

**UNIVERSIDA AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISION DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**



**“Modificación de la capacidad de Intercambio Catiónico a través de la aplicación de  
coloides en el suelo”**

**POR:**

**CELIN OSVALDO PEREZ ROBLERO**

**TESIS:**

Presentado como requisito parcial para obtener el  
Título de:

**INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL**

**BUENAVISTA SALTILLO COAHUILA, MAYO 2008**

**UNIVERSIDA AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISION DE INGENIERIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**

**“Modificación de la capacidad de Intercambio Catiónico a través de la aplicación de  
coloides en el suelo”**

**POR:**

**CELIN OSVALDO PEREZ ROBLERO**

**TESIS:**

Presentado como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

**INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL**

CORDINADOR DE LA DIVISION

-----  
Dr. RAÚL RODRÍGUEZ GARCIA

BUENAVISTA SALTILLO COAHUILA, MAYO 2008

**UNIVERSIDA AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.**

**DIVISION DE INGENIERIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**

**“Modificación de la capacidad de Intercambio Catiónico a través de la aplicación de coloides en el suelo”**

**POR:**

**CELIN OSVALDO PEREZ ROBLERO**

**TESIS:**

Que somete a la consideración del H. jurado examinador como  
Requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL**

Aprobado por el comita de tesis

Asesor principal

-----  
Dr. Luis Miguel Lasso Mendoza

Sinodal

Sinodal

-----  
Dr. José Ángel Cepeda Dovala

-----  
M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala

Vocal Suplente

-----  
M.C. Blas Alberto Ríos Burciaga

SALTILLO COAHUILA, MAYO 2008

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
INDICE DE FIGURAS.....	III
INDICE DE CUADROS.....	III
INDICE DE GRAFICAS.....	IV
I INTRODUCCION.....	1
1.2. Objetivos generales.....	3
1.3. Hipótesis.....	3
II. REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1. Generalidades.....	4
2.1.1. Clasificación de las dispersiones coloidales.....	4
2.2. Arcilla.....	5
2.2.1. Historia y uso de la arcilla en la cultura.....	6
2.2.2 Clasificación de las arcillas.....	6
2.2.2.1 Silicatadas.....	6
2.2.2.2 Caolinita.....	7
2.2.2.3 Esmetica (Montmorionita).....	7
2.2.2.4. Micas.....	8
2.2.2.5. Hidroxidos.....	8
2.3. Zeolitas.....	9
2.3.1. Formación de zeolitas en la naturaleza.....	9
2.3.2. Propiedades de la zeolita.....	11
2.3.2.1. Propiedades físicas.....	12
2.3.2.2. Propiedades químicas.....	12
2.3.2.3. Especificaciones.....	14
2.3.2.4. Coproductos y subproductos.....	15
2.3.3 Clasificación de las zeolitas.....	15

2.3.4. Mineralogía.....	16
2.3.5. Método de minado.....	16
2.3.6. Procesamiento.....	17
2.3.7 Materiales alternos.....	17
2.3.8. Usos.....	18
2.3.8.1. Tamices moleculares.....	18
2.3.8.2. Naturaleza de las reacciones de intercambio catiónico.....	19
2.3.9. trabajos a fines.....	20
III. MATERIALES Y METODOS.....	21
3.1. Materiales.....	21
3.1.1. Localización del sitio experimental.....	21
3.1.2. Características del sitio experimental.....	22
3.1.2.1. Características físicas y químicas del suelo a estudiar.....	23
3.1.2.2. Mejoradores.....	23
3.1.2.3. Zeolita.....	23
3.1.2.4. Ácidos humicos.....	24
3.2. Métodos.....	24
3.2.1. Descripción de los tratamientos.....	24
3.2.2. Características de las unidades experimentales.....	26
3.2.3. Identificación y concentración.....	27
3.2.4. Parámetros de evaluación.....	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	29
4.1. Comportamiento de la CIC en los niveles de humedad.....	29
4.2. Como influye las sales en la CIC.....	30
4.3. Como influye el fertilizante en la CIC.....	31
4.4. Como influyen las arcillas en la CIC.....	32
4.5. Como influyen los A. Humicos en la CIC.....	33

V. CONCLUSIONES.....	35
VI. BIBLIOGRAFIA.....	36
VII. ANEXOS.....	38

## **DEDICATORIA**

### **Con mucho cariño y respeto a mis padres:**

Sr. Adolfo Pérez Morales

Sra. Esperanza Roblero Rivera

Por haberme brindado su amor y sus consejos de padres que me enseñaron a sobresalir, así como su confianza e incondicional y por todos sus esfuerzos y sacrificios para que pudiera terminar mis estudios.

### **A mis queridos hermanos.**

Adolfo (Didier) Pérez Roblero y Elquigodo Alfredo Pérez; a quienes quiero mucho quienes han convivido y animado en los momentos difíciles así como en los momentos felices y por supuesto a mi querida hermanita que en paz descanse (+), a la que hubiera querido mucho a ella también se la dedico.

### **A mis abuelos.**

Walter Pérez, Leocadia Morales (+), Rosalio Roblero y Marina Rivera Roblero  
Por haberme brindado sus apoyos incondicionales que para mí fue como una fuente de energía que me permitía seguir adelante.

### **A toda mi familia**

Que me han motivado, animado en los momentos difíciles y por enseñarme que siempre debemos estar unidos como familia para apoyarnos unos a los otros; y en especial a mi primo Giovanni Adalberto Pérez Roblero quien me brindo su confianza y apoyo incondicional para que terminara mis estudios (gracias primo).

### **A mí amada y futura esposa**

Rosa Amelia Dimas Linares quien me ha brindado su apoyo en los tiempos difíciles y a mi querida hija Dulce Jaquelin a quienes quiero con todo mi amor.

## **AGRADECIMIENTOS.**

A **Dios**, por darme la vida y por darme las fuerzas necesarias para terminar mis estudios.

A mi **“ALMA MATER”** por haberme abierto sus puertas y permitir realizar mis estudios en esta gran institución.

Al **Dr. Luis miguel Lasso Mendosa:** por darme la oportunidad de realizar esta investigación así como su apoyo, tiempo, paciencia y asesoramientos para terminar mi trabajo.

Al **Dr. José Ángel Cepeda Dovala:** por haberme brindado su apoyo, tiempo y asesoramiento para terminar este trabajo.

Al **M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala:** por haberme brindado su apoyo, tiempo y su asesoramiento para terminar mi trabajo.

Al **M.C. Blas Alberto Ríos Burciaga:** por haberme brindado su apoyo incondicional para realizar mi trabajo y así también ala empresa **COSMOSEL** por darme la oportunidad de realizar este proyecto

A la lic. **Alicia Guadalupe Lucia Barrera Valdez.** Por su colaboración, y por proporcionarme los materiales que se utilizó para concluir en el aspecto de obtención de datos.

A mis compañeros de la generación CIV, de la carrera de Ingeniero Agrícola y Ambiental que me brindaron su amistad y por haberme considerado como amigo

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura 1:1 de arcillas tipo caolinita.....	7
<b>Figura 2.</b> Estructura 2:1 (TOT-TOT- ...) de arcillas tipo esméctica.....	8
<b>Figura 3.</b> Yacimientos de zeolitas en la zona de Etna, Oaxaca.....	11
<b>Figura 4.</b> Yacimientos de zeolitas en la República Mexicana.....	11
<b>Figura 5.</b> Estructura tetraédrica básica de las zeolitas.....	12
<b>Figura 6.</b> Ubicación del sitio experimental.....	22
<b>Figura 7.</b> Ubicación del sitio donde procede el suelo en estudio.....	22
<b>Figura 8.</b> Distribución de de las unidades experimentales.....	27

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Cuadro de tratamiento.....	25
<b>Cuadro 2.</b> Identificación y concentración.....	27
<b>Cuadro 3.</b> Descripción de solución y dosis de fertilizantes utilizados.....	27
<b>Cuadro 4.</b> Análisis de varianza (ANVA).....	34
<b>Cuadro 5.</b> Prueba de TUKEY.....	35

## INDICE DE GRAFICAS

<b>Grafica 1.</b> Comportamiento de CIC en los dos niveles de humedad.....	31
<b>Grafica 2.</b> Comportamiento de la CIC en los tratamientos con Nitrato de Amonio.	32
<b>Grafica 3.</b> Comportamiento de la CIC en los tratamientos que se les aplico FN.....	33
<b>Grafica 4.</b> Respuesta de la CIC con los comportamientos de los tratamientos que se les aplico arcilla.....	34
<b>Grafica 5.</b> Comportamiento de la capacidad de intercambio Catiónico en los Tratamientos que se les aplico AH (H-85).....	35

## I. INTRODUCCION

La actividad química del suelo es necesaria para que el suelo sirva como un sustento de las plantas y por su intercambio de todos los seres vivos y el hombre. Por lo tanto la finura del suelo, su superficie por unidad de suelo, o su capacidad de intercambio es una característica esencial del suelo.

La complejidad de las interacciones de los iones con la fase sólida del suelo se incrementa en gran medida por las propiedades coloidales de la arcilla y las fracciones orgánicas

Las arcillas son bastante heterogéneas en caracteres muy importantes como capacidad de intercambio.

La carga predominante negativa de los coloides del suelo retiene cationes en la película del agua sobre la superficie del coloide. Esta retención reduce la pérdida de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$  por lixiviación, al mismo tiempo que mantiene estos cationes disponibles para que sean captados por la vegetación. Otros cationes son también retenidos, pero en concentraciones mucho más bajas. Estos cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ) también incluyen los iones considerados como macro nutrientes esenciales. La fracción mayor disponible para la vegetación se encuentra en la parte de la solución del suelo cercana a las superficies coloidales.

Los primeros estudios de intercambio Catiónico fueron efectuados por Thompson y Way en Rothamsted, Inglaterra, a mediados del siglo XIX demostraron que al pasar una solución de sulfato de amonio a través de columnas de suelo, por lixiviación, se obtenía como resultado principalmente sulfato de calcio en dichas columnas. El catión predominante en la solución había cambiado de amonio a calcio debido al intercambio con el suelo. (Thomas Wall 1850)

Los cationes son clasificados como intercambiables corresponden a las tres categorías principales de iones existentes en los suelos (de fase sólida, intercambiable y soluble). Los cationes liberados por el proceso de intemperismo y por descomposición orgánica varían grandemente en cuanto a la carga de ion, tamaño y polarizabilidad y responden de

manera diferente a los iones y superficies encontrados en el suelo. Algunos tienden a precipitar de nuevo como minerales formados por el suelo (de la fase sólida); otros tienden a permanecer en solución, aun que asociados con la superficie de la fase sólida (iones intercambiables); otros son competidores deficientes por la carga superficial y, por lo tanto, permanecen de manera predominante en la solución de suelo (iones solubles).

Por lo general, la distribución de los cationes intercambiables principalmente en los suelos agrícolas productivos es  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ \approx \text{NH}_4^+ \approx \text{Na}^+$ . Lo que sucede a los iones después de intemperismo mineral y la descomposición de la materia orgánica depende tanto de las propiedades de los iones como las del suelo o de los materiales producto del intemperismo y de la descomposición.

La composición de los cationes intercambiables de los diferentes suelos tiende a ser mucho más uniforme que la composición de la roca madre de la cual se derivan. Las zeolitas son una familia de minerales aluminosilicatos hidratados altamente cristalinos, que al deshidratarse desarrollan, en el cristal ideal, una estructura porosa con diámetros de poro mínimos de 3 a 10  $\text{\AA}$ .

Es un mineral aluminosilicato cuya estructura forma cavidades ocupadas por iones grandes y moléculas de agua con gran libertad de movimiento que permiten el cambio iónico y la deshidratación reversible.

