

# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

FACULTAD DE AGRICULTURA



ESCUELA DE AGRICULTURA  
BIBLIOTECA

Determinación de un Modelo Matemático para Estimar  
Capacidad de Intercambio Catiónico.

## TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO  
ZOOCTENISTA

P R E S E N T A :  
HECTOR ARMANDO PEREZ BRAMBILA

Guadalajara, Jalisco. 1985



**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**

Facultad de Agricultura

Expediente .....

Número .....

Febrero 19, 1985.

ING. ANDRES RODRIGUEZ GARCIA  
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRICULTURA  
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA.  
PRESENTE.

Habiendo sido revisada la Tesis del PASANTE \_\_\_\_\_

HECTOR ARMANDO PEREZ BRAMBILA titulada,

"DETERMINACION DE UN MODELO MATEMATICO PARA ESTIMAR CAPACIDAD DE IN  
TERCAMBIO CATIONICO."

Damos nuestra aprobación para la impresión de la  
misma.

DIRECTOR.

Q.F.B. ANGEL PEREZ ZAMORA



ESCUELA DE AGRICULTURA

ASESOR. BIBLIOTECA

ASESOR.

ING. RAMON CEJA RAMIREZ.

ING. M.C. HUGO MORENO GARCIA.

hlg.

Al contestar este oficio sírvase citar fecha y número

## Indice

Contenido.	Página
Introducción	1
Importancia del estudio	1
Objetivo	2
Revisión de literatura	3
Capacidad de intercambio catiónico	3
Definición	3
Importancia	4
Determinación	5
Materia Orgánica	7
Definición	7
Importancia	7
Determinación	8
Efecto sobre la capacidad de intercambio catiónico	9
Arcillas	10
Definición	10
Importancia	11
Determinación	11
Efecto sobre la capacidad de intercambio catiónico	12
Modelos matemáticos	14
Definición	14
Importancia	14
Materiales y métodos	15
Procedimiento experimental	15-24
Resultados	25-39
Discusión	40
Conclusiones	42
Resumen	43
Bibliografía	45-46



ESCUELA DE AGRICULTURA  
BIBLIOTECA

## CONTENIDO



ESCUELA DE AGRICULTURA  
BIBLIOTECA

### 1.- Introducción.

#### 1.1.- Importancia del Estudio.

Teniendo en cuenta que la capacidad de intercambio catiónico es una de las propiedades físico-químicas del suelo con mayor influencia sobre un gran número de características como lo son:

La estructura, la actividad biológica, el régimen hídrico y gaseoso, la reacción y su formación. (Fassbender, 1975).

Se tomaron para este estudio dos componentes del suelo que guardan relación directa con la capacidad de intercambio catiónico como lo son la arcilla y la materia orgánica.

Estos factores funcionan como cambiadores y al ser incluidos en los modelos de regresión lineal simple y de regresión múltiple, nos darán como resultado datos confiables sobre la capacidad de intercambio catiónico de cualquier tipo de suelo en estudio.

Al obtener los datos del porcentaje de arcilla y del porcentaje de materia orgánica de un suelo resulta sumamente fácil conocer la capacidad de intercambio catiónico del suelo en cuestión al sustituir ambos datos en los modelos matemáticos.

Considerando la importancia de la capacidad de intercambio catiónico es imperativo el contar con una forma rápida y confiable para su estimación como lo son los modelos matemáticos.

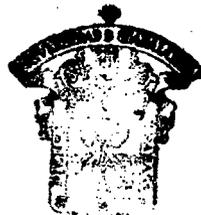
La capacidad de intercambio catiónico puede ser estimada por

métodos de laboratorio o bien puede estimarse por medio de modelos matemáticos en los que se incluyen los principales factores que afectan directamente dicha capacidad.

Conociendo que una predicción significativa permitiría ahorrar el tiempo y el dinero necesarios para la determinación en laboratorio, en este estudio se plantea la importancia de la obtención de un modelo matemático para estimar la capacidad de intercambio cationico.

### 1.2 Objetivo.

Con la realización del presente estudio se pretende obtener un modelo matemático que permita estimar y predecir de manera confiable la capacidad de intercambio cationico, en función de los contenidos de arcilla y materia orgánica de cualquier tipo de suelo.



**ESCUELA DE AGRICULTURA**  
**BIBLIOTECA**

## 2.- Revisión de literatura.

### 2.1.- Capacidad de intercambio cationico.

#### 2.1.1.- Definición.

La capacidad de intercambio cationico es un concepto arbitrariamente definido. Las definiciones más comunes se basan en la determinación de la cantidad de iones simples, tales como sodio, amonio, calcio o bario.

Que en un suelo puede retener cuando la solución salina de ordinario tamponada a PH 7 lixivía a través del suelo.

(Russell, 1968).

Según Millar y Turk (1972) la capacidad de intercambio cationico es una expresión del número de sitios de adsorción de caciones por unidad de peso del suelo.

Ellos definen la capacidad de intercambio cationico como la suma total de cationes intercambiables adsorbidos, expresados en miliequivalentes por 100 gramos de suelo secado en horno.

Fassbender, H.W. (1975) define la capacidad de intercambio cationico como los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la fase acuosa, - desadsorben al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes y establecen un equilibrio entre ambas fases.

Vufera (1973) expresa la capacidad de intercambio cationico - de los suelos como la cantidad de cationes que pueden colocar se en posiciones de intercambio, expresada en miliequivalentes por 100 gramos de suelo.



### 2.1.2.- Importancia.

Cajuste (1977) establece que la capacidad de intercambio catiónico es extremadamente importante para el desarrollo de las plantas especialmente en regiones húmedas las razones principales son las siguientes:

1) La carga de la materia orgánica retiene cationes solubles - en agua, que así pueden resistir el fenómeno de lixiviación pero como carecen de cohesión suficiente, pueden ser sustituidos por otros cationes tornándose entonces aprovechables por las plantas.

2) La carga responsable de la capacidad de intercambio catiónico depende parcialmente del PH, y es responsable también de la mayoría de las acciones reguladoras del suelo, sobre todo en suelos no calcáreos.

Para Fassbender (1975) su importancia radica en la influencia que ejerce sobre una gran cantidad de características como lo son: La estructura, la reacción, la actividad biológica, etc. Así también basa su importancia en los factores que en ella influyen como son:

Composición de la solución externa.

