recursos Minerales de España. Coord. J. García Guinea y J. Martínez Frías. Textos Universitarios (C.S.I.C.) 15. (1990), 96-112.
- [15] Grim, R.E. Clay Mineralogy. McGraw Hill, (1968).
- [16] Grim, R.E. & Guven, N., "Bentonites, Geology Mineralogy and Uses". New York. Amsterdam Elsevier, (1978).
- [17] Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE), "Libro Blanco de la Minería de la Comunidad de Madrid", (1995), 285.
- [18] Kendall, T., "Bentonite, Major Market Review". Industrial Minerals. May., (1996), 25-37.