Las zeolitas están compuestas por aluminio, silicio, sodio, hidrógeno, y oxígeno. La estructura cristalina está basada en las tres direcciones de la red con  $\text{SiO}_4$  en forma tetraédrica con sus cuatro oxígenos compartidos con los tetraedros adyacentes. Las propiedades físicas proveen aspectos únicos para una variedad amplia de aplicaciones prácticas.

## **1.2 OBJETIVOS**

Obtener información de que tanto puede aumentar la capacidad de intercambio cationico (CIC) al agregar un coloide al suelo y así mismo promover la utilización de coloides para mejorar la fertilidad de los suelos.

Poder aumentar la Capacidad de Intercambio Catiónico de un suelo con la aplicación de coloides y la retención de algunos elementos para ponerlos en solución del suelo.

## **1.3 HIPOTESIS.**

La aplicación de coloides (arcilla) al suelo aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo y disminuye la lixiviación de algunos micro y macro nutrientes.

Es posible que un coloide actúe como un impulsor de la absorción de nutrientes.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA.**

### **2.1 Generalidades.**

Primero hay que definir lo que es movimiento Browniano: Toda partícula experimenta lo que se llama movimiento Browniano; el movimiento Browniano es el movimiento que tiene una partícula debido a su temperatura - la energía que tiene debido a su temperatura se manifiesta con movimientos cortos al azar, cuya velocidad promedio depende de la temperatura. Para un objeto grande, su masa es tanta que se mueve tan poco que el movimiento Browniano no es observable, por lo cual no lo vemos en la vida diaria. Pero para partículas lo suficientemente pequeñas, así como para moléculas y átomos, es muy importante.

Un coloide se define como una partícula lo suficientemente pequeña como para experimentar movimiento Browniano pero a la vez mucho más grande que las moléculas del medio en que se encuentra. Es decir, la partícula "ve" el medio como una sustancia continua y no como un conjunto de moléculas. Un coloide puede ser un sólido (con los que he trabajado), un líquido (es decir, una emulsión) o un gas (burbujas). En el caso de coloides sólidos pueden tener distintas geometrías (los coloides esféricos son muy estudiados) y pueden ser de tamaño más o menos uniforme (llamados monodispersos) o con una gran variación de tamaño (polidispersos).

Los coloides pueden formar estructuras semejantes a los cristales, líquidos y demás estructuras moleculares. (Botánico inglés Brown 1827).

#### **2.1.1 Clasificación de las dispersiones coloidales.**

Las soluciones coloidales se clasifican de acuerdo con el estado de agregación en que se presentan el soluto y el solvente y, como los estados de la materia son tres, de sus posibles combinaciones se podrían obtener 9 tipos de soluciones coloidales. Si no fuera porque la novena posibilidad (de gas en gas) es imposible de realizar por cuanto los gases no pueden existir uno junto a otro sin mezclarse. Por ello los tipos de dispersiones coloidales son ocho y se resumen en el cuadro.

Fase dispersa	Fase dispersante	Ejemplo
Sólido	Sólido	Aleaciones, piedras preciosas coloreadas
Sólido	Líquido	Suspensiones de almidón, pinturas, tinta
Sólido	Gas	Humo
Líquido	Sólido	Jaleas, queso
Líquido	Líquido	Emulsiones, mayonesa
Líquido	Gas	Nubes, niebla
Gas	Sólido	Lava, piedra pómez
Gas	Líquido	Espumas, nata batida

## 2.2 Arcilla

Está constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratado, procedentes de la descomposición de minerales de aluminio. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, siendo blanca cuando es pura. Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato, originada en un proceso natural que dura decenas de miles de años.

Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm. En la fracción textural *arcilla* puede haber partículas no minerales, los fitolitos. Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es:



Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800° C. La arcilla endurecida mediante la acción del fuego fue la primera cerámica elaborada por el hombre, y aún es uno de los materiales más baratos y de uso más amplio. Ladrillos, utensilios de cocina, objetos de arte e incluso instrumentos musicales como la ocarina son elaborados con arcilla. También se

la utiliza en muchos procesos industriales, tales como en la elaboración de papel, producción de cemento y procesos químicos.

### **2.2.1 Historia y uso de la arcilla en la cultura**

La arcilla tiene propiedades plásticas, lo que significa que al humedecerla puede ser modelada fácilmente. Al secarse se torna firme y cuándo se somete a altas temperaturas acaecen reacciones químicas que, entre otros cambios, causan que la arcilla se convierta en un material permanentemente rígido, denominado cerámica.

Por estas propiedades la arcilla es utilizada para hacer objetos de alfarería, de uso cotidiano o decorativo. Los diferentes tipos de arcilla, cuando se mezclan con diferentes minerales y en diversas condiciones, son utilizados para producir loza, gres y porcelana. Dependiendo del contenido mineral de la tierra, la arcilla, puede aparecer en varios colores, desde un pálido gris a un oscuro rojo anaranjado. Un horno diseñado específicamente para cocer arcilla es llamado horno de alfarero.

La humanidad descubrió las útiles propiedades de la arcilla en tiempos prehistóricos, y los recipientes más antiguos descubiertos son las vasijas elaboradas con arcilla. También se utilizó, desde la prehistoria, para construir edificaciones, de tapial, adobe y posteriormente ladrillo, elemento de construcción cuyo uso aun perdura. La arcilla fue utilizada en la antigüedad también como soporte de escritura. Miles de años a.C. la escritura cuneiforme fue inscrita en tablillas de arcilla.

Las arcilla cocida al fuego, la cerámica, es uno de los medios más baratos de producir objetos de uso cotidiano, y una de las materias primas utilizada profusamente, aún hoy en día. Ladrillos, vasijas, platos, objetos de arte, e incluso sarcófagos o instrumentos musicales, tales como la ocarina, fueron modelados con arcilla. La arcilla también se utiliza en muchos procesos industriales, tales como la producción de cemento, elaborar papel, y obtener sustancias de filtrado.

Los arqueólogos utilizan las características magnéticas de la arcilla cocida, o transformada en producto cerámico, para fechar los elementos arcillosos que han permanecido con la misma orientación y compararlos con otros periodos históricos, en bases de hogueras, hornos, etc. (Hauser, E. A., J am1941)

## 2.2.2 Clasificación de las arcillas.

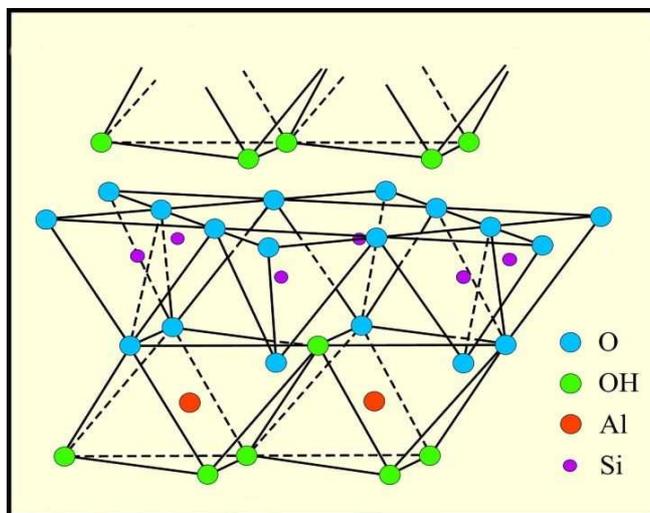
### 2.2.2.1 Silicatadas

Se han agrupado, considerando sus propiedades cristalinas, en cuatro grupos: Caolinita, esméctica, micas hidratadas y otras. Estas arcillas se forman frecuentemente a partir de minerales feldespatos, amfíbolos y piroxenos.

### 2.2.2.2 Caolinita.

Es una arcilla gruesa con baja actividad coloidal, plasticidad, cohesión, encogimiento y expansión bajos, y es un mineral de silicato laminar que tiene las características representativas de los caolines, y tiene relación de silicio/aluminio de 1, y va de 10 hasta 100 moles, la capacidad de intercambio catiónico depende gran medida del pH; y cuando es formado en el suelo se presenta en cristales pequeños. La caolinita entre las arcillas es la de menor superficie activa.

La capacidad de intercambio catiónico es bajo; por lo tanto la absorción es baja y es muy importante en el manejo de las tierras que contienen caolinita como componente dominante y es una de las razones de la baja fertilidad natural de los suelos.

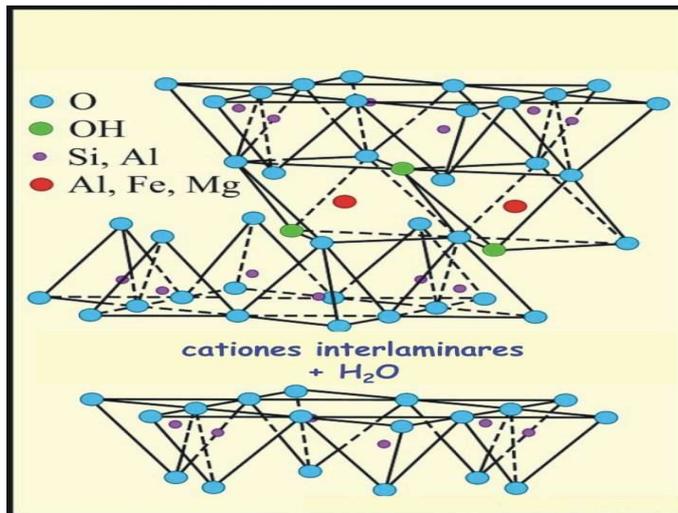


**Estructura 1:1 (TO-TO- ...) de arcillas tipo caolinita**

### 2.2.2.3 Esméctica (Montmorillonita).

Se extiende libremente debido a que poseen carga de capa relativamente baja.

La capacidad de intercambio catiónico de la Montmorillonita varía desde 800 hasta 1200 moles, y depende poco del pH, lo que permite que el mineral se expanda libremente y exponga superficie tanto interna como externa.



**Figura 2.** Estructura 2:1 (TOT-TOT- ...) de arcillas tipo esméctica.

### 2.2.2.4 Micas.

Las micas están presentes en mayor o menor porcentaje en casi todos los suelos de regiones templadas y tienen diferentes tamaños en el suelo, y es un componente importante de la fracción de limo; los representantes son: illita y vermiculita y se encuentran por lo común en los suelos formados parte de partículas que se han transformado parcialmente en minerales expandibles.

Altera que contienen menos  $k^+$  y más agua que la mica estructurada (mica hidratada).

### 2.2.2.5 Hidróxidos

Predominan en el trópico en los latosoles, suelos rojos y amarillos y están constituidas principalmente por hidróxidos de hierro y aluminio.

