

# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

## ESCUELA SUPERIOR DE AGRICULTURA



### GENESIS DE ARCILLAS EN SUELOS DE ORIGEN LACUSTRE (EX-LAGUNA DE MAGDALENA JALISCO)

### TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO  
ORIENTACION SUELOS

P R E S E N T A

RAUL MEDINA MENDOZA

GUADALAJARA, JAL. 1984

A-979



**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**

**Escuela de Agricultura**

Expediente .....

Número .....

Marzo 22 de 1984.

**ING. ANDRES RODRIGUEZ GARCIA  
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE AGRICULTURA  
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA.**

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

RAUL MEDINA MENDOZA titulada,

"GENESIS DE ARCILLAS EN SUELOS -  
DE ORIGEN LACUSTRE" (Ex-Laguna de Magdalena, Jalisco)

Damos nuestra aprobación para la impresión de la misma.

DIRECTOR.

ING. J. JESUS SEPULVEDA MEJIA

ASESOR.

ING. RAFAEL ORTIZ MONASTERIO

ASESOR.

ING. JOSE ANTONIO SANDOVAL MADRIGAL

hlg.

Al contestar este oficio sírvase citar fecha y número

## DEDICATORIAS

A MI PADRE; JOSÉ MEDINA COVARRUBIAS,  
EJEMPLO DE JUSTICIA Y HONRADEZ Y AL QUE  
DEBO MI FORMACIÓN PROFESIONAL, POR TODO  
SU APOYO BRINDADO. CON MUCHO CARIÑO.

A MIS PADRES:

A MI MADRE; ANTONIA MENDOZA POR SU  
CARIÑO Y ABNEGACIÓN DE TODOS LOS DÍAS.  
CON MUCHO CARIÑO.

A MI ESPOSA :

IRMA NAVA MORA POR SU COMPRENSIÓN Y  
PACIENCIA POR AGUANTAR LA LEJANÍA. CON  
INFINITO AMOR.

A MIS PEQUEÑOS  
GEMELOS :

MIGUEL ANGEL Y NESTOR GABRIEL CON  
MONSTRUOSO AMOR.

A MIS HERMANOS:

SALVADOR, MA. DOLORES, JOSÉ ANTONIO,  
EDUARDO, ANA ISABEL Y SUSANA, POR TODOS  
LOS AÑOS COMPARTIDOS.

A MI ABUELA MATERNA:

ELENA, CON CARÍO

A MIS SUEGROS:

J. GUADALUPE NAVA Y HORTENSIA MORA, POR  
TODO EL APOYO RECIBIDO

A MIS SOBRINOS:

CON CARÍO

A MIS CUÑADOS Y CUÑADAS, CON CARÍO.

## AGRADECIMIENTOS

AL ING. J. JESUS SEPULVEDA MEJIA, CON ESPECIAL AFECTO POR QUE SIEMPRE HE RECIBIDO DE EL TODA CLASE DE APOYOS DESINTERESADAMENTE, CON ADMIRACION.

AL ING. RAFAEL ORTIZ MONASTERIO, AGROLOGO Y FORJADOR DE VARIAS GENERACIONES DE ESPECIALISTAS EN SUELOS, CON APRECIO.

AL ING. J. ANTONIO SANDOVAL MADRIGAL, ASESOR EN ESTE PEQUEÑO TRABAJO.

UN SENTIMIENTO DE GRATITUD Y AFECTO AL M. EN C. NICOLAS AGUILERA HERRERA DE LA UNAM, POR QUE ME HA ENSEÑADO A VER LA IMPORTANCIA DEL SUELO PARA NUESTRA VIDA.

A LA COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDRAULICO, Y EN ESPECIAL A LOS INGENIEROS J. JESUS ROMERO CHAVEZ, VOCAL EJECUTIVO Y MANUEL CONTIJOCH ESCONTRIA, COORDINADOR GENERAL DEL PRODERITH, POR EL APOYO RECIBIDO PARA LA IMPRESION DE LA PRESENTE TESIS.

A LA SRITA. YOLANDA GRACIELA CRUZ BANUELOS, POR SU DESINTERESADO Y EXCELENTE TRABAJO MECANOGRAFICO, CON GRATITUD.

A MI ESCUELA DE AGRICULTURA

A MIS MAESTROS

A MIS COMPANEROS

¿CONQUE HE DE IRME, CUAL FLORES QUE  
FENECEN?

¿NADA SERA MI NOMBRE ALGUNA VEZ?

¿NADA DEJARE EN POS DE MI EN LA TIERRA?

¡AL MENOS FLORES, AL MENOS CANTOS!

¿COMO HA DE OBRAR MI CORAZON?

¿ACASO EN VANO VENIMOS A VIVIR,  
A BROSTAR EN LA TIERRA?

*Poesía Nahuatl.*

# C O N T E N I D O

PÁG.

## INDICE DE CUADROS, TABLAS Y FIGURAS

I.	INTRODUCCION	1
1.1	IMPORTANCIA	1
1.2	OBJETIVOS	3
II.	REVISION DE LITERATURA	4
2.1	LOS MINERALES DEL SUELO	4
2.2	ESTRUCTURA DE LOS SILICATOS	5
2.2.1	NESOSILICATOS	5
2.2.2	SOROSILICATOS	6
2.2.3	INOSILICATOS (CADENA ÚNICA)	6
2.2.4	CICLOSILICATOS	6
2.2.5	INOSILICATOS (CADENAS DOBLES)	9
2.2.6	FILOSILICATOS	9
2.2.7	TECTOSILICATOS	9
2.3	LOS MINERALES EN EL PROCESO INTEMPÉRICO	12
2.3.1	FELDESPATOS	13
2.3.2	CUARZO	14
2.3.3	OLIVINOS	15
2.3.4	PIROXENAS Y ANFIBOLES	15
2.3.5	MICAS	17
2.3.6	HIDROMICAS	18
2.3.7	SECUENCIA DE INTEMPERIZACIÓN EN MINERALES DEL TAMAÑO DE LA ARCILLA	18
2.4	LA FRACCIÓN ARCILLA DEL SUELO	22
2.4.1	DEFINICIÓN	22
2.4.2	IMPORTANCIA	22

	PÁG.
2.4.3 ORIGEN DE LAS ARCILLAS	25
2.4.4 CLASIFICACIÓN DE ARCILLAS	27
2.4.5 PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS	28
2.4.6 MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ARCILLAS	33
III. MATERIALES Y METODOS	36
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	36
3.1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	36
3.1.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	38
3.1.3 CLIMA	39
3.1.4 SUELOS	42
3.2 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO	45
3.3 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE LABORATORIO	46
IV. RESULTADOS	49
V. DISCUSION DE RESULTADOS	62
VI. CONCLUSIONES	74
VII. RECOMENDACIONES	77
VIII. BIBLIOGRAFIA	81