Concentración de la solución intermicelar.

Selectividad del complejo de cambio.

Reacción del suelo.

Tamaño e hidratación de los iones.

Valencia de los iones.

Ortiz Villanueva (1980) reporta que cuando los cationes intercambiables están en equilibrio con los cationes en solución. - Si los cationes de la solución del suelo son adsorbidos por las plantas, la reacción anterior cambia a la derecha para re-

-novar el abastecimiento.

De este modo los cationes intercambiables son una fuente importante de nutrientes para las plantas..

### 2.1.3.- Determinación.

Entre los métodos existentes para la determinación de la capacidad de intercambio cationico de los suelos, el más simple es la saturación con acetato amónico que consiste en lo siguiente:

Procedimiento:

Se toman 100 gramos de suelo, de humedad conocida, se colocan en una columna y se pasa acetato amónico a través del lecho, el acetato amónico satura el suelo con iones de amonio, que desplazan a otros cationes, incluso al hidrógeno el líquido eluido se recoge en un matraz y contiene los iones potasio, calcio, sodio, etc. En forma de acetatos evaporando y calcinando este último residuo se obtiene los óxidos correspondientes, los cuales se pueden valorar con ácido clorhídrico, obteniéndose así los miliequivalentes que había fijados en el suelo, estos miliequivalentes corresponden a cationes metálicos intercambiables para determinar la capacidad de intercambio cationico se lava la columna de suelo con agua, eliminando así el acetato amónico en exceso, se pasa la tierra a un matraz, se alcaliniza con hidróxido de magnesio y se calienta, recogiendo el amoniaco liberado sobre ácido clorhídrico valorado. El exceso de ácido se valora con hidróxido sódico la cantidad de ácido que reaccionó con el amoniaco equivale a los miliequivalentes de la capacidad de intercambio cationico del suelo, (Yufera, - 1973).

La determinación de la capacidad de intercambio cationico generalmente comprende cuatras etapas. (Chapman, 1965, Jackson, -- 1958; Aguilera, 1962; Ortega, 1968).

- 1.- Saturación de los sitios de intercambio con una solución reguladora que posea un catión determinado.
- 2.- Eliminación del exceso de sales.
- 3.- Desplazamiento con una solución salina, del catión de saturación de los sitios de intercambio.
- 4.- Determinación de la concentración del catión, desplazado (por la solución salina).

Al igual que cualquier otro procedimiento químico, la determinación de la capacidad de intercambio cationico esta condicionada por cierto número de factores que es preciso considerar en la elección del método analítico más adecuado para un grupo particular de suelos.

Entre los cationes mas usados para la determinación de la capacidad de intercambio cationico tenemos: Sodio, potasio, amonio, magnesio, calcio, bario y manganeso. Los requisitos que debe cumplir una solución para desplazar los cationes intercambiables son similares a los requisitos que debe cumplir la solución desplazante en la determinación de la capacidad de intercambio cationico. Sin embargo, la elección es más restringida, porque el catión desplazante no puede ser identico a ninguno de los cationes intercambiables que se desean cuantificar ni tampoco deberá interferir en la determinación de los cationes intercambiables.

Tomando en cuenta todos los factores se elige generalmente el amonio ( $\text{nh}_4^+$ ) como catión de desplazamiento, no obstante que existe el peligro de atrapamiento de este catión intercambiable en suelos con particulas de vermiculita de alta carga, -- del tamaño del limo. Normalmente la frecuencia o posibilidad de este atrapamiento se confina a pocos suelos. Si el amonio

intercambiable debe ser determinado en el suelo, esto se hará mediante extracciones por separado con cloruro de potasio. -- (Cajuste, 1977).

## 2.2. Materia Orgánica.

### 2.2.1.- Definición.

Según Yufera (1973) la materia orgánica es un componente coloidal del suelo, procedente de residuos de plantas y animales continuamente transformados, y del desarrollo de microorganismos que se nutren de dichos residuos.

Fassbender (1975) reporta que la materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo.

Para Cajuste (1977) el proceso de formación de la materia orgánica es básicamente, de origen biológico y en él intervienen directamente toda la fauna y flora del suelo. Principalmente bacterias y hongos.

La materia orgánica está formada básicamente por bióxido de carbono proveniente del aire, del nitrógeno del aire y del suelo, de agua y varios minerales del suelo.

Ortiz Villanueva (1980) define la materia orgánica como la sangre vital del suelo. Tiene un impacto tremendo sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo.

### 2.2.2.- Importancia.

Su importancia se basa en que es un componente coloidal del suelo el cual durante sus procesos de formación sirve como ali

-mento para las plantas. Entre otras funciones.

Los principales componentes de la materia orgánica son: carbohidratos, proteínas, grasas, alcoholes, ácidos orgánicos, ligninas, fenoles, alcaloides, auxinas, vitaminas, etc.

Su importancia radica en gran parte en las funciones que desempeña entre las que están: Reduce el impacto de las gotas de lluvia y favorece la infiltración lenta del agua.

Estabiliza la estructura del suelo.

Favorece la penetración del agua y la difusión de los gases del suelo.

Alimenta los microorganismos del suelo.

Reduce las pérdidas del suelo por la erosión eólica.

Baja la temperatura del suelo en verano y la sube en invierno.

Sirve como nutriente para las plantas.

Retiene humedad aprovechable.

Sirve de almaceñ para cationes intercambiables.

(Ortiz Villanueva, 1980).

### 2.2.3.- Determinación.

Existen varios métodos, el más antiguo se basa en el lavado acuoso, una extracción con hidróxido sódico y una precipitación con ácido clorhídrico.

Otros como en el que se utiliza bromuro de acetilo como disolvente y el que emplea éter, alcohol, ácido clorhídrico y ácido sulfúrico para la separación de las diversas fracciones.

(Vufera, 1975).

La determinación de la materia orgánica está basada en la determinación de carbono por diferentes procedimientos.

1.- Combustión seca del carbono en la cual se determina el bioxido de carbono desprendido.

2.- Combustión húmeda del carbono basada en la reducción del óxido cromico y de determinación del dicromato no reducido por titulación. (Fassbender, 1975).