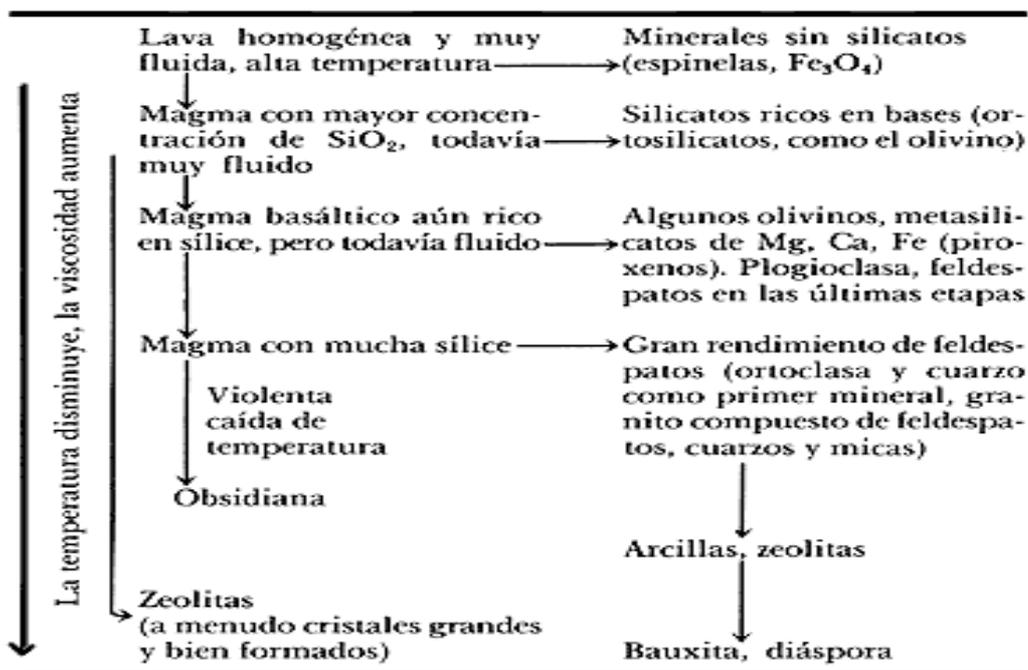
Los cambios de volumen y el agrietamiento por desecación de las arcillas están asociados directamente con las variaciones de humedad y en particular con las variaciones de succión a las cuales están sometido el suelo. Las relaciones entre la

succión y otras variables como el grado de saturación, la humedad o el contenido volumétrico del agua se pueden representar mediante las curvas de retención de agua, que constituye un parámetro de cada tipo de suelo y brindan información esencial para analizar y modelar comportamientos, (Barrera, 2002).

### 2.3 Zeolitas

La estructura de las zeolitas deja canales de tamaños diferentes que se extienden en varias direcciones en el cristal, en las cavidades contienen moléculas de agua retenidas flojamente y cationes que balancean la carga que se intercambian libremente. Algunas zeolitas poseen cavidades de menor tamaño que evita de manera efectiva el movimiento de moléculas grandes, (Bohn, 1993).

#### 2.3.1 Formación de zeolitas en la naturaleza.



Hay que recordar aquí que a altas temperaturas se pueden generar enormes presiones que, a su vez, pueden acelerar los procesos de cristalización. Cuando la presión alcanza

valores extremos es probable que ocurran explosiones, ése fue el caso del monte Pelée, en la isla de Martinica.

Un ejemplo clásico de zeolitas formadas naturalmente son las zeolitas presentes en las rocas volcánicas de Sicilia, que incluyen la analcima, la chabasita y su variante, la herschelita, la epistilbita, la melinita, la gonnardita, la mesolita y la thomsonita. Los cristales de zeolita suelen crecer bien, lo cual es típico de las reacciones hidrotérmicas en soluciones de rocas ricas en álcalis, como por ejemplo, los basaltos. Las zeolitas debidas a alteraciones hidrotérmicas de corrientes de lava basáltica en regiones geotérmicas existen en muchas partes del mundo.

Por otro lado, las zeolitas también pueden provenir de sedimentos. En este caso se caracterizan por ser aglomerados de cristales de muy pequeñas dimensiones y a menudo con caras cristalinas mal desarrolladas. De todas las zeolitas de origen sedimentario, por ahora, es la clinoptilolita la que parece ser la más abundante. Son este tipo de formaciones las que han dado los grandes depósitos de interés técnico

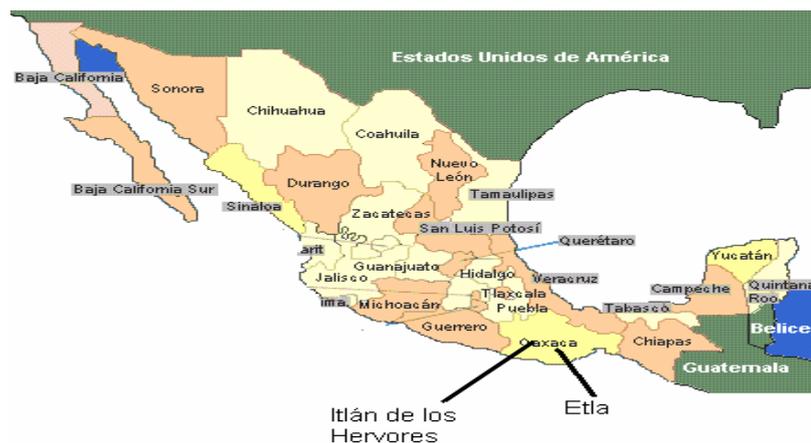
Siendo México un país en donde hay numerosas zonas volcánicas, es de esperarse que haya zeolitas naturales. Sin embargo, no es sino hasta 1973 cuando F.F. Mumpton publica en la revista *American Mineralogist*, 28,287 (1973) un artículo que titula "First Reported Occurrence of Zeolites in Sedimentary Rocks of México" (Primer informe sobre la presencia de zeolitas en rocas sedimentarias de México). De ese trabajo transcribimos los siguientes párrafos pues preferimos que sea el mismo Mumpton quien describa el descubrimiento:

Durante las primeras etapas de la exploración para encontrar zeolitas en este país [se refiere a EUA] (1958-1962), la similitud geológica de las regiones volcánicas y piroclásticas entre el norte de México y el sur de Arizona y California sugería que deberían existir yacimientos de zeolitas al sur de la frontera; sin embargo, no se hizo ningún esfuerzo por probar esta posibilidad, y hasta la fecha no se ha informado de minerales zeolíticos en las rocas sedimentarias de México.

Durante el verano de 1972 el autor examinó una serie de sedimentos piroclásticos del valle del río Atoyac, alrededor de 15 km al noroeste de Oaxaca, en el sur de México. Aunque límites de tiempo impidieron una exploración extensiva del área, se recogieron varias muestras de un prominente yacimiento verde, situado como a unos 100 m al este de la supercarretera 190, a 3 km al norte del pueblo de Etna. Exámenes subsiguientes por difracción de rayos X de estas muestras indicaron que el yacimiento está constituido casi únicamente por zeolitas, mordenita y clinoptilolita. Esta identificación confirma lo que se cree ser el primer descubrimiento de zeolitas minerales en rocas sedimentarias de México. (1973 F.F. Mumpton)



**Figura 3.** Yacimientos de zeolitas en la zona de Etna, Oaxaca (1978).



**Figura 4.** Yacimientos de zeolitas en la República Mexicana.

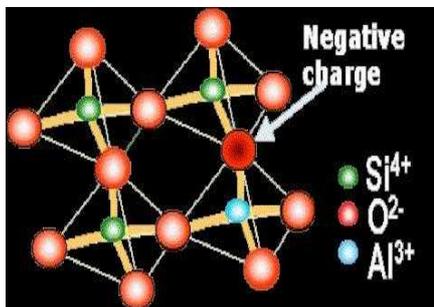
Mumpton describe el yacimiento y hace notar que este tipo de piedra se usa en Oaxaca

### 2.3.2 PROPIEDADES DE LA ZEOLITA

Según Breck (1974) las zeolitas son caracterizadas por las siguientes propiedades:

- Alto grado de hidratación.
- Baja densidad y un gran volumen de vacíos cuando es deshidratado.
- La estabilidad de su estructura cristalina cuando se deshidrata.
- Las propiedades de intercambio del catión.
- Presenta canales moleculares uniformes clasificados en los cristales deshidratados.
- Por su habilidad de absorber gases y vapores.
- Por sus propiedades catalíticas.

Todas las zeolitas son consideradas como tamices moleculares, que son materiales que pueden absorber selectivamente moléculas en base a su tamaño, pero no todos los tamices moleculares son considerados como zeolitas, ya que también el carbón activado, las arcillas activadas, la alúmina en polvo, y la sílice en gel se consideran como tamices moleculares.



**Figura 5.** Estructura tetraédrica básica de las zeolitas

#### 2.3.2.1 Propiedades físicas

Las propiedades físicas de una zeolita deben de considerarse de dos formas: (a) primero una descripción mineralógica de la zeolita desde el punto de vista de sus propiedades naturales, incluyendo la morfología, hábitos del cristal, gravedad específica, densidad, color, tamaño del cristal o grano, el grado de cristalización, resistencia a la corrosión y abrasión. (b) el segundo desde el punto de vista de su desempeño físico como un producto para cualquier aplicación específica, tomando en cuenta las características de

brillantes, color, viscosidad de Broockfield, viscosidad de Hércules, área superficial, tamaño de partícula, dureza, resistencia al desgaste.

La caracterización de cualquier zeolita siempre incluye la descripción básica de sus características mineralógicas y una evaluación al cambio con el efecto con la humedad las cuales son consideradas para las aplicaciones comerciales específicas.

### **2.3.2.2 Propiedades químicas**

Las aplicaciones de las zeolitas naturales hacen uso de uno o más de sus propiedades químicas, que generalmente incluye el intercambio de iones, adsorción o deshidratación y rehidratación. Estas propiedades están en función de la estructura del cristal de cada especie, y su estructura y composición catiónica. Mumpton describe las siguientes propiedades de la siguiente manera:

Propiedades de adsorción. Las zeolitas cristalinas son los únicos minerales adsorbentes. Los grandes canales centrales de entrada y las cavidades de las zeolitas se llenan de moléculas de agua que forman las esferas de hidratación alrededor de dos cationes cambiables. Si el agua es eliminada y las moléculas tienen diámetros seccionales suficientemente pequeños para que estas pasen a través de los canales de entrada entonces son fácilmente adsorbidos en los canales deshidratados y cavidades centrales. Las moléculas demasiado grande no pasan dentro de las cavidades centrales y se excluyen dando origen a la propiedad de tamiz molecular una propiedad de las zeolitas.

Propiedad de intercambio de cationes. Por procedimientos clásicos de intercambio catiónico de una zeolita se puede describir como la sustitución de los iones sodio de las zeolitas faujasitas por cationes de otros tamaños y otra carga. Esta es una de las características esenciales de las zeolitas. En efecto, así se consigue modificar considerablemente las propiedades y ajustar la zeolita a los usos más diversos. El intercambio catiónico se puede efectuar de varios modos:

- Intercambio en contacto con una solución salina acuosa (intercambio hidrotérmico) o con un solvente no acuoso;

- Intercambio en contacto con una sal fundida. Por ejemplo, una zeolita A, originalmente con Ca, se pone en contacto con nitratos de litio, potasio o rubidio fundidos hacia 350°C;
- Intercambio en contacto con un compuesto gaseoso. Por ejemplo, una zeolita faujasita Y, originalmente en su forma Na, se pone en contacto con HCl anhidro o NH<sub>3</sub>, hacia 250°C.

El intercambio de iones en una zeolita depende de:

- La naturaleza de las especies catiónicas, o sea, del catión, de su carga, etc.
- La temperatura.
- La concentración de las especies catiónicas en solución.
- Las especies aniónicas asociadas al catión en solución.
- El solvente (la mayor parte de los intercambios se lleva a cabo en solución acuosa, aunque también algo se hace con solventes orgánicos) y,
- Las características estructurales de la zeolita en particular.

Deshidratación -Rehidratación Basado en el comportamiento de deshidratación. Las zeolitas pueden ser clasificadas como:

- a) Aquellas que muestran cambios estructurales no mayores durante la deshidratación y exhiben continua pérdida de peso como una función de la temperatura.
- b) Aquellos que sufren mayores cambios estructurales, incluyendo colapsos (derrumbes) durante la deshidratación, y exhiben discontinuidades en la pérdida de peso.

