

## **Relacion entre las propiedades geotecnicas de limos y loess tipificación de concreciones, cementaciones, en la llanura pampeana central argentina**

**Nombre completo del autor:** Prof. Ing. Héctor Antonio VELAZQUEZ

**Institución:** Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rafaela  
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional San Francisco

**Correo electrónico:** hectoravelaz@hotmail.com

**Resumen:** La llanura central Argentina, constituye el principal depósito loessico de Sudamérica, cubriendo desde unos pocos centímetros hasta profundidades mayores a los 60 metros.

El suelo actúa como la interface entre litosfera, biosfera y atmósfera, dando vida y sustento a todos los ecosistemas terrestres.

Los depósitos superficiales, hasta los 60 metros de profundidad, presentan algún grado de cementación química, producto de la sílice, carbonatos y sesquióxidos, que unidos a las altas presiones históricas, uniones químicas o precipitación de cementantes produjeron cementaciones variadas, que podríamos definir como de importancia la metamorfosis producida en la masa del suelo.

Los factores formadores de estos suelos finos, como Clima, Organismos vivos, Geomorfología del suelo, y el Tiempo geológico de su formación, fueron fundamentales en la generación de esta estructura macroporosa, con presencia de elementos cementados, y permite a través de experimentos analizar propiedades químicas, térmicas, eléctricas y mecánicas, según su estructura interna, entre fluido y partículas.

La mineralogía produce variaciones físicas y mecánicas, con la caolinización del suelo, respecto a la relación  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y con ello determinar la LATERIZACION o PODZOLIZACION, la mineralogía conjuntamente con las reacciones químicas, ocupan un papel preponderante en la determinación metamórfica, con ello las variaciones de resistencia, permeabilidad, consolidación y capacidad al corte.

Las “rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias”, por efectos eólicos, y condiciones lagunares, por agua que ataco los **solutos** produjo la **diagénesis**, y suelos sedimentarios, por:

- Disolución
- Hidratación
- Hidrólisis
- Oxidación-reducción

**Palabras claves:** Argentina, Sílice, Carbonatos, Sesquióxidos, cementantes, mineralogía, loess, litosfera, biosfera, atmósfera.

## **“III Congreso Argentino de Ingeniería-IX Congreso de Enseñanza de la Ingeniería - Resistencia 2016”**

El **suelo**, constituye una **cubierta delgada** en la superficie terrestre, desde unos pocos centímetros, hasta espesores de varios metros, que a los fines de la Ingeniería Civil, podríamos definir hasta los 60 metros de profundidad.-

Como cuerpo natural, el suelo constituye una **interfase** que permite intercambios entre la litósfera, la biosfera y la atmósfera.- Los suelos son la base de todos los ecosistemas terrestres, por lo que hacen posible la vida en el planeta.-

La uniformidad de la llanura pampeana central de la República Argentina, manifiesta una marcada actividad neotectónica (estudio de pliegues, fallas, en la corteza terrestre), que al decir de E. Brunetto y M.H. Iriondo [1] (2007), conforma dos episodios de actividad, el primero de mayor jerarquía que afectó los sedimentos de ambientes de transición y continentales con depósitos marinos-someros en la formación **F<sub>m</sub> Paraná** (Mioceno superior), y luego una variación lateral de ella en ambientes lagunares (temporales) y depósitos eólicos típicos, que conforma la formación **F<sub>m</sub> Tezanos Pinto**, ambas marcan discontinuidades observadas en rasgos lineales superficiales, en cuanto a su drenaje superior, y que permiten suponer fueron producidas durante el Pleitoceno Superior (cuaternario).-

Los depósitos de Loess que cubren la **F<sub>m</sub> Tezanos Pinto**, desde el nivel superior del suelo, y hasta los 60 metros de profundidad, presentan algún grado de cementación, producto de procesos post-deposicionales por altas presiones históricas, uniones químicas o precipitación de cementantes, como sílice, carbonatos y sesquióxidos.- Estos suelos cementados presentan una variación importante en los parámetros mecánicos del suelo, según la columna estratigráfica representativa, nos va mostrando el análisis sedimentológico (cantidad y tipo de concreciones y cementaciones), como la mineralogía de los estratos, obtenidos como testigos de una perforación.-

De lo anterior la importancia, del análisis micro de los estratos, hacia la conformación macro de la estructura total del suelo a estudiar, por la presencia de concreciones y cementaciones que presentan este tipo de suelo.-