El método utilizado por el laboratorio de física y química de suelos de la Facultad de Agricultura es el de combustión húmeda de Walkley-Black que consiste en lo siguiente:

Procedimiento:

- 1.- Se pesan 0.5 gramos de suelo.
- 2.- Se agrega 5 mililitros de dicromato de potasio + 10 mililitros de ácido sulfúrico y se agita.
- 3.- Se deja reposar media hora.
- 4.- Se agregan 100 mililitros de agua destilada.
- 5.- Se agrega 5 mililitros de ácido fosfórico al 85%.
- 6.- Se adiciona un indicador.
- 7.- Finalmente se titula con sulfato ferroso 0.5N y se espera cambio de color. (Vufera, 1973).

2.2.4.- Efecto sobre la capacidad de intercambio catiónico.

La materia orgánica influye sobre la capacidad de intercambio catiónico aumentándola mucho.

El efecto de la materia orgánica sobre la capacidad de intercambio catiónico se debe más que todo a los grupos funcionales carboxílicos, los fenólicos, alcohólicos y metoxílicos que se encuentran en la periferia de las moléculas de los ácidos húmicos.

(Fassbender, 1975).

La materia orgánica del suelo posee cargas que pueden contribuir en el intercambio catiónico. Estas cargas como las de las aristas, varían según sea el PH del sistema.

(Cajuste, 1977).

La materia orgánica de un suelo mineral tendrá una capacidad de intercambio catiónico de 200 miliequivalentes por 100 gramos de suelo.

La capacidad de intercambio catiónico de 100 gramos de suelo es de 2 miliequivalentes por cada 1% de materia orgánica. (Millar, 1972).

La materia orgánica coloidal posee propiedades de intercambio catiónico similares a las de las partículas de arcilla, ambos funcionan como cambiadores de la capacidad de intercambio catiónico.

(Ortiz, 1980).

### 2.3.- Arcillas.

#### 2.3.1.- Definición.

Yufera (1973) la define como un conjunto de partículas del suelo de un tamaño determinado, sin considerar, su naturaleza química.

Bruguera (1979) expresa que la arcilla es un elemento terroso formado por silicatos de aluminio hidratados, como resultado de la erosión de las rocas silíceas.

Previamente disuelta en agua y cocida a elevada temperatura, adquiere solidez y dureza.

Según Ortiz Villanueva (1980) la arcilla es un componente coloidal inorgánico del suelo cuyo tamaño es menor de 0.002 milímetros y puede originarse por una alteración y degradación físico-química de los minerales primarios o por neoformación. Con base a las propiedades cristalinas de las arcillas se han definido 3 grandes grupos de materiales silicatados:

Kaolinita, montmorillonita y micas hidratadas.

A continuación se presentan las capacidades de intercambio ca  
tionico sugeridas para el humus y los minerales arcillosos --  
más importantes.

Materiales	C.I.C. meg / 100 g
Humus	200
Vermiculita	150
Montmorillonita	100
Illita	30
Kaolinita	10

### 2.3.2.- Importancia.

Su importancia radica en que junto con los coloides orgánicos exponen de 40 a 800 m<sup>2</sup> de area superdicial por gramo y por --  
consiguiente es una de las porciones más activas del suelo --  
tanto física como químicamente.

Las propiedades del suelo tales como adherencia, plasticidad, hinchamiento, absorción de agua y carga eléctrica están estre  
chamente relacionados con el area superficial y estructura de  
la arcilla.

Las arcillas presentan una superficie específica grande, son  
por lo general de mayor carga eléctrica y de mayor capacidad  
de intercambio cationico.

(Ortiz, 1980).

### 2.3.3. Determinación.

Existen varios métodos para su determinación entre los que te  
nemos:

*Método del tacto.*- Al oprimir la muestra de suelo humedecido - previamente se nos produce un chasquido o crugido. Si hacemos un cilindro y este soporta su peso obtendremos la arcilla presente en la muestra.

Por medio de la pipeta de Robinson es de la siguiente manera: Después de eliminar la materia orgánica por oxidación y añadir un agente dispersante (metafosfato sódico) la suspensión de -- suelo se pasa por un tamiz de 0.2 milímetros a una probeta de un litro.

En el tamiz queda retenida la arena gruesa. Se deja sedimentar se introduce la pipeta de Robinson y se toma un volumen exacto de la suspensión.

El líquido extraído de la pipeta se pasa a una cápsula tarada, se deseca en estufa a 105 °C y se pasa el residuo resultante - correspondiente al % de arcilla + limo se realiza una segunda extracción a las 8 horas con la pipeta y se determina así el - % de arcilla.

Otro método utilizado es el de hidrómetro (Bouyoucos). Que consiste en observar la lectura realizada a los 40 segundos dividida por el peso de la muestra seca, nos indica la proporción de limo + arcilla por gramo de suelo, y la realizada a -- las 2 horas indica la proporción de arcilla por gramo de sue-- lo.  
(Yufera, 1973).

#### 2.3.4.- Efecto sobre la capacidad de intercambio catiónico.

El efecto de la arcilla sobre la capacidad de intercambio ca-- tiónico reside principalmente en los grupos silicato y alumina to ionizables.

Ya que en las arcillas predomina la carga permanente como fuen  
te de cargas electronegativas para la adsorción de cationes.

En la arcilla la fuente principal de la capacidad de intercambio cationico proviene de la sustitución isomórfica, aun cuando no todas las cargas que se originan por este proceso contri  
buyen a la capacidad de intercambio cationico.

La arcilla tambien funciona como cambiador, adsorbe cationes - porque los coloidesnegativos atraen cationes positivos. De i--  
gual manera, los cationes en la solución del suelo pueden reem  
plazar los cationes adsorbidos en las superficies del suelo ne  
gativamente cargadas.

(Fassbender, 1975).

## 2.4.- Modelos matemáticos.

### 2.4.1.- Definición.

Ignacio Méndez (1976) los define como modelos abstractos donde se emplean símbolos para representar conceptos.

Es un postulado matemático que trata de describir un fenómeno determinado. Este modelo puede representar el estudio de cualquier variable observable que presente variación aleatoria en sus valores; Se considera que los valores de la variable provienen de un número de valores posibles teóricamente infinito.

El modelo será satisfactorio si se ajusta más o menos a la realidad.