## INDICE DE CUADROS, TABLAS Y FIGURAS

			PÁG.
FIGURA	1.11	TETRAEDRO DE SILICIO, UNIDAD ESTRUCTURAL BÁSICA DE LOS NESOSILICATOS.	7
FIGURA	1.12	TETRAEDROS COMPARTIENDO UN OXÍGENO COMÚN (SOROSILICATOS).	7
FIGURA	1.13	CICLOSILICATOS	8
FIGURA	1.14	INOSILICATOS DE CADENA SENCILLA	8
FIGURA	1.15	INOSILICATO DE CADENA DOBLE	10
FIGURA	1.16	FILOSILICATOS O SILICATOS LAMINARES	11
TABLA	1.1	SECUENCIA DE INTEMPERIZACIÓN DE LOS MINERALES DEL TAMAÑO DE LA ARCILLA.	19
TABLA	1.2	SECUENCIA DE ALTERACIÓN DE VARIOS MINERALES DE ACUERDO A PETTIJOHN	19
TABLA	1.3	SECUENCIA INTEMPÉRICA DE FIELDS Y SWINDALE, 1954	21
TABLA	1.4	CLASIFICACIÓN FRANCESA DE ARCILLAS	29
TABLA	1.5	CLASIFICACIÓN DE MINERALES ARCILLOSOS (GRIM, 1968).	30
TABLA	1.6	CLASIFICACIÓN DE FILOSILICATOS RELACIONADOS CON MINERALES ARCILLOSOS	31
FIGURA	3.17	LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	37
FIGURA	3.18	CLIMOGRAMA SEGUNDO SISTEMA DE THORNTHWAITE	40
CUADRO	3.1	CLASIFICACIÓN DEL CLIMA. SEGUNDO SISTEMA DE THORNTHWAITE	41
FIGURA	4.19	DIFRACTOGRAMAS DE RAYOS X. MUESTRAS No. 1 y No. 2	58

			PAG.
FIGURA	4.20	DIFRACTOGRAMAS DE RAYOS X MUESTRAS No. 3 y No. 4	59
FIGURA	4.21	DIFRACTOGRAMAS DE RAYOS X MUESTRAS No. 5 y No. 6	60
CUADRO	4.2	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOS Y - QUÍMICOS DE SUELOS DEL PERFIL No. 1	51
CUADRO	4.3	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOS Y - QUÍMICOS DE SUELOS DEL PERFIL No. 2	54
CUADRO	4.4	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOS Y - QUÍMICOS DE SUELOS DEL PERFIL No. 3	57
CUADRO	4.5	MINERALES PRESENTES EN LAS MUESTRAS ESTUDIADAS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	61

## I

## I N T R O D U C C I O N

IMPORTANCIA

PARA LA REALIZACIÓN DE PROYECTOS ENCAMINADOS A INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA DE UNA ZONA O REGIÓN, ES NECESARIO -ENTRE OTROS FACTORES- EL CONOCIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, BIOLÓGICAS Y MINERALÓGICAS DE LOS DIFERENTES SUELOS QUE EN ELLAS SE PRESENTAN.

DESAFORTUNADAMENTE LA MAYORÍA DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS SE HAN LIMITADO A LA CARACTERIZACIÓN, YA SEA FÍSICA, QUÍMICA, BIOLÓGICA O MICROBIOLÓGICA DE LOS SUELOS Y SALVO ALGUNOS CASOS PARTICULARES SE HA PROFUNDIZADO EN EL CONOCIMIENTO DE SU COMPOSICIÓN MINERALÓGICA.

LA CARACTERIZACIÓN CORRECTA DE UN SUELO, YA SEA CON EL FIN DE ENTENDER SU ORIGEN, GÉNESIS Y EVOLUCIÓN O TAMBIÉN SU MANEJO Y CONSERVACIÓN, SÓLO ES POSIBLE CUANDO SUS CONSTITUYENTES SON PERFECTAMENTE CONOCIDOS Y COMPRENDIDAS SUS RELACIONES Y CORRELACIONES TANTO CON EL MATERIAL DE ORIGEN COMO CON SUS DEMÁS INTEGRANTES.

LA FERTILIDAD POTENCIAL Y EN MUCHOS CASOS LA FERTILIDAD ACTUAL, LAS RELACIONES DE AGUA-SUELO, SU ESTABILIDAD ESTRUCTURAL, LAS RELACIONES DE MINERALIZACIÓN-HUMIFICACIÓN Y EL APOORTE DE ELEMENTOS MENORES SON ALGUNOS EJEMPLOS DE LA IMPORTANCIA PRÁCTICA DERIVADA DEL CONOCIMIENTO DE LOS CONSTITUYENTES DEL SUELO.

DENTRO DE LOS CONSTITUYENTES INORGÁNICOS DEL SUELO SE ENCUENTRA LA ARCILLA QUE, COMO ES SABIDO ES LA PARTÍCULA MÁS ACTIVA DE LA FRACCIÓN INORGÁNICA FUNDAMENTALMENTE POR SU TAMAÑO Y CARGAS ELÉCTRICAS QUE POSEE, LO CUAL LES DÁ PROPIEDADES QUE INFLUYEN DIRECTAMENTE SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO. ES POR ÉSTO QUE LA IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL TIPO O LOS TIPOS DE

ARCILLAS PRESENTES SON DE GRAN IMPORTANCIA PARA ESTABLECER CONCLUSIONES Y DECISIONES DESDE EL PUNTO DE VISTA DE MANEJO, RIEGO, FERTILIZACIÓN ENTRE OTROS.

## 1.2 OBJETIVOS

LOS OBJETIVOS QUE SE PERSIGUEN EN LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO SE PUEDEN CONSIDERAR COMO GENERAL Y ESPECÍFICOS.

### 1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- CONOCER LA NATURALEZA DE LA FRACCIÓN ARCILLA PARA CORRELACIONARLA CON ASPECTOS AGRONÓMICOS TALES COMO MANEJO, CONSERVACIÓN Y FERTILIDAD DEL RECURSO SUELO.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ESTABLECER LA PROBABLE GÉNESIS Y EVOLUCIÓN DE ARCILLAS EN ESTOS SUELOS.
- ESTABLECER UNA ALTERNATIVA DE MANEJO EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA FRACCIÓN ARCILLA.
- DISPONER DE ELEMENTOS DE JUICIO QUE NOS PERMITAN ENTENDER LOS MECANISMOS Y PROCESOS DE FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DE ARCILLAS EN SUELOS CON SIMILAR ORIGEN Y MODO DE FORMACIÓN.

## II

## REVISIÓN DE LITERATURA



ESCUELA DE AGRICULTURA  
BIBLIOTECA

2.1 LOS MINERALES DEL SUELO

LOS MINERALES PRESENTES EN EL SUELO SE DIVIDEN EN DOS GRANDES GRUPOS: PRIMARIOS (ORIGINALES) Y SECUNDARIOS. ENTRE LOS PRIMARIOS SE ENCUENTRAN MICAS, PIROXENAS, CUARZO, FELDESPATOS, OLIVINOS, GRANITOS, CLORITAS, ETC., MIENTRAS QUE EN LOS SECUNDARIOS QUE SON EN REALIDAD EL PRODUCTO DE LA INTEMPERIZACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE LOS PRIMARIOS ENCONTRAMOS A LOS MINERALES ARCILLOSOS TALES COMO LA CAOLINITA, VERMICULITA, CLORITA, MUSCOVITA, ETC., Y OTROS MINERALES TALES COMO LIMONITA, HEMATITA, GOETHITA, CALCITA, DOLOMITA, GYPSUM, ALOFANO ENTRE OTROS.

ES NECESARIO RESALTAR EL NÚMERO RELATIVAMENTE PEQUEÑO DE MINERALES PRIMARIOS CONSTITUYENTES DE LAS ROCAS ÍGNEAS, COMO MATERIALES A TRAVÉS DE LOS CUALES SE ORIGINAN GRUPOS NUMEROSOS DE MINERALES SECUNDARIOS. SI OBSERVAMOS LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CORTEZA TERRESTRE VEREMOS QUE EL OXÍGENO (46,6% EN PESO) Y EL SILICIO (27,7% EN PESO) (RANKAMA Y SAHAMA, 1954) SON LOS DOS ELEMENTOS PREDOMINANTES. POR LO TANTO, ES DE ESPERARSE QUE LOS MINERALES MÁS ABUNDANTES SERÁN AQUELLOS COMPUESTOS QUE CONTENGAN  $Si^{+4}$  LIGADO AL  $O^{2-}$ ; ESTOS CUERPOS SE DENOMINAN MINERALES SILICIOS O SILICATOS AUN QUE MUCHOS CONTENGAN OTROS CATIONES APARTE DEL SILICIO.