### **ORIGEN DE LA FORMACION LOESSICA PAMPEANA**

Los factores formadores resultantes de esta formación, depende de procesos edafogénicos, de distinto tipo e intensidad a lo largo del tiempo, así intervino la Roca Madre (material parental a partir del cual se formó);Ingenieria Ambiental James R, Mihelcic-Julie B. Zimmerman [5] el Clima (aportó agua y energía

## **“Relación entre las propiedades geotécnicas de Limos y Loess, tipificación de concreciones, cementaciones, en la Llanura Pampeana Central Argentina”**

al material originario); Organismos Vivos (actuaron sobre la roca o material originario, contribuyendo a su disgregación y mezcla); Geomorfología (posición que ocupa el suelo en un determinado sitio); Tiempo (acción de distintos factores a lo largo de cientos o miles de años).-

El tipo de suelo, es el derivado de cenizas volcánicas, A. Lizcano, M.C. Herrera y J.C. Santamarina [4] tratando de explicar la formación de elementos como las concreciones y cementaciones, para entender sus propiedades físicas, el comportamiento mecánico y las principales consecuencias geotécnicas.- Para lo cual deberemos incluir experimentos que analicen propiedades químicas, térmicas, eléctricas y mecánicas, y la interpretación en términos de estructura interna, composición e interacción entre partículas y fluidos.-

A la luz de los resultados experimentales y de los problemas geotécnicos observados en campo, veremos la necesidad de reanalizar las técnicas de caracterización y diseño para optimizar el desempeño de estos suelos en aplicaciones de ingeniería.-

Los procesos formadores o procesos edafogénicos, de este tipo de suelos, ha sido el conjunto de cambios sucesivos que se originaron en el sistema, y dieron lugar al desarrollo de cambios biogeoquímicos, que originaron una mineralogía geotécnica, que podemos definir como:

- Minerales de arcilla de interés geotécnico
- Propiedades físico- químicas variadas
- Propiedades geotécnicas y composición mineralógica variada
- Microfábrica, en la estructura de la masa del suelo
- Propiedades geotécnicas distintas según la microfábrica encontrada

La existencia de concreciones y nódulos cementados, en la formación superior es una característica en los loess pampeanos primarios, de origen eólico, lagunar, y en los loess secundarios, ubicados por debajo de la formación superior donde la existencia del retrabajo físico-químico es más notoria.-

En cuanto a la descripción granulométrica del loess, podríamos definirlo como ML-CL, o CL-ML, es decir básicamente es un suelo limo-arcilloso, o viceversa, según

“III Congreso Argentino de Ingeniería – IX Congreso de Enseñanza de la Ingeniería – Resistencia 2016”

## **“Relación entre las propiedades geotécnicas de Limos y Loess, tipificación de concreciones, cementaciones, en la Llanura Pampeana Argentina”**

La composición mayoritaria de limo o arcilla, dejando aclarado que el limo corresponde a una definición granulométrica, según el tamaño de la partícula, mientras que el loess es un sedimento re-depositado, luego de un proceso eólico o lagunar, con presencia de meteorización.-

La meteorización más importante ha sido la biogeoquímica, que consistió en un conjunto de procesos de meteorización, dando lugar a cambios químicos y mineralógicos, condicionados en gran medida por la presencia de agua con oxígeno, anhídrido carbónico o ácidos disueltos (cementantes), estos procesos incluyen meteorización química, biológica y bioquímica.

Una de las características más específicas de la atmósfera es su capacidad de transporte rápido a grandes distancias de las sustancias que incorpora, de allí el sentido eólico en la caracterización de nuestros loess pampeanos, el mezclamiento entre el Hemisferio Norte y Sur es relativamente pobre, de allí que la dispersión de contaminantes entre los hemisferios sea relativamente lenta.-

Los vínculos existentes entre sedimentos y las rocas de las capas más superficiales de la litósfera, los describiremos diciendo que esencialmente tenemos tres tipos de rocas: “las ígneas”, “las metamórficas”, y “las sedimentarias”, todas pueden ser atacadas por el **agua**, en el proceso conocido como “meteorización”, proveyendo el agua de diversos solutos.- A estos procesos de adquisición de solutos se opone la formación de sedimentos y de suelos, por remoción de sólidos.- La **diagénesis** vuelve a generar rocas sedimentarias a partir de los sedimentos, y la metamorfosis de las rocas sedimentarias genera nuevamente rocas metamórficas, y así se genera el ciclo.- El agua transporta los sedimentos, y al transportarlos los expone a condiciones químicas diferentes a las que determinaron su formación; los sedimentos pueden entonces redisolverse, así pueden generarse sedimentos marinos, debido al ataque químico de sedimentos terrestres, y su posterior transporte por el agua, con su precipitación en el mar.-