Vurén (1979) define los modelos matemáticos como ecuaciones o relaciones que suministran las precisiones cuantitativas del modelo en cuestión.

Así mismo afirma que representan la teoría, muestran las condiciones ideales en las que se produce un fenómeno al verificarse una ley o una teoría y, por otro lado que constituyen una muestra particular de la explicación general de la teoría.

### 2.4.1.- Importancia de los modelos matemáticos.

Su importancia radica en lo siguiente:

Trasladan problemas y situaciones del mundo real al modelo como problemas y situaciones matemáticos.

Esto se hace mediante una abstracción, así de todas las características del mundo real, se representan en el modelo aquellas que se consideran relevantes para el fenómeno en estudio. Los modelos matemáticos son sumamente útiles en el proceso de predicción inherente a toda ciencia.

Los modelos matemáticos sirven también para describir ciertos fenómenos, además determinan exactamente las relaciones entre

variables.

(Méndez, 1976).

Los modelos matemáticos son medios para comprender lo que la teoría intenta explicar, enlazan lo abstracto con lo concreto. (Yurén, 1979).

### 3.- Materiales y Métodos.

#### 3.1.- Procedimiento experimental.

Para llevar a cabo el experimento se utilizaron los siguientes factores:

1.- Datos sobre capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de arcilla y de materia orgánica, proporcionados por el Laboratorio de Agrológica de la S.A.R.H, ubicado en la calle Municipio # 1111.

2.- Para procesar los datos se utilizó una computadora marca Apple, propiedad de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Guadalajara.

3.- Modelos de regresión lineal simple y regresión múltiple.

4.- Programas para computadora con los modelos indicados.

Los datos proporcionados por el Laboratorio de Agrológica fueron procesados en la computadora de acuerdo a los siguientes modelos:

a) Capacidad de intercambio catiónico en función de la arcilla.

b) Capacidad de intercambio catiónico en función de la materia orgánica.

c) Capacidad de intercambio catiónico en función de la arcilla y la materia orgánica.

Los modelos para regresión lineal simple y múltiple que se uti

-lizaron son, respectivamente:

$$\hat{Y} = A + Bx \quad \text{y} \quad \hat{Y} = A + B_1X + B_2X$$

donde  $\hat{Y}$  es la variable dependiente

A es el intercepto en el eje de las ordenadas.

$B_1$  y  $B_2$  los coeficientes de las variables independientes.

## Datos

## Lagos de Moreno

No.	C.I.C. meg/100g	% Arcilla	% M.O.
1	15.60	5.68	0.55
2	32	19.68	1.31
3	15.80	3.68	0.27
4	18.80	7.68	0.96
5	19.60	11.68	1.10
6	20	7.68	0.82
7	20.20	11.68	0.69
8	18.80	7.68	0.69
9	49	29.68	1.65
10	19	9.68	0.89
11	21.20	15.68	1.51
12	17.80	5.68	1.10
13	32.20	23.68	1.31
14	22.60	13.68	0.82
15	20	13.68	1.17
16	23.80	19.68	1.03
17	17.80	7.68	0.69
18	23	7.68	0.62
19	20.60	11.68	0.82
20	20.80	9.68	1.10
21	38	15.68	0.75
22	22	9.68	0.75
23	17.40	3.68	0.62
24	25.60	11.68	0.96
25	33	19.68	1.03
26	47	19.68	2
27	58	35.68	1.79
28	50	25.68	1.79
29	57.80	25.68	2.07
30	45.80	31.68	1.79

31	49	28.40	1.38
32	55	36.40	1.79
33	60	30.40	1.86
34	35.60	26.40	1.17
35	17.60	10.40	1.10
36	27	16.40	0.82
37	24	16.40	1.10
38	27	16.40	1.10
39	36.80	28.40	1.17
40	39.40	16.40	0.82
41	26.20	16.40	1.10

*Atotonilco el Alto.*

No.	C.I.C meq/100g	%Arcilla	% M.O.
42	50	40.72	2.13
43	55.40	60.72	1.65
44	54.40	52.72	2.13
45	55.40	52.72	2.20
46	57.40	62.72	2.07
47	61.20	60.72	1.86
48	54.40	56.72	1.58
49	51.80	44.72	1.93
50	40.80	30.72	1.45
51	43.60	46.72	1.10
52	50.80	46.72	1.79
53	49.60	50.72	1.31
54	52	36.72	2
55	56.40	50.72	1.93
56	54	50.72	1.72
57	57.40	58.72	1.31
58	70.20	62.72	2.76
59	72.80	60.72	2.07

## Zapopan

No	C.I.C. meq./100g	% Arcilla	% M.O
60	15	10.40	1.17
61	14.40	10.56	0.89
62	15.60	18.56	0.89
63	16.80	8.56	0.55
64	13.40	10.56	0.82
65	14	8.56	1.24
66	13.40	2.56	0.75
67	15.80	12.56	0.62
68	16.40	4.56	1.86
69	10.20	4.56	0.69
70	23	26.16	0.07
71	23.40	34.16	0.07
72	24	12.16	0.20
73	16.20	18.16	0.20
74	52	30.16	7.52
75	11.40	8.72	1.38
76	10.80	16.72	1.38
77	11.60	18.72	1.38
78	13.80	16.72	1.65
79	10.20	14.	0.75
80	4	2.64	0.75
81	14.40	11.28	0.13

### 3.2.- Análisis Estadístico.

#### 3.2.1.- Análisis de regresión simple.

Se presenta en el siguiente orden:

1.- Análisis de regresión simple para el municipio de Zapopan.

a) Con la relación C.I.C. / Arcilla.

b) Con la relación C.I.C. / M.O.

2.- Análisis de regresión lineal simple para el municipio de -  
Atotonilco.

c) Con la relación C.I.C. / Arcilla.

d) Con la relación C.I.C. / M.O.

3.- Análisis de regresión lineal simple para el municipio de -  
Lagos de Moreno.

e) Con la relación C.I.C. / Arcilla.

f) Con la relación C.I.C. / M.O.

4.- Análisis de regresión lineal simple para los tres munici-  
pios anteriores.

g) Con la relación C.I.C. / Arcilla.

h) Con la relación C.I.C. / M.O.

## Experimento.

a) Regresión lineal simple (Zapopan).

Relación C.I.C. /Arcilla.