Un ejemplo típico del primer tipo son las zeolitas naturales como: la clinoptilolita, la mordenita, la erionita, la chabazita y zeolitos sintéticos como lo son los zeolitos A y X los cuales son termalmente estables de 700 a 800°C la deshidratación zeolitas. El comportamiento en la deshidratación de las zeolitas en el segundo tipo es semejante a aquel que exhibe pérdida reversible de agua a bajas temperaturas, pero un mayor cambio estructural a una elevada temperatura, y los materiales pierden su carácter zeolítico.

(Breck 1974)

### **2.3.2.3 Especificaciones**

Las especificaciones dependen de los usos de los productos de la zeolita y varía ampliamente debido a la gran gama de productos de zeolita natural y variedad en el mercado. La sociedad americana para materiales y pruebas (ASTM) ha establecido métodos, pruebas y especificaciones estándares para la zeolita en los E.U.

Las especificaciones y pruebas en Europa y en Japón se hacen conjuntamente por las compañías productoras. Los productores de zeolita dividen de dos maneras las especificaciones: la venta del mineral en base a especificaciones negociadas con el comprador, o la venta del mineral en base a una línea de productos, donde cada producto de zeolita, tienen una designación de nombre o número con especificaciones físicas y/o químicas. Los productos de la zeolita se venden usualmente con un nombre comercial en lugar de una variedad de mineral. Por ejemplo, la clinoptilonita.

### **2.3.2.4 Coproductos y subproductos**

Los depósitos que contienen dos o más zeolitas pueden generar varios productos o mezclas de los minerales de zeolita presente. Por ejemplo, los productos de zeolita desde las minas de Itaya en Japón, fuente de clinoptilonita y mordenita, incluye productos de mordenita, clinoptilonita y una mezcla entre los dos minerales de mordenita-clinoptilonita dependiendo de la selectividad del minado y del proceso de beneficio. El minado de zeolitas puede generar bentonita como un subproducto o coproducto. En la operación de producción de mineral en Oregon, ambos minerales son minados desde fosos cercanos y procesados en la misma planta moladora.

### **2.3.3 Clasificación de las zeolitas**

Las zeolitas son rocas sedimentarias son formadas probablemente por medio de reacciones de disolución - precipitación. Basándose en el marco geológico de las

zeolitas, mineralogía y génesis, las depositas de zeolitas han sido clasificados en los siguientes tipos:

- 1) Sistema cerrados.- Depósitos formados por materiales volcánicos en sistemas hidrológicamente cerrados, sistemas salinos- alcalinos.
- 2) Sistemas abiertos.- Son depósitos formados en sistemas hidrológicamente abiertos. Lagos de agua dulce.
- 3) Metamórficos boreales.- Depósitos formados por bajo grado de metamorfismo boreal.
- 4) Hidrotermales.- Depósitos formados por sistemas hidrotermales o por la actividad de brotes calientes.
- 5) Marítimas profundos.- Depósitos formados por un medio marítimo profundo.
- 6) Zonas erosionadas por la intemperie.- Depósitos formados en tierras, más comúnmente de materiales volcánicos.

Los depósitos de sistemas abiertos y cerrados son de mayor interés comercial.

#### **2.3.4 Mineralogía**

Las zeolitas ocurren en una variedad de marcas geológicas, en su mayor parte como alteraciones de minerales autigenicos, bajo temperatura y presión como minerales en sistemas metamórficos, minerales secundarios en zonas erosionadas por la intemperie o en venas. Las zeolitas comerciales están actualmente limitadas por marcos autigenicos y finalmente en alteraciones de rocas sedimentarias cristalinas. Comúnmente son 9 las zeolitas que ocurren en rocas sedimentarias: La analcima, chabazita, la clinoptilonita, la erionita, la ferrierita, la huelandita, la laumontita, la modernita, y la filipsita. La analcima y la clinoptolonita son las más abundantes. Las 9 zeolitas muestran un considerable rango de contenido de cationes y radio de Si: Al. Excepto por la huelandista y la laumontita, estos generalmente son alcalinos y más silícicos que sus contrapartes en rocas ígneas.

El potencial comercial de minerales de zeolitas esta limitado por 5 de estas presentes: La chabazita, la clinoptilolita, la erionita, la mordenita y la filipsita. Estas son unas de

las más comunes de las más abundantes en la naturaleza y tienen una favorable capacidad de intercambio de ion absorbancia y tamizado molecular.

La ferrierita y la faujasita son también potenciales económicas pero estas son poco comunes y son conocidos en muy pocos sitios en el mundo.

La aplicación potencial comercial de ambos sistemas de zeolitas naturales y sintéticos se fundamenta en las propiedades físicas y químicas, cuando están directamente relacionados con su composición química y estructura cristalina.

### **2.3.5 Método de minado**

A causa de su bajo costo de proceso, las zeolitas sedimentarias son minadas por métodos a cielo abierto. La excavación se lleva a cabo por equipo convencional para remover la tierra. Este minado minimiza costos, como lo es el uso de explosivos, el equipo para la remoción de la tierra y el cargado directo a los camiones de carga para que el mineral minado sea transportado a una planta de procesamiento. Las variaciones en la calidad de la mena pueden ser manejadas por un minado selectivo.

El control de calidad es determinado por muestreos por medio de brocas, tomando muestras periódicas, evaluando visualmente el material en el mismo sitio, y sacando muestras sistemáticas de los camiones de carga.

Las zeolitas para usos especiales son de valor alto las cuales son recuperadas por un minado abierto selectivo. Las minas de chabazita-erionita en bruto tienen un lecho con partículas de 15 cm en Bowie, AZ, que son utilizados por corporaciones que trabajan con carburos para hacer cedazos moleculares y productos catalíticos de alto valor.

### **2.3.6 Procesamiento**

Las zeolitas naturales son vendidas como productos triturados y cribados, finalmente como pulverizados o micronizados a productos ultrafinos. El producto triturado y cribado de estos materiales es de bajo costo y es usado en aplicaciones simples como son: acondicionamiento de suelos o como vivienda de animales domésticos, que toleran un equitativo y amplio rango de tamaño de partícula. Muchas zeolitas son trituradas, pulverizadas y clasificadas en un rango de tamaño de -60 a +325 mallas. Micronizando

productos tan finos de 5 a 10 mm y productos ultrafinos como de 1 mm los cuales son preparados para usos especiales (papel filtro).

El desempeño de las zeolitas naturales puede incrementarse lavándose con ácido y solución de NaCl para subir los contenidos de iones de  $H^+$  y  $Na^+$  respectivamente. Los productos de clinoptilolita son particularmente incrementados en la capacidad de intercambio iónico por lavado para reemplazar los iones de  $K^+$  por iones de  $Na^+$ . En Bowie, Az, los productos de chabazita son usualmente aglomerados y ligeramente calcinados para reducir su friabilidad total.

### **2.3.7 Materiales alternos**

Cuando la zeolita natural entra al mercado como un producto nuevo, tienen que competir con productos de minerales que estaban bien establecidos. La entrada al mercado de la zeolita natural requiere de una demostración de equivalencia o superioridad técnica o alguna ventaja en el costo de cada aplicación. Las zeolitas sintéticas (cedazos moleculares) son los mayores materiales alternos a las zeolitas naturales. Las zeolitas sintéticas pueden adaptarse en sus características químicas y físicas para poder utilizarse en muchas aplicaciones y son más estables que sus equivalentes naturales. La zeolita natural tiene ventaja sobre la zeolita sintética en algunas aplicaciones y son capaces de trabajar en niveles inferiores de pH, también tienen un costo menor en relación con la zeolita sintética. El gel de sílice, el carbón activado y algunos materiales similares son más efectivos que la zeolita para muchas aplicaciones de intercambio iónico y no son desproporcionadamente más caros. La bentonita, la atapulgita y otros minerales muestran alta selectividad en la adsorbencia y están disponibles en una gran gama de precios competitivos.

### **2.3.8 Usos**

- En la agricultura como acondicionador y fertilizante de suelos.
- En la nutrición de animales. Da eficiencia en el desarrollo del ganado haciendo decrecer el agua amoniacal en el sistema digestivo (la clinoptilolita).
- Acuicultura.
- Catálisis y refinado del petróleo.

- Gasificación del carbón.
- Separación de gases.
- Intercambio iónico.
- Purificación del gas natural.

#### **2.3.8.1 Tamices moleculares**

La primera aplicación de las zeolitas salta a los ojos. Es obvio que si un gas o un líquido están compuestos por dos tipos de moléculas, unas más grandes que las otras, y si disponemos de una zeolita cuyos poros o ventanas tengan un tamaño intermedio entre las moléculas pequeñas y las grandes, sólo las primeras entrarán en la zeolita, mientras que las segundas seguirán su camino. Así se habrán separado un componente de otro: la zeolita actúa como un tamiz de moléculas. Fue J. McBain quien informó esta propiedad y acuñó de paso el término tamiz (o malla) molecular, pero fue R.M. Barrer quien en los años 40, en Inglaterra, demostró por primera vez que las zeolitas se comportaban como mallas moleculares. Con la síntesis de zeolitas en los 50, las separaciones previamente demostradas en el laboratorio Unión Carbide lanzó al mercado, a principios del 54, adsorbentes basándose en zeolitas y, la División Linde, implantó su uso industrial para obtener argón de alta pureza. En efecto, la molécula de argón es ligeramente mayor que el oxígeno y no consigue entrar en la zeolita tipo 4 A a baja temperatura. Otra de las primeras separaciones a nivel industrial fue la utilización de zeolita 4 A para separar trazas de agua en la sustancia congelante de los refrigeradores caseros, aplicación que aún se mantiene.

Hoy se insiste con razón en que los términos zeolita y tamiz molecular no son realmente sinónimos. En realidad para ser tamiz molecular no es necesario que el material sea un aluminosilicato cristalino con una red abierta que permita el intercambio de iones y una deshidratación reversible, como es el caso de la zeolita.

#### **2.3.8.2 Naturaleza de las reacciones de intercambio catiónico.**

Estas reacciones presentan las siguientes características:

- 1.-Equivalencia.

Las reacciones de intercambio catiónico se verifican en términos de equivalencia química; 1 meq de un catión se intercambiara con 1 meq de otro. Así por ejemplo, 23 g de sodio se intercambiaran con 39g de potasio, 39 g de sodio con 20 g de calcio, o con 9 g de aluminio, etc.

#### 2.-Reversibilidad.

Las relaciones de concentración de cationes retenidos en los sitios de intercambio pueden ser modificados cuando cambia la concentración de los iones en solución, conforme al principio de acción de masas. Sin embargo, si el ph del sistema cambia, la reacción no será estrictamente reversible, del mismo modo, si ocurre la fijación de iones como  $K^+$  y/o  $NH_4^+$ , o bien, si se originan polímeros de  $Al_2(OH)_3$ .

#### 3.-Velocidad de la reacción.

Se mide con la masa de la sustancia que se transforma en la unidad de tiempo. Esta magnitud depende de la naturaleza., estado de división y concentración de las sustancias reaccionantes, así como de la temperatura del sistema y la presencia de catalizadores.

#### 4.-Límites.

El grado de sustitución de un catión por otro depende, tanto de las concentraciones relativas de cationes en la solución del suelo. Como de la fuerza de intercambio de dichos cationes.