Según el tamaño de granos, los sedimentos se clasifican principalmente como **arena, limo, y arcilla**, y químicamente, estos sedimentos son mezclas de complejidad

“III Congreso Argentino de Ingeniería – IX Congreso de Enseñanza de la Ingeniería – Resistencia 2016”

## **“Relación entre las propiedades geotécnicas de Limos y Loess, tipificación de concreciones, cementaciones, en la Llanura Pampeana central Argentina”**

apreciable de diversas fases sólidas, si concentramos ello en una pocas fases sólidas más importantes, es posible describirlos en CINCO COMPONENTES  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , si deseamos dar cuenta de fases que contienen otros elementos, es necesario incrementar el número de componentes.-

El **agua** posee dos características muy importantes, su **carácter bipolar** y su elevado **poder para disolver** las sustancias con las que entra en contacto.- La **meteorización biogeoquímica**, se produce por reacciones químicas de:

- Disolución
- Hidratación
- Hidrólisis
- Oxidación-reducción

### **Disolución**

En **agua pura** (disolución del yeso o sales más solubles, aparecen en la masa acanaladuras)

En medio **básico** o **alcalino** (en el material meteorizado, existen microambientes básicos, incluso en suelos ácidos)

En forma de **quelatos** (formación de complejos organo-minerales)

En **medio ácido** (la carbonatación implica disolución de minerales, como los silicatos en agua que contenga anhídrido carbónico disuelto, y precipitan carbonatos).-

### **Hidratación**

Incorporación de moléculas de agua a la estructura cristalina del mineral, transformándose en otra especie mineral.-

“III Congreso Argentino de Ingeniería – IX Congreso de Enseñanza de la Ingeniería – Resistencia 2016”

## **“Relación entre las propiedades geotécnicas de Limos y Loess, tipificación de concreciones, cementaciones, en la Llanura Pampeana central Argentina”**

### **Hidrólisis**

Provoca que un mineral (aluminosilicato), reaccione con el agua y su estructura cristalina se desorganice totalmente.- Afecta gran número de minerales, especialmente los silicatos.-

### **Oxidación-Reducción**

Llamados procesos **redox**, son cambios químicos en átomos, moléculas u otros compuestos debido a pérdida o ganancia de electrones. Puede implicar cambios de volumen o de color.- Los principales elementos químicos implicados en esta meteorización son el hierro, el manganeso y el azufre.-

## **TIPIFICACION Y DESCRIPCION DE LAS CONCRECIONES EN LOESS PAMPEANO**

La evaluación de los minerales que constituyen las rocas al decir de (J.A.Jimenez Salas, J.L. DE JUSTO ALPAÑEZ [2]– 1975), es un ciclo cerrado, que en el caso de los loess, no termino con la sedimentación, sino que después de depositados continuaron sufriendo modificaciones por procesos metamórficos, también denominados **diagénesis**.-

Aquí los loess se vieron influenciados por las presiones que sobre ellos actuaron (loess secundario), por efecto de las capas que fueron depositándose gradualmente sobre ellos, el tipo de líquido que llenaba sus poros, temperatura del sitio donde se emplazaban, y en especial la acidez o alcalinidad del agua, que medimos a través de su pH, asimismo su potencial oxidante o reductor.-

Si tenemos en cuenta que el pH del agua de lluvia es aproximadamente 5,6 y que la presencia de minerales en la masa del suelo pudo haberla hecho cambiar de alcalina a ácida, o viceversa, hoy estos suelos poseen en general un pH dentro de valores de 6.-

**“III Congreso Argentino de Ingeniería – IX Congreso de Enseñanza de la Ingeniería – Resistencia 2016”**

**“Relación entre las propiedades geotécnicas de Limos y Loess, tipificación de concreciones, cementaciones, en la Llanura Pampeana central Argentina”**

La diagénesis comienza con sedimentos blandos (J.A Jimenez Salas-J.L.de Justo Alpañez-1975) y por efecto de la presión de suelos superiores, se consolidan los sedimentos, reduciendo el volumen de poros y aumenta su resistencia, allí la aparición de minerales variados produce recristalización de granos (Ca,Mg,K), sumado a la variación del pH de Medio a Alto, aparecen los **procesos de cementación**.-