Ecuación:  $\hat{Y} = 6.7 + .71x$

Coeficiente de correlación ( $r$ ) = .64Coeficiente de determinación ( $r^2$ ) = .4096

Análisis de varianza de la regresión.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Regresión	1	733.052	733.052	14.147**	4.35	8.10
Error	20	1036.303	51.815			
Total	21	1769.355				

b) Regresión lineal simple (Zapopan)

Relación C.I.C. /M.O.

Ecuación:  $\hat{Y} = 11.29 + 4.46x$

Coeficiente de correlación ( $r$ ) = .74Coeficiente de determinación ( $r^2$ ) = .5476

Análisis de varianza de la regresión

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Regresión	1	960.151	960.151	23.731**	4.35	8.10
Error	20	809.203	40.46			
Total	21	1769.355				

c) Regresión lineal simple (Atotonilco)  
Relación C.I.C. / Arcilla.

$$\text{Ecuación: } \hat{Y} = 20.26 + .67x$$

Coefficiente de correlación ( $r$ ) = .76

Coefficiente de determinación ( $r^2$ ) = .5776

Análisis de varianza de la regresión

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Regresión	1	596.925	596.25	22.355**	4.49	8.53
Error	16	427.235	26.702			
Total	17	1024.16				

Regresión lineal simple (Atotonilco).  
Relación C.I.C. / M.O.

$$\text{Ecuación: } \hat{Y} = 32.52 + 12.19x$$

Coefficiente de correlación ( $r$ ) = .62

Coefficiente de determinación ( $r^2$ ) = .3844

Análisis de varianza de la regresión.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Regresión	1	397.256	397.256	10.139**	4.49	8.53
Error	16	626.904	39.182			
Total	17	1024.160				

e) Regresión lineal simple (Lagos de Moreno).

Relación C.I.C./ Arcilla.

$$\text{Ecuación: } \hat{Y} = 7.71 + 1.35x$$

Coefficiente de correlación ( $r$ ) = .9

Coefficiente de determinación ( $r^2$ ) = .81

Análisis de varianza de la regresión.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Regresión	1	5907.10	1907.10	162.231**	4.10	7.35
Error	39	1420.05	36.41			
Total	40	7327.15				

f) Regresión lineal simple (Lagos de Moreno).

Relación C.I.C./M.O.

$$\text{Ecuación: } \hat{Y} = 1.62 + 25.49x$$

Coefficiente de correlación ( $r$ ) = .82

Coefficiente de determinación ( $r^2$ ) = .6724

Análisis de varianza de la regresión.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Regresión	1	4905.63	4905.63	79.008**	4.10	7.35
Error	39	2421.525	62.09			
Total	40	7327.155				

g) Regresión lineal simple (General).

Relación C.I.C. /Arcilla.

$$\text{Ecuación : } \hat{Y} = 10.88 + .89x$$

Coefficiente de correlación ( $r$ ) = .9385

Coefficiente de determinación ( $r^2$ ) = .8809

Análisis de varianza de la regresión.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	0.05 <sup>F.T.</sup>	0.01
Regresión	1	19463.801	19463.801	275.69**	3.96	6.96
Error	79	5577.420	70.60			
Total	80	25041.222				

h) Regresión lineal simple (General)

Relación C.I.C. /M.O.

$$\text{Ecuación : } \hat{Y} = 17.65 + 11.14x$$

Coefficiente de correlación ( $r$ ) = .7549

Coefficiente de determinación ( $r^2$ ) = .57

Análisis de varianza de la regresión.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	0.05 <sup>F.T.</sup>	0.01
Regresión	1	8121.901	8121.901	37.923**	3.96	6.96
Error	79	16919.321	214.169			
Total	80	25041.222				

3.2.2.- Analisis de regresión múltiple.

Se presentaron con el siguiente orden:

- 1.- Analisis de regresión múltiple para el municipio de Zapopan.
- 2.- Analisis de regresión múltiple para el municipio de Atotonilco.
- 3.- Analisis de regresión múltiple para el municipio de Lagos de Moreno.
- 4.- Analisis de regresión múltiple para los tres municipios.

## 1.- Regresión múltiple (Zapopan).

Relación Arcilla/M.O./C.I.C.

$$\hat{Y} = 5.3517185 + 504759695x_1 + 3.61014961x_2$$

Coeficiente de correlación ( $r$ ) = .8566Coeficiente de determinación ( $r^2$ ) = .7337

Análisis de varianza de la regresión.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	0.05 <sup>F.T.</sup>	0.01
Regresión	2	1298.34302	649.1715	26.18**	3.52	5.93
Error	19	471.01151	24.7900			
Total	21	1769.35454				

## 2.- Regresión múltiple (Atotonilco).

Relación Arcilla/M.O./C.I.C.

$$\hat{Y} = 10,4711027 + .553615798x_1 + 8.5332381x_2$$

Análisis de varianza de la regresión.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	0.05 <sup>F.T.</sup>	0.01
Regresión	2	771.32161	385,6608	22.87**	3.68	6.36
Error	15	252.83838	16.8558			
Total	17	1024.15999				

## 3.- Regresión múltiple (Lagos de Moreno).

Relación Arcilla/M.O./C.I.C.

$$\text{Ecuación : } \hat{y} = 3.73272242 + 1.02378141x_1 + 8.39498207x_2$$

Análisis de varianza de la regresión.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	0.05 <sup>F.T.</sup> ·0.01	
Regresión	2	6095.32878	3047.6643	94.01 <sup>**</sup>	3.25	5.21
Error	38	1231.82634	32.4164			
Total	40	7372.15513				

## 4.- Regresión múltiple (General).

Relación Arcilla/M.O./C.I.C.

$$\text{Ecuación : } \hat{y} = 7.93143597 + .791751132x_1 + 4.08574286x_2$$

Análisis de varianza de la regresión.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	0.05 <sup>F.T.</sup> ·0.01	
Regresión	2	20293.9684	10146.984	166.72 <sup>**</sup>	3.11	4.88
Error	78	4747.2532	60.862			
Total	80	25041.2216				

## 4.- Resultados.

## 4.1.- Modelos bajo el analisis de regresión lineal simple.

El modelo de regresión lineal simple utilizado es el siguiente:

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i + E_i$$

## 4.1.1.- Zapopan.

## 4.1.1.1.- Con la relación C.I.C./Arcilla.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de varianza para la regresión (cuadro # 1) se observa que existen evidencias significativas ( $\alpha \leq .01$ ) de que los valores de la C.I.C. - pueden ser estimados en función de los valores de la arcilla.