### **2.3.9 Aplicación de zeolita en rocas detríticas para la reducción del tránsito de nutrientes hacia zona saturada.**

Uno de los problemas de contaminación de las aguas subterráneas, se debe al intenso laboreo sobre medios arenosos permeables, donde los excesos de agua y fertilizantes, producen un rápido descenso hacia la zona saturada de soluciones altamente nitrogenadas (GRANDE, 1995). La necesidad de preservar el medio subterráneo se hace patente con el desarrollo de técnicas que permitan no sólo su protección, sino que también eviten su deterioro, con el fin de poder seguir siendo utilizado por las generaciones futuras. Las zeolitas, son aluminosilicatos hidratados (KESRAOUI-OUKI

*et al.*, 1994) cuya aplicación sobre suelos incrementa la capacidad de retención de  $\text{NH}_4^+$  y de agua, favoreciendo la actividad biológica y actuando como fertilizante de liberación lenta mediante intercambio iónico y disminuyendo las pérdidas de nutrientes propios del suelo (NOTARIO *et al.*, 1994).

Los principales estudios relativos a las posibles ventajas de la aplicación de zeolitas en suelos se encuentran encabezados por HUANG y PETROVIC, quienes en 1994 propusieron la aplicación de zeolitas para la reducción del lixiviado de nitratos en campos de golf situados en suelos arenosos, y por RODRÍGUEZ *et al.*, que en ese mismo año aplicaron zeolita mezclada con estiércol a una pradera, comprobando su relevancia para incrementar la efectividad del abono orgánico. GRANDE *et al.* (1995a) describen una experiencia en la que estudian cómo la zeolita disminuye las pérdidas de nutrientes a través de zona no saturada, comprobando los resultados de la experiencia mediante contraste estadístico (GRANDE *et al.* 1995b).

Una de las causas que dan lugar a la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas, es el intenso laboreo sobre medios arenosos permeables, donde los excesos de agua y fertilizantes, producen un rápido descenso hacia la zona saturada de las soluciones nitrogenadas. La aplicación en los suelos agrícolas de zeolita, incrementa la capacidad de retención de amonio y agua, disminuyendo con ello la pérdida de nutrientes. El presente estudio tiene como principal objetivo el diseño experimental de estrategias para mejorar la calidad ambiental mediante la reducción de la contaminación en la zona saturada aplicando zeolita a un cultivo de fresón, junto con la utilización de funciones de correlación cruzada que permitan observar la incidencia de este tratamiento en la circulación de contaminantes a través de la zona no saturada.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Materiales.

##### 3.1.1 Localización del sitio experimental.

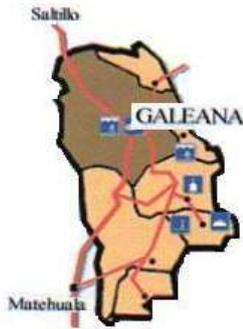
El experimento se llevo a cabo en el área experimental del Departamento de Ciencias del suelo de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, la cual está ubicada en Saltillo, Coahuila, México, con coordenadas 25°23′ 42″ de latitud norte, 100°50′57″ de longitud oeste y a una altura de 1742 msnm.

**Figura 6.** Ubicación del sitio experimental



El suelo utilizado en dicho experimento proviene de la región Navidad, municipio de Galeana, Nuevo León, que se localiza en las coordenadas geográficas 25° 21′ 23” Latitud Norte y 100° 21′ 26” Longitud Oeste, a una altitud aproximada de 1700 metros sobre el nivel del mar.

**Figura 7.** Ubicación del sitio donde procede el suelo en estudio



## Clima

De acuerdo con la clasificación climática, es de tipo BS1KX1, que corresponde a un clima seco, semi-seco templado con lluvias escasas todo el año, con un por ciento de precipitación invernal mayor de 18 por ciento y una precipitación total anual de 350-500mm. La temperatura media anual es de 17.8 °C, siendo los meses más calidos Junio, Julio y Agosto (con temperatura máxima de hasta 38°C). Durante Enero y Febrero se registran las temperaturas más bajas, de hasta -10.4 °C con heladas regulares en el periodo de Diciembre a Febrero; con una precipitación anual de 400 mm y la evaporación media anual es de

1956 mm la cual es siempre mayor que la precipitación media anual. (Lara 1996, Valdés, 1985).

### 3.1.2 Características del Sitio Experimental

De acuerdo con la clasificación de Koppen modificada por García (1973), la UAAAN se encuentra dentro de la clasificación del tipo BS1Kx1 que corresponde a clima seco, semi-seco templado con lluvias escasas durante todo el año, con mas de 18% de precipitación invernal, con respecto al anual total de 350 – 500mm.

La región de Navidad, municipio de Galeana, Nuevo León, de acuerdo con la clasificación de Koppen modificada por García (1973), corresponde al tipo BS1Kx (e'), lo cual indica, clima seco, templado, muy extremoso, con lluvias todo el año, Mendoza (1983) menciona que la temperatura promedio anual es de 14.3 °C, con máximas extremas de 40 °C y mínimas de -15 °C en el mes de enero.

La precipitación media anual es de 516 mm distribuidos entre los meses de abril a octubre donde ocurre el 79% del total anual. La evaporación media anual es de 1,116.7 mm, siendo el mes de agosto el de mayor evaporación. Los suelos se caracterizan por ser de textura migajón limoso, profundos, localizados en valles a extensas llanuras. Poseen bajo contenido de materia orgánica, pH medianamente alcalino. Medianamente ricos en fósforo asimilable y extremadamente ricos en potasio intercambiable, sin embargo son pobres en nitrógeno.

### 3.1.2.1 Características físicas y químicas del suelo a estudiar

El suelo analizado fue extraído de la región Natividad, Nuevo León, con las siguientes características físicas y químicas del suelo.

Clase Textural: Arena = 55% Limo = 35% Arcilla = 10%	Migajón arenoso
Densidad aparente	0.9795 g cc <sup>-1</sup>
Densidad de Sólidos	2.27 g cc <sup>-1</sup>
pH	8.2
Materia Orgánica	2.38%
Conductividad Eléctrica	2.94 mmhos cc <sup>-1</sup>
Conductividad Hidráulica	
Capacidad de Intercambio Catiónico	9.76 Meq 100g <sup>-1</sup>
Capacidad de Campo	32.37
Punto de Marchites Permanente	17.59

### 3.1.2.2 Mejoradores

Se utilizaron los siguientes Coloides para mejorar la estructura física, química y biológica y así mismo de la retención de humedad del suelo.

### **3.1.2.3 Zeolita**

Las zeolitas son minerales secundarios originados por la acción lixivante de aguas termales sobre feldespatos o feldespatoideos. Son aluminosilicatos con cavidades de dimensiones moleculares de 3 a 10 ángstrom. Se encuentran constituidas por aluminio, silicio, hidrógeno, oxígeno, y un número variable de moléculas de agua. Y son empleadas por sus propiedades de intercambio catiónico, empleándose para ablandar el agua (rebajar el contenido en  $\text{Ca}^{2+}$  del agua). Y por el tamaño de los canales las son capaces de absorber diferentes moléculas, por lo que resultan muy apropiadas como elementos tamizadores moleculares.

Su estructura cristalina está formada por tetraedros que se reúnen dando lugar a una red tridimensional, en la que cada oxígeno es compartido por dos átomos de silicio, formando así parte de los minerales tectosilicatos.

### **3.1.2.4 Ácidos húmicos H-85.**

Al 85% de alta concentración y suspendibilidad. Son moléculas complejas orgánicas, se derivan del mineral leonardita, una forma oxidada de lignito, y son los constituyentes principales de materia orgánica vegetal en un estado avanzado de descomposición. En el suelo presentan la capacidad de retener agua, y facilitan la adición de materia orgánica.

### **Columnas de Suelo**

En Material PVC de 3" de diámetro, peso de suelo: 7.36 kg, a 40 cm de altura. Dichas columnas se colocaron sobre columnas de grava y dentro de recipientes (contenedores) para obtener los lixiviados.

### **Columnas de grava**

Se colocaron en la base de las columnas de suelo, forradas con tela de tul (muy porosa), y se sujetaron con alambre.

### **Agua destilada**

Con  $\text{pH} = 7.0$  y conductividad eléctrica =  $0.00 \text{ ms cc}^{-1}$ , el motivo por el cual se utilizó este tipo de agua es para no influir en la cantidad de sales e impurezas y obtener resultados confiables.

## **3.2 Métodos**

### **3.2.1 Descripción de los tratamientos**

Los tratamientos se distribuyeron bajo dos condiciones de humedad, capacidad de campo (CC) y humedad disponible (HD). Y se aplicaron de la siguiente manera.

### **Descripción del diseño experimental.**

El trabajo de investigación contemplo un diseño experimental de arreglo en parcelas subdivididas; algunas veces, en experimento de campo se introduce un factor adicional dentro de experimento subdividiendo cada parcela en cierto número de partes. (Willam G. Cochrran 1990)

**Cuadro1.** Cuadro de tratamiento: Muestra en que consiste cada uno de los tratamientos utilizados en la investigación.

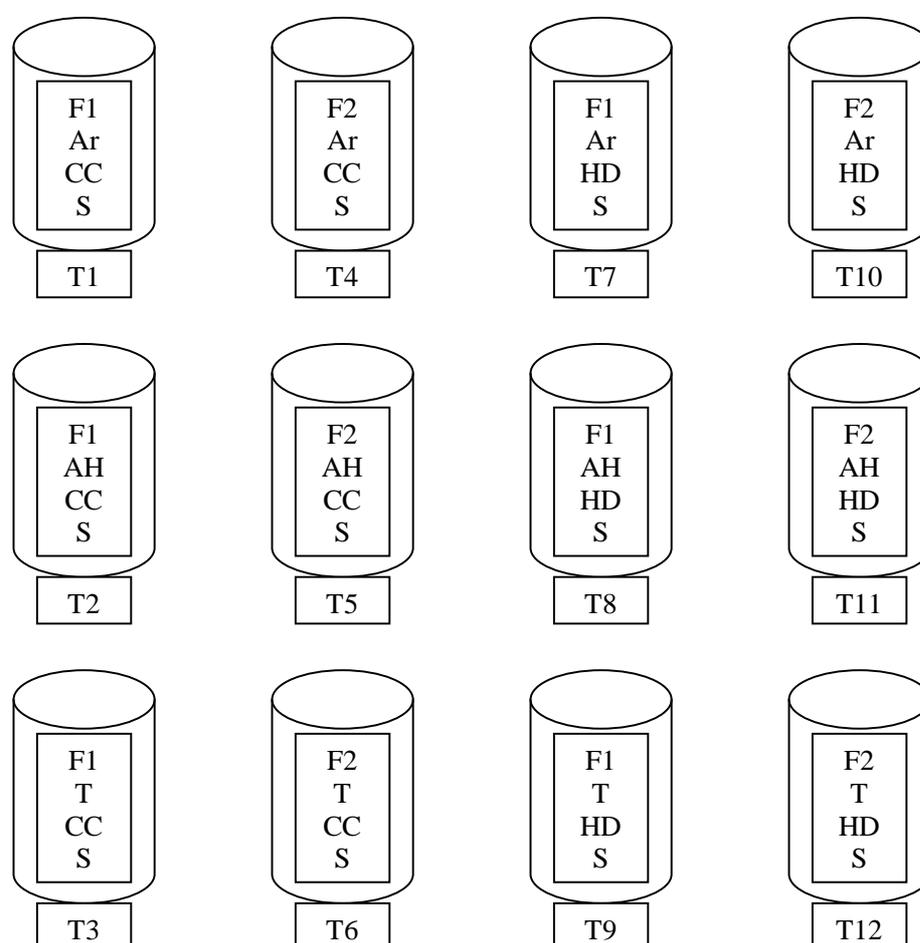
<b>Trat.</b>	<b>Distribución</b>
<b>T1</b>	404.43 kg de Nitrato de Amonio + 2000 t ha-1 zeolita + suelo; bajo condiciones de capacidad de campo.
<b>T2</b>	404.43 kg de Nitrato de Amonio + 2 kg ha-1 ácidos húmicos + suelo; bajo condiciones de capacidad de campo.
<b>T3</b>	9.257 gr de Nitrato de Amonio + 7.36 kg suelo; bajo condiciones de capacidad de campo.
<b>T4</b>	448.62 lt. de Fertigro N + 2000 t ha-1 zeolita + suelo; bajo condiciones de capacidad de campo.
<b>T5</b>	448.62 lt de Fertigro N + 2 kg ha-1 ácidos húmicos + suelo; bajo condiciones de capacidad de campo.
<b>T6</b>	9.96 ml de Fertigro N + 7.36 kg suelo; bajo condiciones de capacidad de campo.
<b>T7</b>	404.43 kg de Nitrato de Amonio + 2000 t ha-1 zeolita + suelo; bajo condiciones de humedad disponible.
<b>T8</b>	404.43 kg de Nitrato de Amonio + 2 kg ha-1 ácidos húmicos + suelo; bajo condiciones de humedad disponible.
<b>T9</b>	4.218 gr de Nitrato de Amonio + 7.36 kg suelo; condiciones de humedad disponible.
<b>T10</b>	448.62 lt de Fertigro N + 2000 t ha-1 zeolita + suelo; bajo condiciones de humedad disponible.
<b>T11</b>	448.62 lt de Fertigro N + 2 kg ha-1 ácidos húmicos + suelo; bajo condiciones de humedad disponible.
<b>T12</b>	4.54 ml de Fertigro N + 7.36 kg suelo; bajo condiciones de humedad disponible