Los procesos de cementación deben englobarse en los que se produjeron a temperatura del aire atmosférico y pequeñas profundidades, al decir por el Profesor J-Gimenez Salas. **Epidiagénesis**, simplemente una unión débil de partículas por la deposición de un cementante, siendo estos los más abundantes, Sílice, Carbonatos, y Sesquióxidos.-

En climas mediterráneos a semiáridos, como los de gran parte del territorio de llanuras pampeanas, la cementación más abundante es por la **sílice**, con una importante precipitación dentro de la masa del suelo, que produjo la transformación química, esta sílice deriva de la descomposición lenta de los feldespatos y vidrio volcánico, originarios de las cenizas volcánicas, producidas en el proceso de vulcanización del cuaternario primario y superior, que dio origen a los loess secundarios y primarios respectivamente.-

También merece una mención al material de tipo arcilloso que acompaña a los elementos en forma de concreciones y cementaciones, esa arcilla posee una **capacidad de cambio catiónico (meq/100g)** ( el número de miliequivalentes de cationes adsorbidos por 100grs del suelo, previamente saturado de cationes  $H^+$ , por lavado en medio ácido), a mayor **capacidad de cambio catiónico** significa mayor inestabilidad en el suelo, y este cambio catiónico depende de la humedad del suelo.- Cuanto más cerca estén los agregados arcillosos (o tengan menor radio atómico), existirá más atracción y por ende más estabilidad en la masa del suelo (Cación  $N_a < \text{radio atómico}$  que  $C_a > \text{radio atómico}$ ).-

Esta **capacidad de cambio catiónico**, nos permite visualizar suelos Montmoriloníticos (más alta capacidad de cambio), suelos Caolíníticos (más débil capacidad de cambio) y Suelos Illíticos (capacidad de cambio medio), en estratos

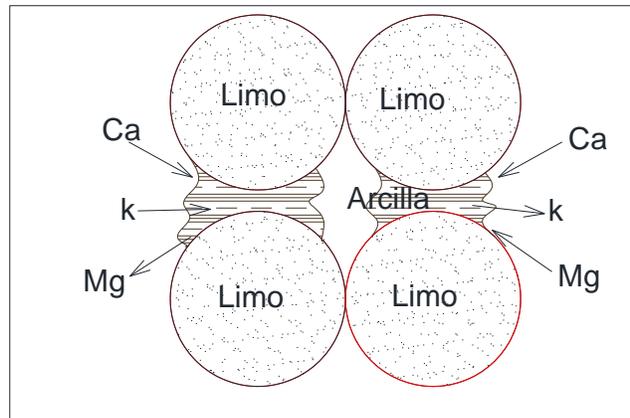
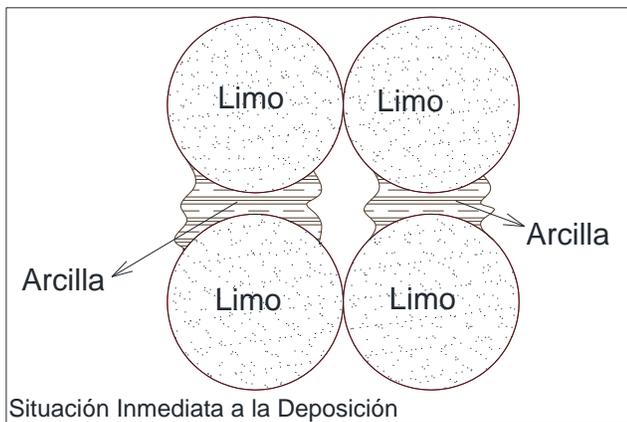
“III Congreso Argentino de Ingeniería – IX Congreso de Enseñanza de la Ingeniería – Resistencia 2016”

**“Relación entre las propiedades geotécnicas de Limos y Loess, tipificación de concreciones, cementaciones, en la Llanura Pampeana central Argentina”**

superiores se observan suelos Illíticos, y a medida de profundizamos aparecen suelos