Cuadro de analisis de varianza # 1.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	0.05 <sup>F.T.</sup>	0.01
Regresión	1	733.052	733.052	14.147**	4.35	8.10
Error	20	1036.303	51.815			
Total	21	1769.355				

La ecuación de regresión estimada es de  $\hat{Y} = 6.7 + .71x$  permite inferir que existe un incremento de .71 unidades en la C.I.C. - cuando se aumenta una unidad los valores de la arcilla.

En lo que respecta a los valores de los coeficientes de correlación y determinación obtenidos ( $r = .64, r^2 = .40$ ) se establece que existe un alto grado de asociación entre las variables estudiadas, además de que el contenido de arcilla determina en un 40% los valores de la C.I.C.

## 4.1.1.2.- Relación C.I.C/M.O.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza (cuadro #2) se observa que existen evidencias significativas ( $\alpha \leq .01$ ) de que los valores de la C.I.C. pueden ser estimados en función de los valores de la M.O.

Cuadro de análisis de varianza # 2

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	0.05 <sup>F.T.</sup>	0.01
Regresión	1	960.151	960.151	23.731	4.35	8.10
Error	20	809.203	40.460			
Total	21	1769.355				

La ecuación de la regresión estimada es de  $\hat{Y} = 11,29 + 4.46x$  - permite inferir que existe un incremento de 4.46 unidades en la C.I.C. cuando se aumenta una unidad los valores de la M.O.

En lo que respecta a los valores de los coeficientes de correlación y determinación ( $r = .74, r^2 = .54$ ) se establece que existe un alto grado de asociación entre las variables estudiadas, además de que el contenido de M.O. determina en un 54% los valores de la C.I.C.

## 4.1.2.- Atotonilco.

## 4.1.2.1.- Relación C.I.C./Arcilla.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza (cuadro # 3) se observa que existen evidencias significativas ( $\alpha \leq .01$ ) de que los valores de la C.I.C. pueden ser estimados en función de los valores de la arcilla.

Cuadro de analisis de varianza # 3

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	0.05	0.01
Regresión	1	596.925	596.925	22.355**	4.49	8.53	
Error	16	427.235	26.702				
Total	17	1024.160					

La ecuación de la regresión estimada es de  $\hat{Y} = 20.26 + .67x$  permite inferir que existe un incremento de .67 unidades en la C.I.C. cuando se aumenta una unidad de los valores de la arcilla.

En lo que respecta a los valores de los coeficientes de correlación y determinación ( $r = .76, r^2 = .57$ ) se establece que existe un alto grado de asociación entre las variables estudiadas, además de que el contenido de arcilla determina en un 57% los valores de la C.I.C.

## 4.1.2.2.- Relación C.I.C./M.O.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza (cuadro # 4) se observa que existen evidencias significativas ( $\alpha \leq .01$ ) de que los valores de la C.I.C. pueden ser estimados en función de los valores de la M.O.

Cuadro de análisis de varianza # 4.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	0.05 <sup>F.T.</sup>	0.01
Regresión	1	397.256	397.256	10.139**	4.49	8.53
Error	16	626.904	39.182			
Total	17	1024.16				

La ecuación de la regresión estimada es de  $\hat{Y} = 32.52 + 12.19 x$  permite inferir que existe un incremento de 12.19 unidades en la C.I.C, cuando se aumenta una unidad los valores de la M.O.

En lo que respecta a los valores de los coeficientes de correlación y determinación ( $r = .62, r^2 = .38$ ) se establece que existe un alto grado de asociación entre las variables estudiadas, además de que el contenido de M.O. determina en un 38% los valores de la C.I.C.

## 4.1.3.- Lagos de Moreno.

## 4.1.3.1.- Relación C.I.C./Arcilla.

De acuerdo con los resultados obtenido en el analisis de varianza (cuadro # 5) se observa que existen evidencias significativas ( $\alpha \leq 0.01$ ) de que los valores de la C.I.C. pueden ser estimados en función de los valores de la arcilla.

Cuadro de analisis de varianza # 5

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Regresión	1	5907.1	5907.1	162.231**	4.10	7.35
Error	39	1420.055	36.412			
Total	40	7327.155				

La ecuación de la regresión estimada es de  $\hat{Y} = 7.71 + 1.35x$  permite inferir que existe un incremento de 1.35 unidades en la C.I.C, cuando se aumenta una unidad los valores de la arcilla.

En lo que respecta a los valores de los coeficientes de correlación y determinación ( $r=.9$ ,  $r^2=.81$ ) se establece que existe un alto grado de asociación entre las variables estudiadas, además de que el contenido de arcilla determina en un 81% los valores de la C.I.C.

## 4.1.3.2.- Relación C.I.C./M.O.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza (cuadro # 6) se observa que existen evidencias significativas ( $\alpha \leq .01$ ) de que los valores de la C.I.C, pueden ser estimados en función de los valores de la M. O.

Cuadro de análisis de varianza # 6

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Regresión	1	4905.63	4905.63	79.008**	4.10	7.35
Error	39	2421.525	62.09			
Total	40	7327.155				

La ecuación de la regresión estimada es de  $\hat{Y} = 1.62 + 25.49x$  permite inferir que existe un incremento de 25.49 unidades en la C.I.C, cuando se aumenta una unidad los valores de la M.O.

En lo que respecta a los valores de los coeficientes de correlación y determinación ( $r = .82$ ,  $r^2 = .67$ ) se establece que existe un alto grado de asociación entre las variables estudiadas además de que el contenido de M.O. determina en un 67% los valores de la C.I.C.

## 4.1.4.- General.

## 4.1.4.1.- Relación C.I.C/Arcilla.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza (cuadro # 7) se observa que existen evidencias significativas ( $\alpha \leq .01$ ) de que los valores de la C.I.C. pueden ser estimados en función de los valores de la arcilla.