### 3.2.2 Características de las unidades experimentales.

Fueron 12 tratamientos de los cuales 4 son testigos; con tres repeticiones cada uno, formando un total de 36 unidades experimentales; los primeros 6 tratamientos se manejaron con una humedad a CC y los 6 restantes fueron a HD. De los 6 primeros tratamientos el 3 y 6 son testigos (a CC) y de los otros tratamientos 9 y 12 son los otros testigos (a HD)

Nota: a los testigos se les aplico diferentes dosis de Nitrato de amonio y vértigo

**Figura 8.** Distribución de de las unidades experimentales.



### 3.2.3 Identificación y concentración:

**Cuadro 2.** Identificación y concentración

<b>Identificación</b>	<b>Concentración</b>
Ácidos húmicos H- 85	2 Kg. / ha <sup>-1</sup>
Arcilla = zeolita	2000 ton / ha <sup>-1</sup>
F1 = Nitrato de amonio (solido)	600 ppm en 2 aplicaciones de 300ppm
F2 = Fertigro N (liquido)	600 ppm en 2 aplicaciones de 300ppm
CC = Capacidad de Campo	
HD = Humedad disponible	
S = suelo (7.36 Kg)	
T = Testigo	

**Cuadro 3.** Descripción de solución y dosis de fertilizantes utilizados.

<b>Total nitratos (ppm)</b>	<b>Condición</b>	<b>Producto</b>	<b>Fertilizante</b>
600	Capacidad de Campo	Nitrato de Amonio	404.43 kg
600	Humedad disponible	Nitrato de amonio	404.43 kg
600	Capacidad de Campo	Fertigro N	448.62 lt
600	Humedad disponible	Fertigro N	448.62 lt

### **3.2.4 Parámetros de evaluación**

#### **Arcilla**

Se obtuvo en el laboratorio de física de suelos en el departamento de ciencias del suelo mediante el método de hidrómetro de Bouyoucos.

#### **M.O.**

Se empleó una técnica en la que la relación de  $K_2Cr_2O_7$  con  $H_2SO_4$  orgánica la formación de un agente oxidante fuerte, ácido crómico que oxida el carbono de la materia orgánica para convertirlo en  $CO_2$ . La reacción química causa un color verde directamente dependiente de la de la cantidad de materia orgánica del suelo.

#### **Capacidad de Intercambio Catiónico**

Estos datos se obtuvieron mediante el por ciento de materia Orgánica y el por ciento de Arcilla, con la siguiente fórmula.

$$CIC = (\%M.O * 0.5) + (\%Arcilla * 2)$$

#### **Nitratos $NO_3$**

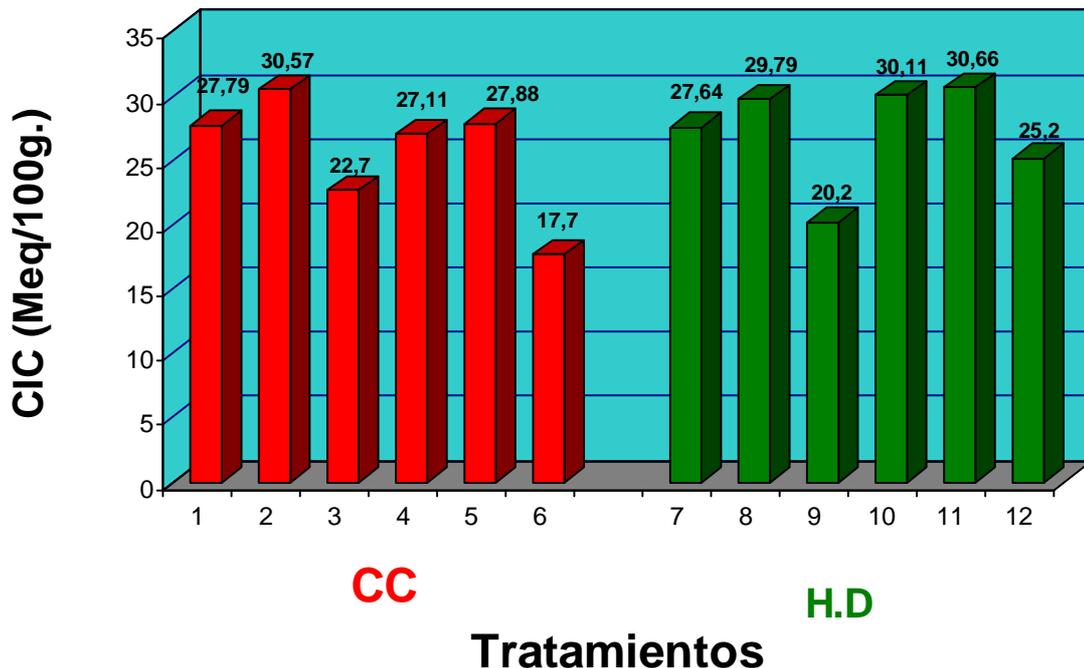
Los análisis se realizaron en A & L Southern Agricultural Laboratories, Inc., Florida, EUA.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

##### 4.1 comportamiento de la CIC en los niveles de humedad

En la grafica 1 se muestran 6 tratamientos a CC con una repetición cada una a HD (sumando 12 trat.); por lógica la diferencia es la humedad. Se ve el comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en todos los tratamientos. El T2 y T11 son superiores a todos los tratamientos, pero si analizamos detalladamente el mejor tratamiento es el T2 (30.57) y su repetición T8 (29.79) por que la variación es mínima a comparación de T11 (30.66) y su repetición T5 (27.88) ya que en ellos interviene mas la Humedad.

Podemos decir que el T2 y el T8 ( con los ácidos humitos) superaron a los testigos en los dos niveles de de humedad; seguidos de los tratamientos que contenían las arcillas T5 (25.88) y T11 (30.66) que también rebasaron a los testigos T3 y T9.

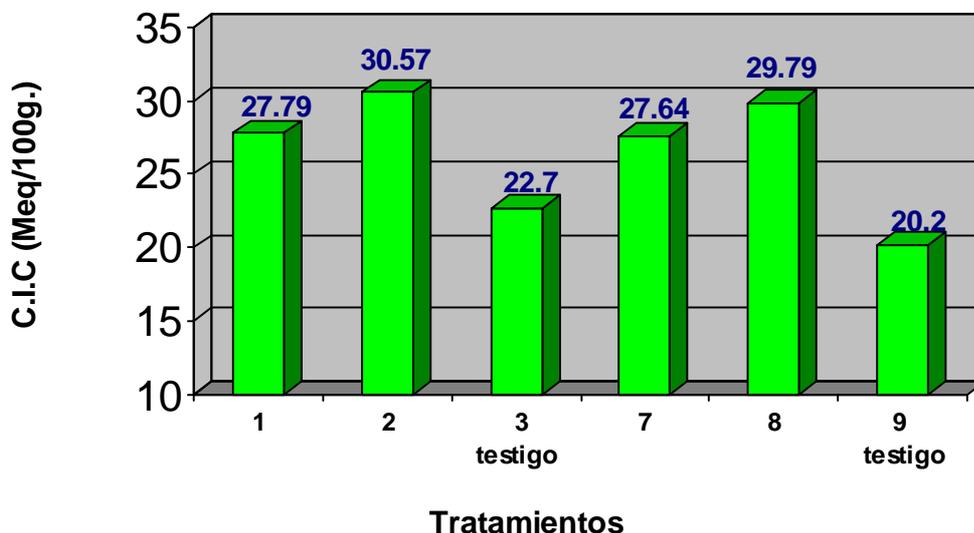


**Grafica 1.** Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los tratamientos

#### 4.2 Como influye las sales ( $\text{NO}_3^-$ ) en la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

En la grafica 2 podemos observar que las variables dependientes (tratamientos) tienen respuestas diferentes al comportamiento de la variable independiente (CIC)

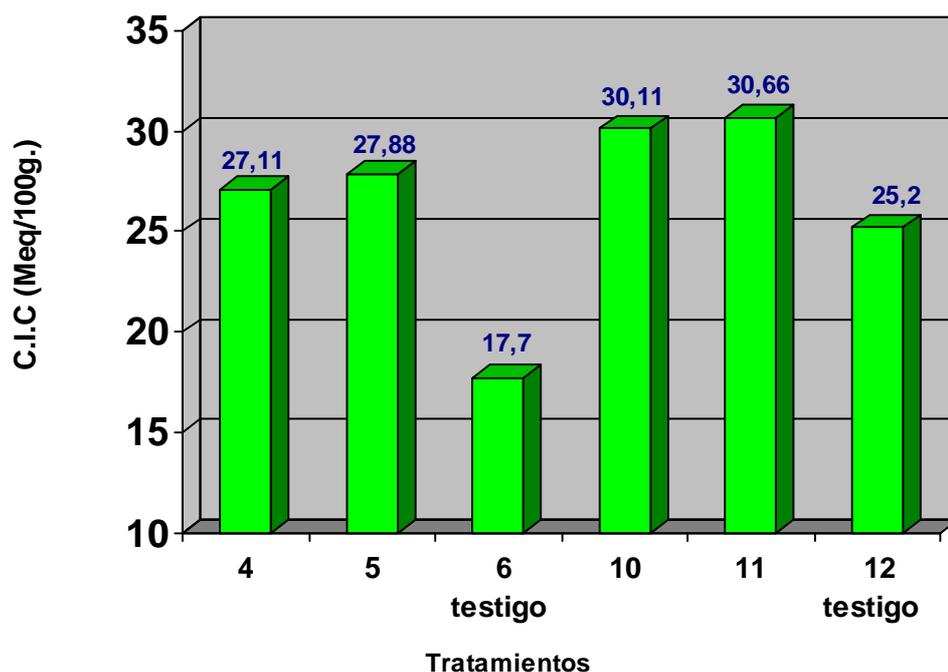
Aquí se grafican los tratamientos que se les aplicó Nitrato de Amonio para observar que tanto influye los Nitratos en la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Como podemos ver en la grafica 2 todos los tratamientos superan a los testigos; pero el T2 es el que más alto tiene su CIC con 30.57 Meq/100 gr. seguido del T8 con 29.79. Si nos damos cuentas son los mismos tratamientos que mejor se comportaron en la grafica 1. Esto se debe a que T2 Y T8 aparte de tener  $\text{NO}_3^-$  contienen los Ácidos Húmicos mientras que T1 y T7 también contienen  $\text{NO}_3^-$  pero con arcillas. También podemos decir que los nitratos reaccionan mejor con los Ácidos Húmicos que con las arcillas por que no tiene ninguna reacción antagónica (no importándoles la humedad), al contrario reaccionan muy bien.