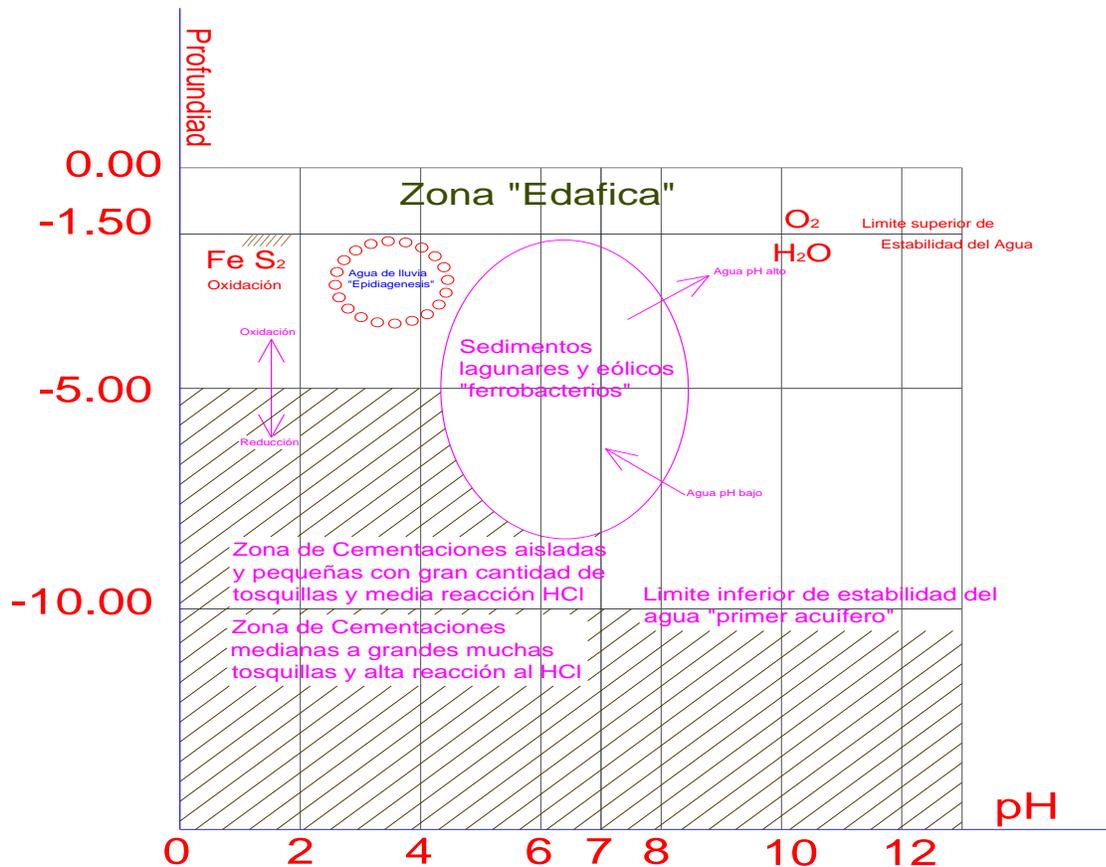
Caolíníficos, estos suelos saturados, nos presentan plasticidad más alta en arcillas  $N_a$  y plasticidades más bajas en arcillas  $C_a$ .

Se inician en los bordes de los limos, cambios de  $K^+$  por  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$



Al aumentar la presión se disuelve  $Si^{++++}$  en los suelos con líquido intersticial de pH alto y migran precipitándose en los de pH bajo.

Según lo descrito por Fairbridge en la bibliografía de Larsen y Chilingar [3]-1967, sucede lo siguiente:



Aparentemente un 10% de Si en forma de  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , puede cementar suelos en forma muy efectiva, esta sílice, no visible está en la masa de las arcillas que rellenan los granos de limos, (con cementación o sin ella), y forman agregados difíciles de dispersar en los análisis granulométricos, son suelos de baja a media actividad en las arcillas, no se retraen ni se hinchan, y aumentan su sensibilidad en forma notoria al ser remoldeados, lógicamente al aumentar el cementante (Si), el suelo es más resistente.-

Otro cementante que ha producido concreciones duras, es la cementación por **carbonato de calcio**, manifestada en la alta reacción al HCl que presentan los suelos loessicos pampeanos, especialmente por debajo de cota -5,00 metros, del nivel de suelo natural.-

Este cementante es menos efectivo que la sílice y así según Flach y otros (1969), un suelo puede perder hasta la mitad de su resistencia a compresión simple, si sumergido en agua, el contenido de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  es menor al 40%, esto es lo que ocurre con los loess pampeanos, por encima de -5,00 metros de profundidad, donde el  $\text{CO}_3\text{Ca}$  es pobre y aparece con mucha mayor cantidad por debajo de cota -7,00 metros, (debajo de la primera capa impermeable de espesor variable, pequeño, donde aparece el primer acuífero local).-

Las típicas “toscas” de nuestro suelo loessico pampeano, se estabilizan en cantidad y distribución por debajo de la cota del primer acuífero local (-7,00 metros).-