Cuadro de análisis de varianza # 7

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Regresión	1	19463.801	19463.801	275.69**	3.96	6.96
Error	79	5577.420	70.6			
Total	80	25041.222				

La ecuación de la regresión estimada es de  $\hat{Y} = 10.88 + .89x$  -- permite inferir que existe un incremento de .89 unidades en la C.I.C. cuando se aumenta una unidad los valores de la arcilla.

En lo que respecta a los valores de los coeficientes de correlación y determinación ( $r = .93$ ,  $r^2 = .88$ ) se establece que existe un alto grado de asociación entre las variables estudiadas, además de que el contenido de arcilla determina en un 88% los valores de la C.I.C.

## 4.1.4.2.- Relación C.I.C./M.O.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza (cuadro # 8) se observa que existen evidencias significativas ( $\alpha \leq .01$ ) de que los valores de la C.I.C. pueden ser estimados en función de los valores de la M.O.

Cuadro de análisis de varianza # 8

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Regresión	1	8121,901	8121.901	37.923**	3.96	6.96
Error	79	16919.321	214.169			
Total	80	25041.222				

La ecuación de la regresión estimada es de  $\hat{Y} = 17.65 + 11.14x$  permite inferir que existe un incremento de 11.14 unidades en la C.I.C. cuando se aumenta una unidad los valores de la M.O.

En lo que respecta a los valores de los coeficientes de correlación y determinación ( $r = .75$ ,  $r^2 = .57$ ) se establece que existe un alto grado de asociación entre las variables en estudio, además de que el contenido de M.O. determina en un 57% los valores de la C.I.C.

#### 4.2.- Modelos bajo el análisis de regresión múltiple.

El modelo de regresión múltiple utilizado es el siguiente:

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 i + \hat{\beta}_2 x_2 i + E_i$$

##### 4.2.1.- Zapopan.

##### 4.2.1.1.- Relación Arcilla/M.O./C.I.C.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza (cuadro # 9) se observa que existen evidencias significativas ( $\alpha < .01$ ) de que los valores de la C.I.C. pueden ser estimados en función de los valores de la arcilla y la M.O.

Cuadro de análisis de varianza # 9

F.V	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Regresión	2	1298.34302	649.171	26.186**	3.52	5.93
Error	19	471.0115	24.790			
Total	21	1769.3545				

La ecuación de regresión estimada es de :

$\hat{Y} = 5.3517185 + .504759695x_1 + 3.61014961x_2$  permite inferir -- que existen incrementos de .5047 unidades en la C.I.C. cuando se aumenta una unidad los valores de la arcilla y de 3.6101 unidades en la C.I.C. cuando se aumenta una unidad los valores de la M.O.

En lo que respecta a los valores de los coeficientes de correlación y determinación ( $r = .85$ ,  $r^2 = .73$ ) se establece que existe un alto grado de asociación entre las variables en estudio, además de que los contenidos de arcilla y M.O. determinan en un 73% los valores de la C.I.C.

## 4.2.2.- Atotonilco.

## 4.2.2.1.- Relación Arcilla/M.O./C.I.C.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza (cuadro # 10) se observa que existen evidencias significativas ( $\alpha \leq .01$ ) de que los valores de la C.I.C. pueden ser estimados en función de los valores de la arcilla y la M.O.

Cuadro de análisis de varianza # 10

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Regresión	2	771.32	385.66	22.87**	3.68	6.36
Error	15	252.83	16.85			
Total	17	1024.15				

La ecuación de la regresión estimada es de:

$\hat{Y} = 10.47 + .5536x_1 + 8.533x_2$  permite inferir que existen incrementos de .5536 unidades en la C.I.C. cuando aumenta una unidad los valores de la arcilla y de 8.533 unidades en la C.I.C. cuando se aumenta una unidad a los valores de la M.O.

En lo que respecta a los valores de los coeficientes de correlación y determinación ( $r = .86$ ,  $r^2 = .75$ ) se establece que existe un alto grado de asociación entre las variables en estudio, además de que los contenidos de arcilla y M.O. determinan en un 75% los valores de la C.I.C.

## 4.2.3.- Lagos de Moreno.

## 4.2.3.1.- Relación Arcilla/M.O./C.I.C.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza (cuadro # 11) se observa que existen evidencias significativas ( $\alpha \leq 0.01$ ) de que los valores de la C.I.C. pueden ser estimados en función de los valores de la arcilla y la M.O.

Cuadro de análisis de varianza # 11

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Regresión	2	6095.32	3047.66	94.01**	3.25	5.21
Error	38	1231.82	32.41			
Total	40	7372.15				

La ecuación de la regresión estimada es de:

$\hat{Y} = 3.732 + 1.023x_1 + 8.394x_2$  permite inferir que existen incrementos de 1.023 unidades en la C.I.C. cuando se aumenta una unidad los valores de la arcilla y de 8.394 unidades en la C.I.C. cuando se aumenta una unidad los valores de la M.O.

En lo que respecta a los valores de los coeficientes de correlación y determinación ( $r=.91$ ,  $r^2=.83$ ) se establece que existe un alto grado de asociación entre las variables en estudio, además de que los contenidos de arcilla y M.O. determinan en un 83% los valores de la C.I.C.

## 4.2.4.- General

## 4.2.4.1.- Relación Arcilla/M.O./C.I.C.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza [cuadro # 12] se observa que existen evidencias significativas ( $\alpha \leq 0.01$ ) de que los valores de la C.I.C. pueden ser estimados en función de los valores de la arcilla y la M.O.

Cuadro de análisis de varianza # 12

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Regresión	2	20293.96	10146.98	166.72**	3.11	4.88
Error	78	4747.25	60.86			
Total	80	25041.22				

La ecuación de regresión estimada es de:

$\hat{Y} = 7.93 + .79x_1 + 4.08x_2$  permite inferir que existen incrementos de .79 unidades en la C.I.C. cuando se aumenta una unidad los valores de la arcilla y de 4.08 unidades en la C.I.C. cuando se aumenta una unidad los valores de la M.O.

En lo que respecta a los valores de los coeficientes de correlación y determinación ( $r = .9$ ,  $r^2 = .81$ ) se establece que existe un alto grado de asociación entre las variables en estudio, - además de que los contenidos de arcilla y M.O. determinan en un 81% los valores de la C.I.C.

## 5.- *Discusión.*

La determinación de modelos matemáticos en la estimación de la capacidad de intercambio cationico tuvo efectos altamente significativos.