**Grafica 2.** Comportamiento de la capacidad de intercambio cationico (CIC) en los tratamientos con  $\text{NO}_3^-$  a H.D

### 4.3 Como influye el fertilizante (FN) en la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

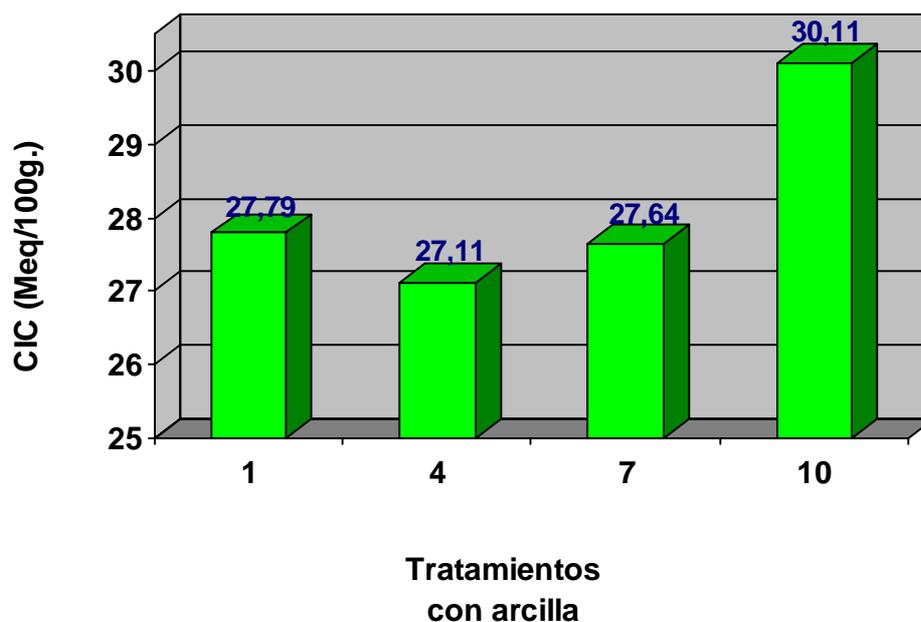
El comportamiento de los tratamientos a los que se les aplicó fertilizante, se muestra en la gráfica 3. De igual manera todos los tratamientos superaron a los testigos, pero el más alto en capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue el T11 (30.66) a diferencia del T6 (testigo CC) que fue el testigo más bajo (17.7) a diferencia del testigo que estuvo a HD que fue de 25.2 Meq/100 gr. pero ninguno de los dos testigos superan a los demás tratamientos; esto quiere decir que los fertilizantes en HD si aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC).



**Grafica 3.** Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los trat. con fertilizante (NF)

#### 4.4 Como influyen las arcillas en la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Como se puede observar en la grafica 4. Se encuentran los tratamientos que se les aplico arcilla tanto en CC y HD, los tratamientos T1 y T7 tiene las mismas dosificaciones solo diferencian en la humedad; al igual que T7 y T10. El T10 (30.11) fue el mas alto en cuanto a la capacidad de intercambio catiónico CIC que todos los demás tratamientos siendo el T4 (27.11) el valor mas bajo; a pesar que T10 y T4 tiene las mismas dosis hay una gran diferencia debido al la humedad. Podemos decir que las arcillas en un suelo a HD aumentan la capacidad de intercambio catiónico (CIC).



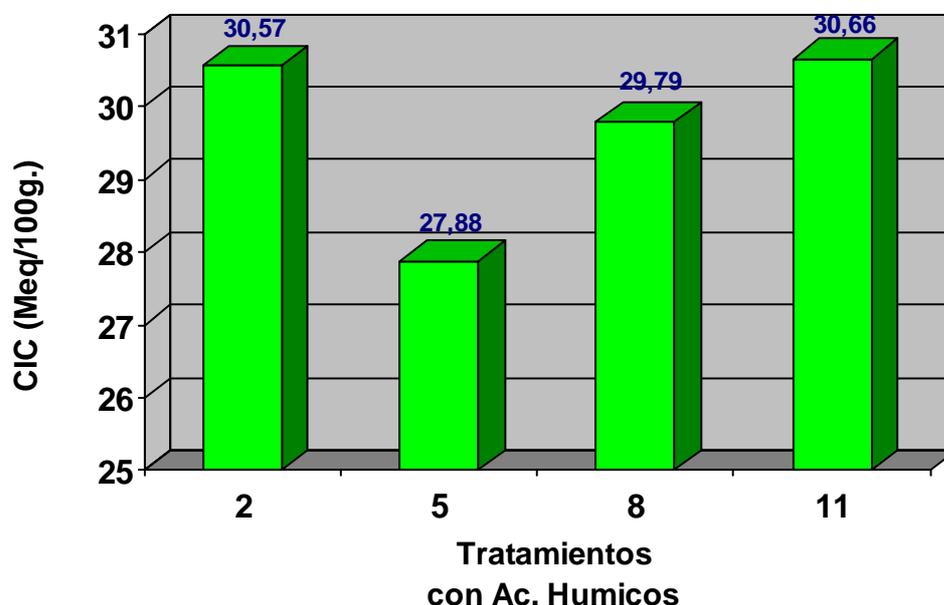
**Grafica 4.** Respuesta de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) con los comportamientos de los tratamientos que se les aplico arcilla

#### 4.5 Como influyen los A. Húmicos en la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Los tratamientos (2, 5, 8,11) fueron los que se les aplicó Ácidos Húmicos al igual que los anteriores; están dos tratamientos iguales pero con la diferencia de que uno está a CC y el otro a HD; en este caso T2 (CC) y T8 (HD) tienen las mismas aplicaciones o dosificaciones al igual que T5 (CC) y T11 (HD).

Como podemos distinguir en la gráfica 5 el T11 fue el que tuvo mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC) (30.66) a diferencia del T5 que fue el de menor cantidad (27.88) esto se debe a que los Ácidos Húmicos aumentan la capacidad de intercambio catiónico en un suelo que se encuentra a HD; claramente nos los indica el T5 quien teniendo las mismas aplicaciones que el T11 fue el de menor CIC.

Por ejemplo el T2 y T8 tienen diferencias en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) a pesar de tener las mismas dosificaciones, esto se debe a que tiene diferentes niveles de humedad.



**Grafica 5.** Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los tratamientos que se les aplicó Ácidos Húmicos (H-85).

#### 4.6. ANALISIS DE VARIANZA.

En el análisis de varianza (ANVA) se muestran las diferencias e interacciones que existen entre humedad (A), fertilizantes (B) y arcilla (C) que se les aplico al suelo; en el factor A si hay significancia ( $P < 0.5$ ) por que un suelo a CC no hay movimiento y en un suelo a HD si hay movimiento del agua, en la interacción AXC no existe significancia ( $P > 0.5$ ) por que no interactúan; sin embargo la interacción de los fertilizantes con la humedad (AXB) interactúan lo que es lógico dado el aspecto de la solubilidad o presencia de humedad, y en la interacción de AXBXC en conjunto no existe significancia ( $P > 0.5$ ) por que no interactúan, tal como se muestra en el cuadro 4.

**Cuadro 4. Análisis de varianza.**

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Bloques	2	0.084961	0.042480	0.0896	0.918
Factor A	1	0.871094	0.871094	1.8382	0.309
Error A	2	0.947754	0.473877		
Factor B	1	0.000000	0.000000	0.0000	1.000
A X B	1	1.836914	1.836914	1.2064	0.335
Error B	4	6.090332	1.522583		
Factor C	1	1.496582	1.496582	1.8203	0.213
A X C	1	0.038574	0.038574	0.0469	0.828
B X C	1	0.446289	0.446289	0.5428	0.512
A X B X C	1	0.013184	0.013184	0.0160	0.898
Error C	8	6.577148	0.822144		
Total	23	18.402832			

C.V. <ERROR> = 5.0158 %

#### 4.7. PRUEBA DE TUKEY

Al detectar diferencia significativa en el análisis de varianza ( $P < 0.05$ ), se realizó a continuación la prueba de TUKEY ( $\alpha = 0.05$ ) el cual se puede apreciar en el cuadro 5. El tratamiento que mejor comportamiento obtuvo fue el T11 con 10.22; sin embargo fue estadísticamente similar ( $P > 0.05$ ) a los T2, T10, T8, T5, T1, T7, T4 y T12; también se observó que fue estadísticamente diferente ( $P < 0.05$ ) a los tratamientos T3, T9 y T6 y el que tuvo menor comportamiento fue el T6 con 5.9000.

**Cuadro 5. Prueba de Tukey**

<b>11</b>	<b>10.2200</b>	<b>A</b>
<b>2</b>	<b>10.1900</b>	<b>AB</b>
<b>10</b>	<b>10.0367</b>	<b>AB</b>
<b>8</b>	<b>9.9300</b>	<b>AB</b>
<b>5</b>	<b>9.2933</b>	<b>ABC</b>
<b>1</b>	<b>9.2633</b>	<b>ABC</b>
<b>7</b>	<b>9.2133</b>	<b>ABC</b>
<b>4</b>	<b>9.0367</b>	<b>ABC</b>
<b>12</b>	<b>8.4000</b>	<b>ABCD</b>
<b>3</b>	<b>7.5667</b>	<b>BCD</b>
<b>9</b>	<b>6.7333</b>	<b>CD</b>
<b>6</b>	<b>5.9000</b>	<b>D</b>

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 2.6467

## V. CONCLUSIONES.

Considerando los objetivos, las hipótesis planteadas y los resultados obtenidos en el presente estudio, se concluye lo siguiente:

1.- En el presente estudio se cumplieron satisfactoriamente con los objetivos planteados; obtener información de que tanto puede aumentar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) al agregar un coloide al suelo como (se muestra en la grafica 4 y 5) y así mismo promover la utilización de coloides para mejorar la fertilidad de los suelos.

2.- Retomando el análisis de varianza se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.5$ ) en todas las variables de estudio, ya que la capacidad de intercambio cationico en los tratamientos que se les aplico fertilizantes, arcillas y diferente nivel de humedad son diferentes.

3.- De acuerdo al análisis de varianza que se muestra en el cuadro 4, el coeficiente de variación obtenido fue de 5.0158 por ciento, el cual es muy aceptable acorde a este tipo de investigaciones.

4.- De acuerdo a los objetivos e hipótesis planteados se comprueba que:

- a) El contenido y el tipo de arcillas aumentan la capacidad de intercambio Catiónico (CIC) en un suelo.
- b) El contenido de Materia Orgánica interviene en el incremento de la capacidad de intercambio catiónico.

c) A humedad disponible junto con la arcilla y contenido de materia orgánica incrementan la CIC (como se muestra en la grafica 4 y 5), ya que en estas condiciones el agua tiene movimiento

5. También se concluye que el contenido de arcilla, fertilizantes y humedad se debe considerar independiente.

6. Retomando la prueba de Tukey nos dice que el tratamiento con mejor significancia fue el tratamiento once (T11) con 10.2200 a comparación del tratamiento seis (T6) quien fue el de menor significancia con 5.9000, diciendo que los A. Húmicos (H-85) mas fertilizante (Fertigro N) en condiciones de humedad disponible aumenta significativamente la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC); superando a los demás tratamientos

## VI. BIBLIOGRAFIA

**James, W. Mc Bain**, Ciencias de los Coloides; Física, Química y Técnica, Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona. C. Enrique Granados, 45. MCMLVI.