Por ser esta planicie pampeana, una zona de precipitaciones medias anuales superiores a los 800 mm anuales, sucede que el carbonato de calcio es arrastrado (J.A. Gimenez Salas, J.L De Justo Alpañez[2]-1975), pero tampoco estos cementantes se forman en climas desérticos, ya que es el efecto combinado de lluvia, evaporación y cambios de presiones parciales del anhídrido carbónico en los poros del suelo.-

A medida que nos profundizamos (por debajo de -6,00 metros), el agua en general es menos ácida y la caliza se deposita en forma de concreciones, de allí que en la zona de “bajos naturales”, donde existían elementos lagunares permanentes, durante eras geológicas de cientos o miles de años, el agua normalmente al estar con alta alcanización, produjo importantes costras de concreciones y cementaciones, muy espesas, retrabajadas, mostrándonos en la actualidad, alta impermeabilización y barreras impermeables a procesos de inundaciones o excesos hídricos, en aguas superficiales.-

Los suelos loessicos, ubicados en zonas de climas muy húmedos, presentan cementaciones y concreciones por efecto de **sesquióxidos** (hacia la zona de Pampa Húmeda- Sta. Fe y parte de Córdoba), allí la lixiviación es muy intensa y moviliza en general óxidos de hierro en forma coloidal.-

La característica, en general, más acentuada en estos loess pampeanos, es su **laterización** (del latín later = ladrillo), con importantes concentraciones de hierro, aluminio, corroborado en el típico color “castaño rojizo” a “castaño pálido”, en zonas más profundas donde aumenta la concentración de alúmina y aparecen más abundancia de minerales arcillosos.-

Las concreciones de **limonita**, también es propio de estos suelos limosos en presencia de arcillas distribuidas en su masa, el color pardo herrumbroso, en estos casos se agudiza a medida que nos profundizamos, al igual que un abundante cementado, debido a la mineralización de la roca madre constituida por hierro (Reid, 1875), producto organógenos (hierro de pantanos), propios del ambiente lagunar, eólico, que imperaba en esos procesos geológicos, y que recubrieron el suelo por encima de cota -5,00 metros, donde el proceso químico se caracterizó por los “ferrobacterios” de Winogradsky, que oxidaron el bicarbonato de hierro disuelto en las aguas y los componentes ferrosos orgánicos, transformándolos en hidratos férricos insolubles, que dio lugar a la formación de limonita.-

“III Congreso Argentino de Ingeniería – IX Congreso de Enseñanza de la Ingeniería – Resistencia 2016”

**Conclusiones y recomendaciones:** Para este tipo de suelo fino, que predomina en gran parte del territorio central de nuestra República Argentina, se recomienda como fundamental, estudiar su composición química, los elementos formadores del mismo, como su composición mineralógica, que permitirán deducir importantes conclusiones conjuntamente con los trabajos de campo y Laboratorio, desde una óptica mecánica ( lo que se realiza normalmente en los Estudios de Suelos), es decir optar conjugar los resultados obtenidos mecánicamente, con los resultados de las reacciones químicas, y observaciones de sus partículas para determinar propiedades que puedan cambiar notoriamente parámetros como la permeabilidad, la resistencia al corte, la

conductibilidad, la consolidación, y con ello observar claramente el papel que juegan los distintos tipos de arcilla que intervienen en ellos.- Entiendo es un estudio que deberán en lo sucesivo, continuar con estos parámetros los futuros Ingenieros Civiles, Geólogos, Ambientalistas, Ing. Agrónomos etc, que usen como elemento de trabajo la Litósfera.

**Referencias:** [1] Bruneto, M.N. Iriondo – Neotectónica en la Pampa Norte (Argentina). CIC y TTP- Conicet, España, Diamante (E. Ríos) y Paraná (E. Ríos)- 2007

[2] Jimenez Salas, J.L. de Justo Alpañez – Geotecnia y Cimientos, tomos I, II, III – Editorial Rueda – Madrid - 1981

[3] Luis I. Gonzalez de Vallejo – Mercedes Ferrer – Luis Ortuño – Carlos Oteo – Ingeniería Geológica – Ed. Prentice Hall – Madrid – 2002

[4] A. Lizcano, M.C. Herrera y J.C. Santamarina – Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia – Año 2006 – Revista Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil – Vol. 6 (2) 167

[5] Ingeniería Ambiental – Sustentabilidad y Diseño – James R. Mihelcic – Julie B. Zimmerman – Ed. Alfaomega - 2012