Las variables en estudio arcilla y materia orgánica determinan hasta en un 88% los valores de la capacidad de intercambio cationico.

Sin embargo el porcentaje restante pudo deberse a otros componentes coloidales orgánicos o inorgánicos que intervienen también en la capacidad de intercambio cationico, según indicó Fassbender (1975).

Los datos obtenidos del laboratorio de Agrología de la S.A.R. H. corresponden a tres localidades que son:  
Zopopan, Atotonilco y Lagos de Moreno.

Debido a las características de los diferentes tipo de suelos estudiados, localizados en las tres localidades se consideran importantes los resultados obtenidos de los análisis de varianza de la regresión, ya que aunque fueron variables en todos los casos resultaron altamente significativos.

El motivo por el cual no se incluyeron mas localidades es por que no se contaba con la información completa en cuanto a las variables en estudio.

Se puede considerar este método para la estimación de la C.I. C. porque además de ser económico ahorra mucho tiempo en comparación con el método mas usual que es el de saturación con acetato de amonio en el laboratorio.

La razón que justifica la inclusión de las variables arcilla y materia orgánica es que ambas son las que influyen en mayor proporción en los procesos de intercambio cationico.

Según Ortiz (1980) la materia orgánica coloidal posee propiedades de intercambio cationico similares a las de las arcillas ambos funcionan como cambiadores en los procesos de intercambio cationico

6.- Conclusiones.

De acuerdo con los datos obtenidos y de las condiciones en -- que se llevó a cabo el estudio a las siguientes conclusiones:

1.- La utilización de los modelos matemáticos incluyendo en -- ellos el % de arcilla y el % de materia orgánica tuvo efectos altamente significativos en la estimación de la capacidad de intercambio cationico.

2.- De acuerdo a los resultados obtenidos el modelo mas apropiado para la estimación de la capacidad de intercambio catio nico es el de regresión múltiple, general que incluye todos -- los datos que intervienen en el presente estudio, y el cual -- es representado a continuación de la siguiente manera:

$$\hat{Y} = 7.93 + .79x_1 + 4.08x_2.$$

## 7.- Resumen.

El presente trabajo se llevó a cabo con los datos correspondientes a tres municipios del estado de Jalisco como lo son: Zapopan, Atotonilco y Lagos de Moreno.

El objetivo del presente estudio fué la determinación de un modelo matemático para estimar o predecir la capacidad de intercambio cationico en función de los contenidos de arcilla y materia orgánica de cualquier tipo de suelo.

Se utilizaron los datos de los tres municipios los cuales se incluyeron en los modelos para regresión lineal simple y múltiple que son expresados a continuación:

$$\hat{Y} = A + Bx$$

y

$$\hat{Y} = A + B_1x + B_2x$$

donde  $\hat{Y}$  es la variable dependiente

A es el intercepto en el eje de las ordenadas.

$B_1$  y  $B_2$  los coeficientes de las variables independientes.

Con los modelos matemáticos se procedió de la siguiente manera:

Primero se realizó el análisis de regresión lineal simple con las siguientes relaciones:

C.I.C/Arcilla y C.I.C/M.O. para cada municipio y en conjunto para los tres.

Después se llevó a cabo el análisis de regresión múltiple con la relación Arcilla/M.O./C.I.C. para cada uno de los municipios y para los 3 en forma contigua.

Los resultados obtenidos de los análisis de varianza de la regresión tanto lineal simple como múltiple en su totalidad tuvieron efectos altamente significativos.

El modelo considerado como el mas apropiado para la estimación de la capacidad de intercambio cationico es el de regresión múltiple general que incluye todos los datos involucrados en el presente trabajo y es representado de la siguiente forma:

$$\hat{y} = 7.93 + .79x_1 + 4.08x_2$$

## 8.- Bibliografía.

- 1.- Baram, P (1975) *Métodos Cuantitativos Básicos para la Planeación*, México, P.223.
- 2.- Brauer, O (1980) *Fitogenética Aplicada*, Lumusa, México, - P.255-498.
- 3.- Bruguera, (1979) *Diccionario Enciclopédico*, Bruguera Mexicana de Ediciones, S.A. México, P.160.
- 4.- Cajuste, L.J. (1977) *Química de Suelos con un Enfoque Agrícola*, Colegio de Post-Nacional Chapingo, México, P.98-194.
- 5.- Calzada, B.J. (1970) *Métodos Estadísticos para la Investigación*, Universidad Nacional Agraria, Lima Perú, P.643.
- 6.- De la Loma. J.L. (1979) *Genética General y Aplicada*, U.T. E.H.A., México, P.337.
- 7.- Fassbender, H.W. (1975) *Química de Suelos*, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A., Turrialba, Costa Rica, P.121-154.
- 8.- Jackson, F-Little, T.M. (1981) *Métodos Estadísticos para la Investigación en la Agricultura*, Trillas, México, P.147-209
- 9.- Mendez, I. (1976) *Introducción a la Metodología Estadística* Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México, P.11-18.
10. Mendez, I. (1976) *Modelos Estadísticos Lineales Interpretación y Aplicaciones*, FOCCA/VI/CONACYT, México, P.28.

- 11.- Millar, C.E.- Turk, H.D.F. (1972) *Fundamentos de la Ciencia del Suelo*, C.E.C.S.A. México, P.201-205.
- 12.- Ortiz Villanueva, B. (1980) *Edafología*, Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo México, P.89-137.
- 13 Primo, E.- Yáfera, J.M. (1973) *Química Agrícola*, Alhambra, Madrid, España, P.44-47.
- 14.- Russell, E.W., E.J. (1968) *Las Condiciones del Suelo y el Crecimiento de las Plantas*, Aguilar S.A. de Ediciones, Madrid, España, P.114-143.
- 15.- Snedecor, G.W.- Cochran, W.G. (1976) *Métodos Estadísticos Aplicados a la Investigación Agrícola y Biológica*, C.E.C.S.A., México, P.157-192.
- 16.- Steel, R.G.D.- Torrie, J.H. (1960) *Principles and Procedures of Statistics a Biometrical Approach*, McGraw- Hill Book -- Company, New York, E.U.A., P.122-428.
- 17.- Yurén, M.T. (1979) *Leyes, Teorías y Modelos*, Trillas, México, P.56-64.