EL ESTUDIO A FONDO TANTO INTERNA, GEOMÉTRICA COMO QUÍMICAMENTE DE ESTOS MINERALES ES DE TRASCENDENTAL IMPORTANCIA, YA QUE DE ESTE CONOCIMIENTO SE DERIVAN TODAS LAS GRANDES RELACIONES GENÉTICAS Y GRAN PARTE DE LAS EDÁFICAS.

## 2.2 ESTRUCTURA DE LOS SILICATOS

LA BASE DE SUSTENTACIÓN DE LOS SILICATOS ES EL TETRAEDRO DE SILICIO:  $(\text{SiO}_4)^{-4}$ .

LA ESTRUCTURA REAL QUE SE FORME DEPENDERÁ DE LA MANERA COMO ESTAS UNIDADES ESTÉN LIGADAS ENTRE SÍ. LOS TETRAEDROS DE  $\text{SiO}_4^{-4}$  PUEDEN EXISTIR COMO UNIDADES INDEPENDIENTES, ESTAR ENLAZADOS POR CATIONES O BIEN LOS CUATRO OXÍGENOS PUEDEN ESTAR LIGADOS CON OTROS IONES SI PARA FORMAR CADENAS, ANILLOS, LÁMINAS O ESTRUCTURAS RETICULARES.

LA ESTRUCTURA CRISTALINA DEPENDERÁ ASÍ DEL NÚMERO RELATIVO DE UNIDADES QUE LA INTEGRAN, ADEMÁS DE SUS TAMAÑOS Y PROPIEDADES DE POLARIZACIÓN. LAS ESTRUCTURAS SE FUNDAMENTAN EN EL HECHO DE ESTAR CADA IÓN DE SILICIO RODEADO DE CUATRO IONES DE OXÍGENO. LAS FUERZAS REPULSIVAS ENTRE ORBITALES DE IGUAL MAGNITUD DE CARGA DETERMINARÁN LA UBICACIÓN DE LOS ÁTOMOS DE OXÍGENO EN LAS ESQUINAS DE UN TETRAEDRO TENIENDO POR CENTRO AL SILICIO.

LA ESTRUCTURA DEL SILICATO ASÍ FORMADO, DEPENDERÁ DE LA PROPORCIÓN ATÓMICA DE OXÍGENO A SILICIO EN EL CRISTAL. SI EL NÚMERO DE  $\text{O}^{-2}$  ES AL MENOS CUATRO VECES AL DE  $\text{Si}^{+4}$  PODRÁN FORMARSE UNIDADES  $(\text{SiO}_4)^{-4}$  PERO, SI ES MENOR DE DICHO NÚMERO LOS OXÍGENOS DE LAS UNIDADES TETRAÉDRICAS DEBERÁN ENLAZARSE ENTRE SÍ POR MEDIO DE OXÍGENOS COMUNES (ENLACE COVALENTE).

EN SEGUIDA SE PRESENTAN LOS PRINCIPALES GRUPOS DE SILICATOS:

### 2.2.1 NESOSILICATOS (NESOS=ISLA, SILICATOS=INDEPENDIENTES)

ESTOS MINERALES ESTÁN FORMADOS POR UNIDADES INDEPENDIENTES DE  $\text{SiO}_4^{-4}$  ENLAZADAS POR CATIONES DIVALENTES, GENERALMENTE  $\text{Mg}^{++}$  Y/O  $\text{Fe}^{++}$ . EL OLIVINO ES, EN EL SUELO, EL MÁS COMÚN DE ESTOS MINERALES TENIENDO POR FÓRMULA  $(\text{Mg, Fe})_2 \text{SiO}_4^{-4}$  LOS IONES DE  $\text{Mg}^{++}$  Y  $\text{Fe}^{++}$  SE ENCUENTRAN EN COORDINACIÓN SÉXTUPLE ENLAZANDO LAS CA

RAS DE DOS TETRAEDROS  $SiO_4$ -4. OTROS MINERALES DE ESTE GRUPO SON: GRANATE, ZIRCÓN, CIANITA, ESFENA, SILIMANITA, ANDALUCITA, FORSTERITA Y FAYALITA. (FIG. 1.11)

### 2.2.2 SOROSILICATOS (SOROS=GRUPO) (TETRAEDROS DOBLES ROTADOS 180° ENTRE SI)

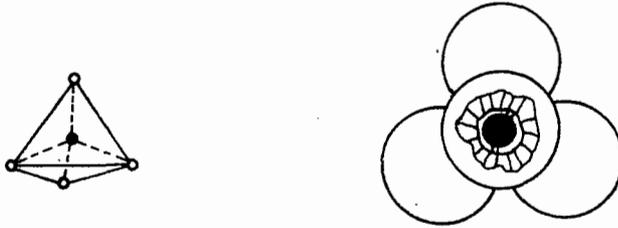
ESTA ESTRUCTURA SE FORMA CUANDO UN OXÍGENO UNE A DOS TETRAEDROS FORMÁNDOSE UNA UNIDAD ESTRUCTURAL  $(Si_2O_7)^{-6}$ . MELILITA  $(Ca_2MgSi_2O_7)$  ES EL MINERAL REPRESENTATIVO DE ESTE GRUPO. EN LOS SUELOS ES MUY RARO ENCONTRARLOS Y POR LO TANTO TIENEN POCa IMPORTANCIA. (FIG. 1.12)

### 2.2.3 INOSILICATOS (INOS=FIBRA) (CADENA UNICA)

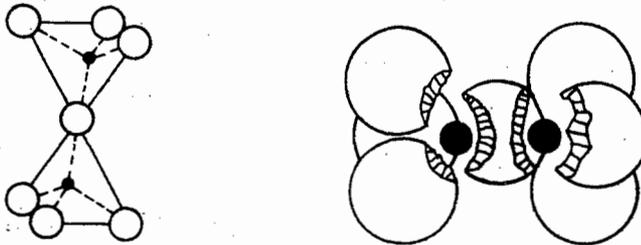
ESTA ESTRUCTURA ES CARACTERÍSTICA DE LAS PIROXENAS Y COMPRENDE EL ENLACE DE DOS OXÍGENOS DE CADA TETRAEDRO CON OTROS TETRAEDROS PARA FORMAR UNA CADENA SENCILLA Y LARGA (UNIDADES  $SiO_3$ )<sub>N</sub><sup>-2</sup> O  $Si_2O_6$ ). LAS PIROXENAS CONOCIDAS EN LA QUÍMICA CLÁSICA COMO METASILICATOS ESTÁN REPRESENTADAS EN SUELOS POR LA AUGITA MINERAL FERROMAGNÉSICO OSCURO, COMÚN EN BASALTOS Y OTRAS ROCAS ÍGNEAS BÁSICAS, SU FÓRMULA ES:  $Ca(Mg, Fe, Al)(SiAl)_2O_6$  TIENE EL  $Ca^{++}$  EN COORDINACIÓN ÓCTUPLE Y ALGO DE  $Al^{+++}$  SUSTITUYENDO AL  $Si^{+++}$ . EN LOS TETRAEDROS. OTROS MINERALES DE ESTE GRUPO SON LA ENSTATITA, HIPERSTENA, EL DIOPSIDO. (FIG. 1.14).