**Cepeda, D. J. M. (1985)**. Química de suelos. 2da. Edición. Editorial trillas. México.

**Narro Farias, Eduardo (1994)** Física de Suelos con enfoque agrícola primera Editorial Trillas: México

**Cochran, William Gemmell**. Diseños experimentales. -- 2ª ed. -- México: Trillas 1990

**Bernard Ostle. (1974)** Estadística Aplicada; técnicas de la estadística moderna, cuando y donde aplicarlas. Editorial Limusa México 1974.

**C. E. Millar**. Fertilidad del Suelo; Colección Agrícola Salvat.

**E. A. FitzPatrick (1985)**. Suelos, su formación, Clasificación y Distribución; compañía editorial continental, S.A DE C.V; México.

**E. A. FitzPatrick (1996)**. Introducción a la Ciencia de los Suelos; editorial Trillas, 1996

**S. W. Buol. - F.D.Hole – R.J. Mc Cracken (1990)**. Génesis y Clasificación de Suelos – 2ª edición—México: Trillas.

**Harry O. Buckman y Nyle C. Brady (1977)**. Naturaleza y Propiedades de los suelos; Montaner y Simón Barcelona; primera edición.

**Aleksandrova, I.V. (1994).** Interactions of Structural units and the Strength of their Fixation in molecules of humic – like substances. Eurasian Soil Science.

**Bave, I. D., W.H. Gardner y W.R. Gardner, (1980)** Física de Suelos Editorial UTEHA, México. Pág. 196 – 204.

**Bohn Hinrich L., (1993),** Química del Suelo, 1ra Edición, Editorial Limusa.

**Cepeda, D. J. M. (1985).** Química de Suelos. 2da. Edición. Ed. Trillas. México.

**Chen y and Aviad. (1990).** Effects of humic substances on plant growth; contribution from seagram center of soil and water science. In “humic substances in soil crop sciences: Selected readings”, MacCarthy, C.E.; R.L. Clapp; Malcon and P.R. Bloom (Eds) Sci. 1990. Soc. Am. Inc., Madison Wisconsin, U.S.A. P 161-182.

**Cruz, M. J. M. (2001).** Ácidos húmicos y fulvicos en papa (*Solanum tuberosum* L.) en la sierra de Arteaga, Coahuila, Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista Saltillo, Coahuila, México.

**De La Cruz, C. Y. (1992).** Fertilizante Arrancador y Ácidos Húmicos en el Cultivo de Melón (*Cucumis melo* L.). Tesis de licenciatura. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

**DEAQ (Diccionario de Especialidades Agroquímicas). 2000.** Editorial PLM, S. A de C.V. Edición No. 10. Pp. 506.

**Tamhane, R.V. (1996).** Suelos: Su Química y Fertilidad en Zonas Tropicales. 1ra Edición. Editorial Diana.

**Thamane, R. V. D.P Motiramani y Y. P Bali (1983),** Suelos: su química y Fertilidad en Zonas tropicales, Editorial Diana. México.

## VII. ANEXOS

Parámetro: Materia Orgánica (%)

Tratamientos	Repeticiones	Humedad	Fertilizante	Mejorador	Profundidad	Bloque
1	1	CC	Q	Ar	A	2,72
	2	CC	Q	Ar	B	2,78
	3	CC	Q	Ar	C	2,72
2	1	CC	Q	AH	A	3,06
	2	CC	Q	AH	B	2,72
	3	CC	Q	AH	C	2,58
3	1	CC	Q	T	A	2,78
	2	CC	Q	T	B	1,9
	3	CC	Q	T	C	2,72
4	1	CC	O	Ar	A	2,58
	2	CC	O	Ar	B	2,72
	3	CC	O	Ar	C	2,58
5	1	CC	O	AH	A	2,85
	2	CC	O	AH	B	3,12
	3	CC	O	AH	C	2,92
6	1	CC	O	T	A	3,19
	2	CC	O	T	B	3,06
	3	CC	O	T	C	3,12
7	1	HD	Q	Ar	A	2,99
	2	HD	Q	Ar	B	2,72
	3	HD	Q	Ar	C	3,06
8	1	HD	Q	AH	A	2,92
	2	HD	Q	AH	B	3,06
	3	HD	Q	AH	C	3,06
9	1	HD	Q	T	A	3,06
	2	HD	Q	T	B	3,06
	3	HD	Q	T	C	3,12
10	1	HD	O	Ar	A	3,06
	2	HD	O	Ar	B	3,33
	3	HD	O	Ar	C	2,99
11	1	HD	O	AH	A	3,12
	2	HD	O	AH	B	2,92
	3	HD	O	AH	C	2,99
12	1	HD	O	T	A	2,92
	2	HD	O	T	B	2,85
	3	HD	O	T	C	3,12

104,47

Parámetro: Arcilla (%)

Tratamientos	Repetición	Humedad	Fertilizante	Mejorador	Profundidad	Bloque
1	1	CC	Q	Ar	A	8,4
	2	CC	Q	Ar	B	5,9
	3	CC	Q	Ar	C	8,4
2	1	CC	Q	AH	A	8,4
	2	CC	Q	AH	B	8,4
	3	CC	Q	AH	C	10,9
3	1	CC	Q	T	A	8,4
	2	CC	Q	T	B	5,9
	3	CC	Q	T	C	8,4
4	1	CC	O	Ar	A	8,4
	2	CC	O	Ar	B	8,4
	3	CC	O	Ar	C	5,9
5	1	CC	O	AH	A	5,9
	2	CC	O	AH	B	5,9
	3	CC	O	AH	C	8,4
6	1	CC	O	T	A	5,9
	2	CC	O	T	B	3,4
	3	CC	O	T	C	8,4
7	1	HD	Q	Ar	A	5,9
	2	HD	Q	Ar	B	8,4
	3	HD	Q	Ar	C	5,9
8	1	HD	Q	AH	A	8,4
	2	HD	Q	AH	B	10,9
	3	HD	Q	AH	C	3,4
9	1	HD	Q	T	A	5,9
	2	HD	Q	T	B	5,9
	3	HD	Q	T	C	8,4
10	1	HD	O	Ar	A	5,9
	2	HD	O	Ar	B	5,9
	3	HD	O	Ar	C	10,9
11	1	HD	O	AH	A	8,4
	2	HD	O	AH	B	8,4
	3	HD	O	AH	C	8,4
12	1	HD	O	T	A	5,9
	2	HD	O	T	B	8,4
	3	HD	O	T	C	10,9

269,9

Relación de la humedad / capacidad intercambio Catiónico a capacidad de campo  
(Con profundidad de 0-30 cm.)

Trat.	R1	R2	R3	Total	media
1	9,64	8,51	9,64	27,79	9,26333333
2	10,32	9,64	10,61	30,57	10,19
3	8,4	5,9	8,4	22,7	7,56666667
4	9,36	9,64	8,11	27,11	9,03666667
5	8,65	9,19	10,04	27,88	9,29333333
6	5,9	3,4	8,4	17,7	5,9
TOTAL				153,75	51,25

Relación de la humedad / capacidad intercambio Catiónico a humedad disponible  
(con profundidad de 0-30 cm.)

Trat.	R1	R2	R3	Total	media
7	8,93	9,64	9,07	27,64	9,21333333
8	10,4	11,57	7,82	29,79	9,93
9	5,9	5,9	8,4	20,2	6,73333333
10	9,07	9,61	11,43	30,11	10,03666667
11	10,44	10,04	10,18	30,66	10,22
12	5,9	8,4	10,9	25,2	8,4
TOTAL				163,6	54,53333333

### Como influye las sales ( $\text{NO}_3^-$ ) en la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Trata.	R1	R2	R3	Total	$\bar{X}$
1	9,64	8,51	9,64	27,79	9,26333333
2	10,32	9,64	10,61	30,57	10,19
3	8,4	5,9	8,4	22,7	7,56666667
7	8,93	9,64	9,07	27,64	9,21333333
8	10,4	11,57	7,82	29,79	9,93
9	5,9	5,9	8,4	20,2	6,73333333
Total				158,69	52,89666666

**Como influye el fertilizante (FN) en la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

Trata.	R1	R2	R3	Total	$\bar{X}$
4	9,36	9,64	8,11	27,11	9,036666667
5	8,65	9,19	10,04	27,88	9,293333333
6	5,9	3,4	8,4	17,7	5,9
10	9,07	9,61	11,43	30,11	10,03666667
11	10,44	10,04	10,18	30,66	10,22
12	5,9	8,4	10,9	25,2	8,4
Total				158,66	52,88666667

**Como influye las arcillas en la capacidad de intercambio Catiónico (CIC)**

Trata.	R1	R2	R3	Total	$\bar{X}$
1	9,64	8,51	9,64	27,79	9,263333333
4	9,36	9,64	8,11	27,11	9,036666667
7	8,93	9,64	9,07	27,64	9,213333333
10	9,07	9,61	11,43	30,11	10,03666667
Total				112,65	37,550000003

**Como influyen los Ac. Húmicos en la capacidad de intercambio Catiónico (CIC)**

Trata.	R1	R2	R3	Total	$\bar{X}$
2	10,32	9,64	10,61	30,57	10,19
5	8,65	9,19	10,04	27,88	9,2933333333
8	10,4	11,57	7,82	29,79	9,93
11	10,44	10,04	10,18	30,66	10,22
Total				118,9	39,6333333333

**CUADRO 4. ANALISIS DE VARIANZA.**

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Bloques	2	0.084961	0.042480	0.0896	0.918
Factor A	1	0.871094	0.871094	1.8382	0.309
Error A	2	0.947754	0.473877		
Factor B	1	0.000000	0.000000	0.0000	1.000
A X B	1	1.836914	1.836914	1.2064	0.335
Error B	4	6.090332	1.522583		
Factor C	1	1.496582	1.496582	1.8203	0.213
A X C	1	0.038574	0.038574	0.0469	0.828
B X C	1	0.446289	0.446289	0.5428	0.512
A X B X C	1	0.013184	0.013184	0.0160	0.898
Error C	8	6.577148	0.822144		
Total	23	18.402832			

C.V. <ERROR> = 5.0158 %

### PRUEBA DE TUKEY

<b>11</b>	<b>10.2200</b>	<b>A</b>
<b>2</b>	<b>10.1900</b>	<b>AB</b>
<b>10</b>	<b>10.0367</b>	<b>AB</b>
<b>8</b>	<b>9.9300</b>	<b>AB</b>
<b>5</b>	<b>9.2933</b>	<b>ABC</b>
<b>1</b>	<b>9.2633</b>	<b>ABC</b>
<b>7</b>	<b>9.2133</b>	<b>ABC</b>
<b>4</b>	<b>9.0367</b>	<b>ABC</b>
<b>12</b>	<b>8.4000</b>	<b>ABCD</b>
<b>3</b>	<b>7.5667</b>	<b>BCD</b>
<b>9</b>	<b>6.7333</b>	<b>CD</b>
<b>6</b>	<b>5.9000</b>	<b>D</b>

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 2.6467

VALORES DE TABLAS <0.05>, <0.01> = 5.13, 6.16

### PRUEBA DE TUKEY

11	10.2200	A
2	10.1900	A
10	10.0367	A
8	9.9300	A
5	9.2933	AB
1	9.2633	AB
7	9.2133	AB
4	9.0367	ABC
12	8.4000	ABC
3	7.5667	ABC
9	6.7333	BC
6	5.9000	C

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 01

TUKEY = 3.1787

VALORES DE TABLAS <0.05>, <0.01> = 5.13, 6.16