### 2.2.4 CICLOSILICATOS. ANILLOS DE 3, 4 ó 6 TETRAEDROS $(SiO_3)$ o GRUPOS $Si_6O_{18}$ .

ESTAS ESTRUCTURAS SON CADENAS ÚNICAS CERRADAS EN FORMA DE CÍRCULO, DE TAL MANERA QUE LOS TETRAEDROS SE UBICAN FORMANDO ANILLOS HEXAGONALES (FIG. 1.13). LOS MINERALES BERILO  $Be_3Al_3(Si^{-3})_6$  Y TURMALINA  $Na(Mg, Fe)_3Al_6(BO_3)$  SON LOS REPRESENTANTES MÁS COMUNES DE ESTE GRUPO EN SUELOS; SON RELATIVAMENTE RESISTENTES A LA ALTERACIÓN Y PERSISTEN EN ROCAS SECUNDARIAS.



FIGURA\_1.11 \_TETRAEDRO DE SILICIO. UNIDAD ESTRUCTURAL  
BASICA DE LOS NESOSILICATOS  $(SiO_4)^{-4}$ . (TOMADO  
DE GARAVITO, 1974).



FIGURA\_1.12 \_TETRAEDROS COMPARTIENDO UN OXIGENO COMUN  
(ISROSILICATOS)  $(Si_2O_7)^{-6}$ . (TOMADO DE GARAVITO,  
1974).

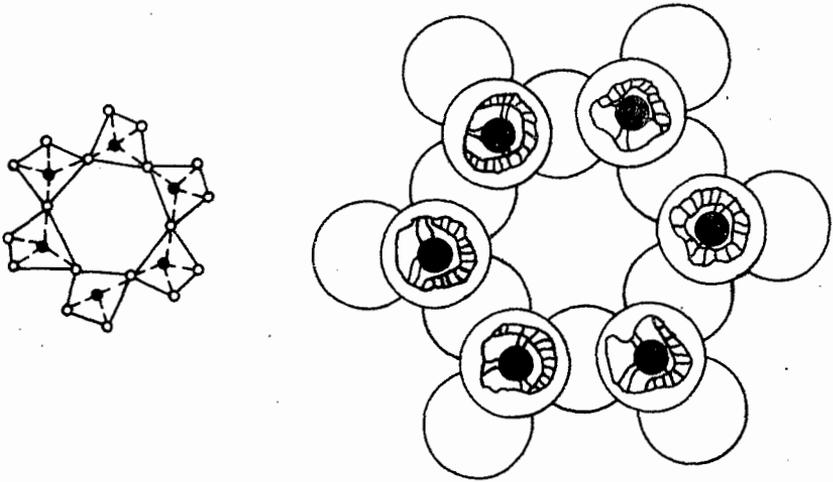


FIGURA...1.13... CICLOSILICATOS.  $(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{-12}$ . (TOMADO DE GARAVITO, 1974)

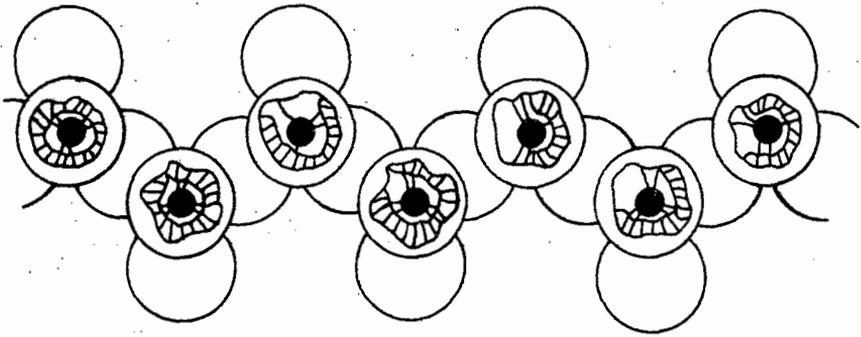


FIGURA...1.14... INOSILICATOS DE CADENA SENCILLA.  $(\text{SiO}_3)_n^{-2}$ . (TOMADO DE GARAVITO 1974).

### 2.2.5 INOSILICATOS (CADENAS DOBLES)

ESTA ESTRUCTURA ES CARACTERÍSTICA DE LOS ANFÍBOLES Y SE FORMA MEDIANTE LA CONDENSACIÓN DE DOS CADENAS SENCILLAS, DE MODO QUE SE ENLAZA UN PROMEDIO DE 2,5 OXÍGENOS POR CADA TETRAEDRO (FIG. 1.15), LA HORNBLENDA ES UNO DE LOS MÁS ABUNDANTES MINERALES DE ESTE GRUPO. OTROS MINERALES SON: TREMOLITA, ACTINOLITA, GLAUCOFANA.

### 2.2.6 FILOSILICATOS (FILOS=LÁMINAS GRUPO $(Si_4O_{10})^{-4}$ )

SON MINERALES COMUNMENTE LLAMADOS SILICATOS LAMINARES QUE SE FORMA POR EL ENLACE DE 3 OXÍGENOS DE CADA TETRAEDRO CON OTROS TETRAEDROS, DE TAL MODO QUE RESULTA UNA ESTRUCTURA LAMINAR O FOLIAR (FIG. 1.16).

SI LOS IONES EN COORDINACIÓN OCTAÉDRICA UNEN LOS OXÍGENOS APICALES NO ENLAZADOS A UNA CAPA DE GRUPOS  $OH^-$ , SE FORMARÁN LOS SILICATOS LAMINARES 1:1.

SI LOS IONES EN COORDINACIÓN OCTAÉDRICA UNEN LOS OXÍGENOS APICALES EN DOS LÁMINAS DE TETRAEDROS, SE FORMARÁN LOS SILICATOS LAMINARES 2:2; LAS RELACIONES (1:1,2:1) SE REFIEREN AL NÚMERO DE CAPAS DE CATIONES EN COORDINACIÓN OCTAÉDRICA EN RELACIÓN AL NÚMERO DE CAPAS DE CATIONES EN COORDINACIÓN OCTAÉDRICA. SI ENTRE LAS LÁMINAS DE LOS SILICATOS LAMINARES 2:1, SE INSERTA UNA DOBLE CAPA DE HIDRÓXIDOS UNIDOS POR CATIONES EN COORDINACIÓN OCTAÉDRICA SE FORMAN LAS ESTRUCTURAS 2:2.

DENTRO DE ESTE GRUPO ENCONTRAMOS LOS SIGUIENTES MINERALES: CAOLINITA, SERPENTINA, CRISOTILO, ANTIGORITA, PIROFILITA, TALCO, MUSCOVITA, PARAGONITA, MARGARITA, LOGOPITA, BIOTITA, VERMICULITA, MONTMORILLONITA, CLORITA.

### 2.2.7 TECTOSILICATOS (TECTOS=TRAMA) (SILICATOS RETICULARES)

EN ESTA ESTRUCTURA SE COMPARTEN LOS 4 OXÍGENOS DEL TETRAEDRO CON OTROS TETRAEDROS, FORMÁNDOSE UNA ESTRUCTURA RETICULAR TRIDIMENSIONAL, CARACTERÍSTICA DE MINERALES COMO CUARZO, ORTOCLASA, MICROCLINA, ALBITA, ANORTITA, PLAGIOCLASAS, ANDESINA, LABRADORITA, SAINIDINA, ADULARIA.

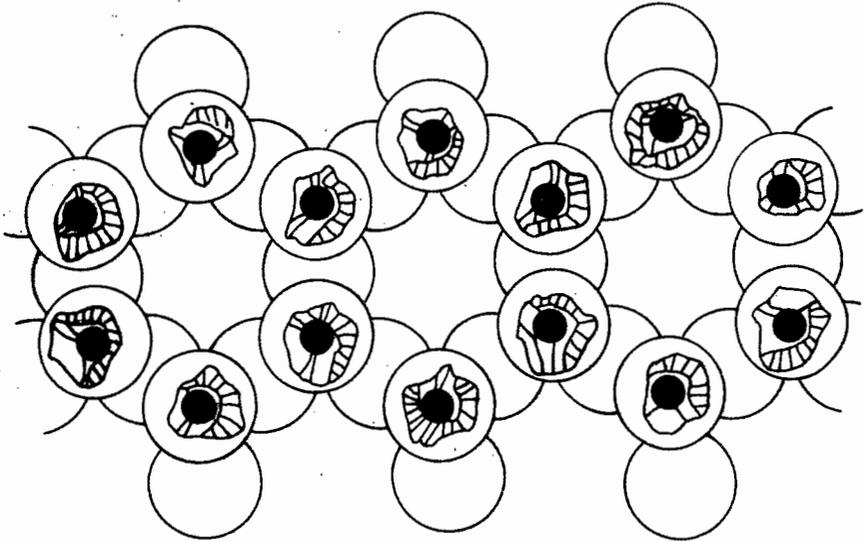
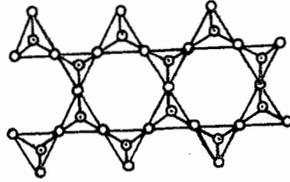


FIGURA. 1.15. INOSILICATO DE CADENA DOBLE.  $(Si_4O_{11})_n^{-8}$ . (TOMADO DE GARAVITO, 1974).

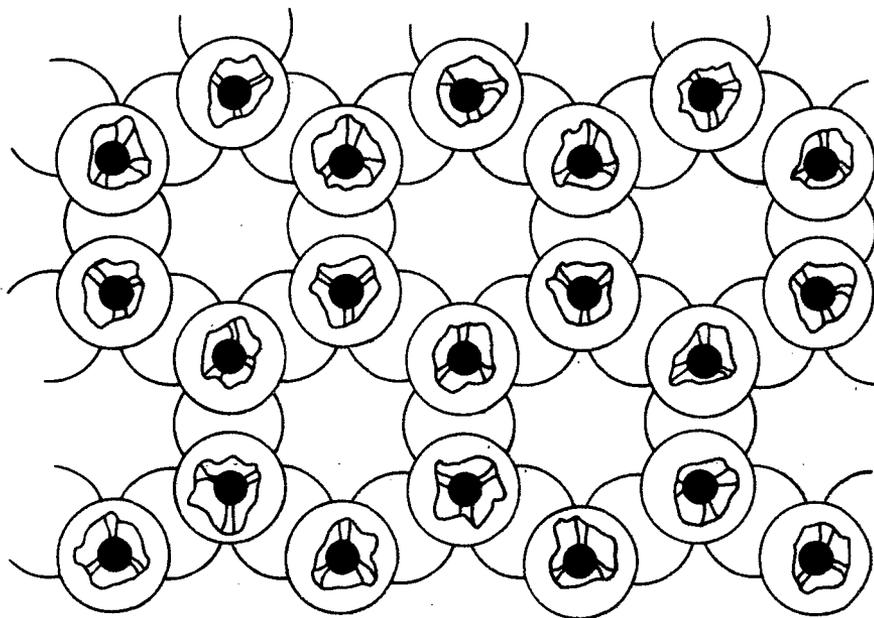
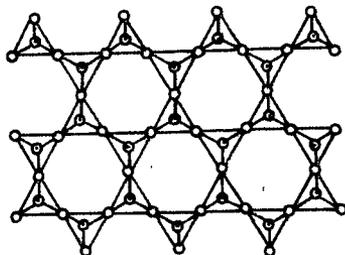


FIGURA. 1.16 --FILOSILICATOS O SILICATOS LAMINARES  $(Si_4O_{10})_n^{-4}$ . (TOMADO DE GARAVITO, 1974)

### 2.3. LOS MINERALES EN EL PROCESO INTEMPÉRICO

UNA VEZ QUE SE HAN EXPUESTO ALGUNOS ASPECTOS GENERALES DE LOS MINERALES PRESENTES EN EL SUELO, SE EXPONDRÁ CUAL ES EL PAPEL QUE JUEGAN LOS MINERALES PRIMARIOS QUE DAN ORIGEN A LOS MINERALES ARCILLOSOS EN EL PROCESO INTEMPÉRICO.

SE SABE QUE EL ÚNICO MEDIO DE RELACIONAR EL MATERIAL PARENTAL CON EL SUELO QUE HA ORIGINADO, ES MEDIANTE EL ESTUDIO TANTO DE LOS DIFERENTES MINERALES CONSTITUTIVOS DEL MISMO, COMO DEL SUELO Y LAS REACCIONES INVOLUCRADAS EN ESTA ALTERACIÓN, PROCESO QUE DEBE ENTENDERSE COMO UNA BÚSQUEDA DEL ESTADO DE EQUILIBRIO CON EL MEDIO AMBIENTE CIRCUNDANTE (MALAGÓN, 1975). Es DECIR, LA CARACTERÍSTICA DEL PROCESO INTEMPÉRICO ES LA BÚSQUEDA DE UN ESTADO DE EQUILIBRIO, DE AHÍ QUE SE CONSIDERE INVOLUCRADO EN EL PROCESO TANTO DE LA ALTERACIÓN DE UN MINERAL MICÁCEO, COMO DE LA SÍNTESIS A PARTIR DE LOS PRODUCTOS DE ALTERACIÓN DE LA POSIBLE ARCILLA RESULTANTE.

DENTRO DE LA MINEROLOGÍA DE SUELOS EL INTEMPERISMO ES UNO DE LOS CAPÍTULOS QUE MÁS HA CONTRIBUIDO AL CONOCIMIENTO Y ENTENDIMIENTO DE LAS TRANSFORMACIONES DE LAS ROCAS HASTA CONCLUIR EN LA FORMACIÓN DE LOS SUELOS, PUDIENDO CON SU AYUDA COMPRENDER LOS MECANISMOS ACTUANTES SOBRE ESTE MEDIO.

DE ACUERDO CON REICHE (1973), EL "INTEMPERISMO ES UNA RESULTANTE DE LOS MATERIALES QUE INTEGRAN LA LITOSFERA BAJO LAS CONDICIONES DE CONTACTO CON LA ATMÓSFERA, HIDRÓSFERA Y TAL VEZ LA QUE ES MÁS IMPORTANTE DE LAS ACCIONES, LA BIÓSFERA". CUANDO SE PRETENDA ESTUDIAR MÁS DETALLADAMENTE ESTE PROCESO SERÁ NECESARIO DEFERENCIARLO EN DOS PARTES: INTEMPERISMO FÍSICO E INTEMPERISMO QUÍ-

MICO; NO OBSTANTE SE AFIRMA QUE TANTO UNO COMO OTRO ACTUAN DE MANERA SIMULTÁNEA SIENDO IMPOSIBLE SEPARARLOS COMO TALES EN LA NATURALEZA.

MÁS ESPECÍFICAMENTE Y DENTRO DE LA CIENCIA DEL SUELO PUEDE HABLARSE TAMBIÉN DE "INTEMPERISMO FÍSICO-QUÍMICO" POR ACCIÓN DE AGENTES BIOLÓGICOS.

EN ESTE PROCESO SE INVOLUCRA LA ACCIÓN DE LAS RAÍCES DE LAS PLANTAS, BATERIAS, HONGOS, LÍQUENES, MUSGOS, PRODUCTOS EXCRETADOS POR MICROORGANISMOS, AGENTES QUELATANTES, Y  $CO_2$ .

### 2.3.1 FELDESPATOS.

LOS FELDESPATOS CLÁSICAMENTE SE DIVIDEN EN POTÁSICOS Y PLAGIOCLÁSICOS, DE ACUERDO CON LA CLASE DE CATIONES PRESENTES EN LA ESTRUCTURA, CATIONES QUE SE ENCUENTRAN BALANCEANDO CARGAS ELÉCTRICAS. DE LA ORTOCLASA PROVIENE GRAN PARTE DEL POTASIO TOMANDO POR LAS PLANTAS, Y DE ACUERDO CON ANDREATTA (1965), ES LA FUENTE MÁS IMPORTANTE DE DICHO ELEMENTO EN SUELOS.

PARA ENTENDER LA ALTERACIÓN DE ESTOS MINERALES, ES NECESARIO CONOCER LA CANTIDAD DE IONES DE SILICIO REEMPLAZADOS POR ALUMINIO. PARALELAMENTE A ÉSTO EL MECANISMO ÍNTIMO DE LA ALTERACIÓN, PARECE SEGUIR LAS REGLAS GENERALES DE LOS FENÓMENOS QUÍMICOS.

DE ACUERDO CON DE VORE (1957) (CITADO POR MALAGÓN 1975), EN TRABAJOS EXPERIMENTALES SE HA COMPROBADO LA FORMACIÓN DE MUSCOVITA, PARAGONITA, CAOLINITA, Y BOHEMITA SOBRE FELDESPATOS TRATADOS HIDROTÉRMICAMENTE, ES DECIR, EL INTEMPERISMO Y LA ALTERACIÓN HIDROTÉRMICA DE LOS FELDESPATOS A MATERIAL MICÁCEO ESTÁ BIEN DOCUMENTADA, NO OBSTANTE, EL MECANISMO DETALLADO NO SE CONOCE CON EXACTITUD, PUES LOS PRODUCTOS INTERMEDIOS NO HAN SIDO AISLADOS.

SEGALÉN (1975) AFIRMA, QUE CONFORME A SU ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL Y EN LOS HUECOS GRANDES EN LOS QUE SE LOCALIZAN LOS ÁL-CALIS Y ALCALINOTÉRREOS, LOS FELDESPATOS SE INTEMPERIZAN RÁPIDAMENTE.

EL INTEMPERISMO DE LOS FELDESPATOS ES (SEGÚN HILGARD 1930), LA PRINCIPAL FUENTE EN LOS SUELOS DE ARCILLAS Y DE POTASIO, (LA ORTOCLASA APORTA 17% DE  $K^+$  Y LEUCITA, FELDESPATO ÉSTE QUE SE ENCUENTRA EN ALGUNAS LAVAS, LLEGA HASTA EL 21%).

DE ACUERDO A GORBUNOV (1969) (CITADO POR MALAGÓN 1975) Y EN CALIDAD DE RESUMEN, LA TRANSFORMACIÓN DE LOS FELDESPATOS PUEDE ESQUEMATIZARSE IDEALMENTE DE LA SIGUIENTE MANERA:

FELDESPATO → SERICITA → HIDROMICA DIOCTAÉDRICA →  
 MINERALES            ESMECTITICOS → CAOLINITA → GIBSITA.

SOBRE ESTAS TRANSFORMACIONES GORBUNOV (1966), AFIRMA QUE EL PASO DEL FELDESPATO A ARCILLA INVOLUCRA UN CAMBIO ESTRUCTURAL, EL PROCESO DEBERÁ REALIZARSE BAJO UNA FASE AMORFA, NO OBSTANTE HABERSE RECONOCIDO LA NUCLEACIÓN DE CAOLINITA SOBRE LA MISMA SUPERFICIE FELDESPÁTICA.

### 2.3.2 C U A R Z O

EL CUARZO ES, DENTRO DE LOS MINERALES MÁS COMUNES EL MINERAL MÁS DIFÍCIL DE ALTERAR. DEBIDO A SU GRAN ABUNDANCIA, ES IMPOR-TANTE ESTUDIAR SU ESTRUCTURA Y LAS RELACIONES DE ÉSTA CON SU SUSCEPTIBILIDAD A LA ALTERACIÓN.

EL CUARZO CONSISTE DE UNA RED CONTINUA DE TETRAEDROS; SU CONS-TITUYENTE ESENCIAL, EL  $SiO_2$ , TAMBIÉN PUEDE EXISTIR EN OTRAS FORMAS TALES COMO ÓPALO, CALCEDONIA, ÁGATA Y CRISTOBALITA.

EL CUARZO ESTÁ PRESENTE EN MUCHAS ROCAS Y EN LA MAYORÍA DE LOS

SUELOS FRECUENTEMENTE, LLEGA A CONSTITUIR ENTRE EL 50 Y 90% DE LA ARENA (JACKSON, 1964).

A PESAR DE SER UN MINERAL ESTABLE, EL CUARZO PUEDE SER DISUELTTO, ESPECIALMENTE SI SE MUELE FINAMENTE, LAS FORMAS NO CRISTALINAS PUEDEN REACCIONAR, CON MATERIALES GIBSÍTICOS Y ORIGINAR MINERALES LAMINARES O ALÓFANOS.

### 2.3.3 OLIVINOS.

LA ESTRUCTURA FÍSICA DEL OLIVINO ES COMPACTA Y FUERTE, PERO LA ALTA PROPORCIÓN DE CATIONES DIVALENTES EN RELACIÓN AL SILICIO, DETERMINAN UN ATAQUE QUÍMICO RÁPIDO SOBRE LAS SUPERFICIES EXTERIORES, YA QUE EN ÉSTAS, LOS CATIONES NO ESTÁN PROTEGIDOS POR LOS TETRAEDROS DE SILICIO. EL PRODUCTO INTEMPÉRICO ES FRECUENTEMENTE UNA MEZCLA DE ÓXIDO DE HIERRO Y SILICATO DE MAGNESIO HIDRATADO (SERPENTINA) (MARSHALL, 1964).

DEBIDO A SU GRAN SUSCEPTIBILIDAD A LA INTEMPERIZACIÓN Y A SUS ELEMENTOS CONSTITUYENTES, LOS PRODUCTOS DE ALTERACIÓN FORMAN SUELOS QUE CONTIENEN UN BUEN SUMINISTRO DE ELEMENTOS NUTRIENTES PARA LAS PLANTAS (ESPECIALMENTE  $Mg^{+2}$  Y ALGUNOS ELEMENTOS MENORES COMO:  $Fe^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$  ENTRE OTROS).

### 2.3.4 PIROXENAS Y ANFIBOLES

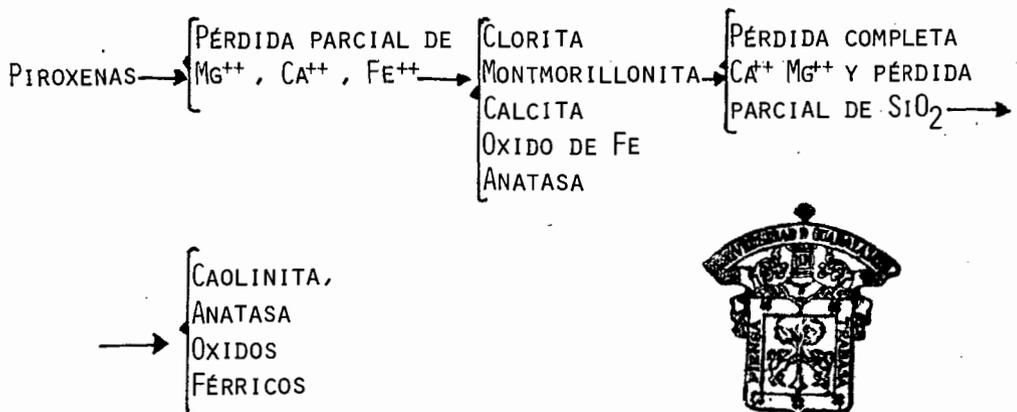
ÉSTOS MINERALES ESTÁN PRESENTES EN ROCAS ÍGNEAS BÁSICAS INTERMEDIAS; LAS PIROXENAS PREDOMINAN A MEDIDA QUE AUMENTA LA BASILIDAD O ALCALINIDAD ESTOS GRUPOS DE MINERALES DEBIDO A LAS CADENAS DE TETRAEDROS DE QUE ESTÁN COMPUESTOS Y QUE ENLAZAN DIFERENTES Y MUY VARIADOS MINERALES, SON EXCELENTE FUENTE DE ELEMENTOS MENORES, MAGNESIO, CALCIO, ASÍ COMO DE ARCILLAS. CUANDO LA PROPORCIÓN DE INTEMPERISMO ES ADECUADO DICHS ELEMENTOS SON FÁCILMENTE PROPORCIONADOS AL SUELO Y APROVECHADOS POR LAS PLANTAS.

LAS ANFÍBOLAS PRESENTAN COLOR NEGRO PREDOMINANTE A SIMPRE VISTA Y VERDE OSCURO CUANDO SE ENCUENTRAN FORMANDO CAPAS FINAS, EL COLOR ES DEBIDO AL HIERRO FERROSO O FÉRRICO PRESENTE EN LA ESTRUCTURA, YA QUE SI NO SE PRESENTA ÉSTE, EL COLOR TIENDE A SER BLANCO, CASO EN EL CUAL SU ALTERACIÓN SE VE RETARDADA. LA VARIEDAD NEGRA DE HORNBLENDA ES UN MINERAL FÁCILMENTE DESCOMPUESTO EN LA FORMACIÓN DEL SUELO.

ESTOS MINERALES AL ALTERARSE, DAN COMO RESULTADO SUELOS POBRES EN POTASIO; ÉSTO ESPECIALMENTE ES CIERTO, EN LAS ROCAS ANFIBOLÍTICAS Y EN LOS ESQUISTOS HORNBLÉNDICOS, NO OBSTANTE CEDER ELEMENTOS MENORES, CALCIO Y MAGNESIO AL MEDIO.

DENTRO DEL GRUPO DE LAS PIROXENAS, LA AUGITA ES EL MINERAL MÁS COMÚN; ESTE MINERAL FERROMAGNESIANO ES MUY ABUNDANTE EN ROCAS BÁSICAS. LAS PIROXENAS SON DESCOMPUESTAS SIMPLEMENTE Y DISUELTAS SIN FORMACIÓN DE PRODUCTOS INTERMEDIOS IMPORTANTES.

LA SECUENCIA INTEMPÉRICA PARA LAS PIROXENAS MÁS COMUNES EN SUELOS ES LA SIGUIENTE, DE ACUERDO A LOUGHNAN (1969):



LA PRESENCIA DE ESTOS MINERALES ES USADA COMO UN ÍNDICE DEL ESTADO DE INTEMPERISMO, DEBIDO A LA FACILIDAD DE SU ALTERACIÓN ASOCIADA A LA PRESENCIA DE  $Fe^{++}$  EN SU ESTRUCTURA.

GORBUNOV (1969) RELACIONA LA ALTERACIÓN DE PIROXENAS CON LA PRESENCIA DE PALIGORSKITA, ESPECIALMENTE EN ROCAS SALINAS Y ANTÍGUAS.

### 2.3.5 M I C A S

LAS MICAS OCURREN EXTENSAMENTE EN SUELOS, DEBIDO FUNDAMENTALMENTE A SU PRESENCIA EN EL MATERIAL PARENTAL, AUNQUE SE HA SUGERIDO (JACKSON 1964 Y DE VORE 1951), QUE PUEDEN FORMARSE EN LOS MISMOS SUELOS.

ESTOS MINERALES, DEBIDO A SU ESTRUCTURA COMPLEJA SON DIFÍCILES DE ALTERAR, SIN EMBARGO, LA MICA NEGRA O BIOTITA AL CONTENER HIERRO FERROSO EN SU ESTRUCTURA, SE ALTERA RÁPIDAMENTE. POR OTRA PARTE, LA MICA BLANCA O MUSCOVITA NECESITA MUCHO MÁS TIEMPO PARA INTEMPERIZARSE Y SE PUEDE CONSIDERAR COMO MINERAL DE DIFÍCIL ALTERACIÓN.

LAS MICAS SUMINISTRAN DIVERSOS ELEMENTOS A LOS SUELOS Y ENGENDRAN ARCILLAS DE GRAN IMPORTANCIA EN LOS MISMOS; ASÍ POR EJEMPLO, BIOTITA ES FUENTE DE  $Mg^{+2}$ ,  $Fe^{+2}$ ,  $K^{+}$  Y MEDIANTE ALTERACIÓN FORMA FÁCILMENTE VERMICULITA, POR EJEMPLO, MEDIANTE LA ACCIÓN DEL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS (MORTHAN ET AL 1950, CITADOS POR MALAGÓN 1975). MUSCOVITA SUMINISTRA POTASIO Y FORMA ARCILLAS SILICATADAS DE TIPO ILÍTICO.

EN LAS MICAS, LA FRACTURACIÓN FAVORECE A LA DESINTEGRACIÓN Y EN OPINIÓN DE HILGARD (1930), LA PRESENCIA DE ESTOS MINERALES NO AFECTAN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SUELO Y NO CONSTITUYE POR SÍ MISMA, UNA CAUSA DEFINITIVA DE LA CALIDAD DE LOS MISMOS; LOS MICA ESQUISTOS, ROCAS QUE ORIGINALMENTE LOS CONTIENEN EN GRAN CANTIDAD, FORMAN COMÚNMENTE SUELOS DE CALIDAD BAJA.

### 2.3.6. HIDROMICAS

LA PRESENCIA DE ESTE GRUPO ES DE ESPECIAL IMPORTANCIA EN ZONAS SUBHÚMEDAS, DONDE LA ALTERACIÓN DE LOS MINERALES ESTÁ RELATIVAMENTE POCO ACENTUADA; DENTRO DE LAS HIDROMICAS SE RECONOCEN FUNDAMENTALMENTE DOS GRUPOS (MARSHALL, 1964):

- A) GRUPO ILÍTICO.- DERIVADO ESPECIALMENTE DE LA MUSCOVITA SE RELACIONA ESTRECHAMENTE CON ELLA EN COMPOSICIÓN QUÍMICA Y SE DIFERENCIA, POR CONTENER CANTIDADES MENORES DE POTASIO Y MAYORES DE AGUA.
- B) GRUPO DE LAS VERMICULITAS Y DE LAS HIDROBIOTITAS.- ESTE GRUPO TIENE UNA RELACIÓN ÍNTIMA CON BIOTITA, YA QUE VERMICULITA ESTÁ INTEGRADA PARCIALMENTE POR LA INTERESTRATIFICACIÓN DE BIOTITA Y CAPAS DOBLES DE AGUA, MIENTRAS QUE LAS HIDROBIOTITAS, LO ESTÁN POR INTERESTRATIFICACIÓN DE VERMICULITA Y BIOTITA.

UN MODELO DE ALTERACIÓN DE LAS MICAS E HIDROMICAS ES EL SIGUIENTE:

MICA → HIDROMICA → ARCILLAS O MINERALES INTERESTRATIFICADOS

### 2.3.7 SECUENCIA DE INTEMPERIZACIÓN EN MINERALES DEL TAMAÑO DE LA ARCILLA.

LA INTEMPERIZACIÓN DE LOS MINERALES EN LA FRACCIÓN ARCILLOSA DE LOS SUELOS OFRECE UN ASPECTO ALGO DIFERENTE AL DE LA INTEMPERIZACIÓN DE LOS MINERALES DE LAS ROCAS. LOS MINERALES SECUNDARIOS (PRODUCTOS SECUNDARIOS DE LA INTEMPERIZACIÓN DE LOS MINERALES PRIMARIOS FORMADORES DE ROCAS) PREDOMINAN EN LAS ARCILLAS.

LA SECUENCIA DE INTEMPERIZACIÓN DE LOS MINERALES DEL TAMAÑO DE LA ARCILLA, SEGÚN LAS IDEAS DE (JACKSON ET AL 1949, 1953, 1964), SE MUESTRAN EN LA TABLA 1.1.

TABLA 1.1 Secuencia de intemperización de los minerales del tamaño de la arcilla\*

ETAPA DE INTEMPERISMO	MINERALES REPRESENTATIVOS
1	Sales solubles: yeso, halita
2	Calcita, dolomita, apatita y aragonito
3	Olivinos, piroxenas, anfíboles (diopsido, enstatita, hornblenda, etc).
4	Biotita, glauconita, clorita ferruginosa, serpentina, antigorita.
5	Anortita, albita, ortoclasa, microclina.
6	Cuarzo, cristobalita.
7	Illita (micas dioctaédricas), muscovita, sericita.
8	Vermiculita (micas hidratadas)
9	Montmorillonita, clorita aluminosa, beidelita.
10	Halloysita, caolinita
11	Gibbsita, bohemita, alofano, óxidos de aluminio.
12	Goetita, hematita, limonita, óxidos de hierro.
13	Anatasa, zircón, rutilo, ilmenita, óxidos de titanio.

\* Adaptado de Jackson, M.L. 1948. In F.E. Bear Ed. Chemistry of the Soil, Reinold, N.Y. 1964.

TABLA 1.2 Secuencia de alteración de varios minerales de acuerdo a Pettijohn (1941)

MINERAL	ALTERACION	MINERAL	ALTERACION
Anatasa	- 3	Cianita	10
Muscovita	- 2	Epidota	11
Rutilo	- 1	Hornblenda	12
Zircón	1	Andalucita	13
Turmalina	2	Topacio	14
Monacita	3	Esfena	15
Granate	4	Zoisita	16
Biotita	5	Augita	17
Apatito	6	Silimanita	18
Ilmenita	7	Hiperstena	19
Magnetita	8	Diposido	20
Estaurolita	9	Actinolita	21
		Olivino	22

AL OBSERVAR ESTA TABLA, PUEDE DEDUCIRSE, QUE LA ESTABILIDAD RELATIVA, DE MODO MUY GENERAL, ES LA SIGUIENTE: ÓXIDOS Y/O HIDRÓXIDOS DE  $Ti^{+4}$ ,  $Fe^{+2}$  Y  $Al^{+3}$  > SILICATOS LAMINARES ALUMINOSOS > CUARZO > FELDESPATOS ALCALINOS > SILICATOS LAMINARES FERRUGINOSOS > ANFIBOLES Y PIROXENAS > CARBONATOS > SALES SOLUBLES.

PETTIJOHN, (1941) AL COMPARAR LA COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE SEDIMENTOS RECIENTES Y SEDIMENTOS ANTIGUOS, CONCLUYE EN UNA SECUENCIA DE ALTERACIÓN (PERSISTENCIA): SE FUNDAMENTA EN LA ALTERABILIDAD Y DESCOMPOSICIÓN DE LAS ESPECIES MÁS FÁCILMENTE ALTERABLES DURANTE EL TRANSCURSO DEL TIEMPO. DICHA SECUENCIA SE PRESENTA EN LA TABLA 1.2.

EN ESTA SECUENCIA DEBE TENERSE EN CUENTA QUE LA PRESENCIA DE VARIOS MINERALES PUEDE EXPLICARSE POR AUTIGÉNESIS (ANATASA) Y QUE ADEMÁS EL MEDIO DE ALTERACIÓN VARÍA MARCADAMENTE, YA SEA QUE SE TRATE DE SEDIMENTOS O DEL MEDIO DEL SUELO EN SÍ. LOS SIGNOS NEGATIVOS DE ANATASA, MUSCOVITA Y RUTILO INDICAN SU TENDENCIA A ACUMULARSE Y PERSISTIR POR LARGOS PERIODOS DE TIEMPO Y A TRAVÉS DE VARIOS CICLOS DE ALTERACIÓN.

VARIAS SECUENCIAS ADICIONALES SE HAN PRESENTADO A LAS ANTERIORMENTE COMENTADAS, ENTRE OTRAS SE TIENE LA DE FIELDS Y SWINDALE (1954), TABLA 1.3 APLICABLE A LA FRACCIÓN TOTAL DEL SUELO, LA CUAL PRESENTA SOLAMENTE LA SECUENCIA DE MINERALES PRIMARIOS.

DE ACUERDO A AUBERT, (1971) LA ALTERABILIDAD DE LOS MINERALES PUEDE COMPENDIARSE EN LOS SIGUIENTES GRUPOS:

- A) ULTRA-ESTABLES: RUTILO, ZIRCÓN, TURMALINA.
- B) ESTABLES: LEUCOXENO, MUSCOVITA, CLORITA.
- C) SEMI-ESTABLES: APATITA, MONACITA, ESTAUROLITA, SILIMANITA, CIANITA, GRUPO EPIDOTA.
- D) NO ESTABLES: BIOTITA Y GRANATE, MAGNETITA (INESTABLE BAJO CONDICIONES OXIDANTES), ELENITAS, HORNBLENDAS, AUGITA, OLIVINOS.

TABLA 1.3 Secuencia intempérica de Fieldes y Swindale, 1954  
(Modificada en su presentación).

GRUPO	ESTRUCTURA SILICATADA DE LOS MINERALES PRIMARIOS	MINERAL PRIMARIO
1	Tetraedros discretos Cadenas sencillas Cadenas dobles	Olivino Augita, hiperstena Hornblenda
2	Amorfos Tetraedros unidos	Vidrios volcánicos (básicos) Zeolitas
3	Estructuras con tres capas y unión hexagonal	Biotita Muscovita
4	Amorfos Tetraedros unidos	Vidrio volcánico (ácido) Feldespatos
5	Tetraedros unidos	Cuarzo

## 2.4. LA FRACCIÓN ARCILLA DEL SUELO

LOS MINERALES ARCILLOSOS PROVIENEN DE LA ALTERACIÓN DE MINERALES PRIMARIOS (LOS CUALES DE UNA MANERA GENERAL SE HAN ANALIZADO EN LOS ANTERIORES INCISOS), CUYOS RESIDUOS SE REARREGLAN ESTRUCTURALMENTE PARA CONFORMAR UN CUERPO MINERALÓGICO CRISTALINO, CON CARACTERÍSTICAS COLOIDALES Y DE TAMAÑO MENOR DE DOS MICRAS DENOMINADO ARCILLA.

### 2.4.1. DEFINICIÓN

EL CONCEPTO PRIMITIVO DE ARCILLAS HA SUFRIDO PROFUNDAS TRANSFORMACIONES HASTA LLEGAR AL CONCEPTO ACTUAL.

SEGÚN SEA EL ENFOQUE CON QUE SE ANALICE, LA PALABRA ARCILLA PUEDE PRESENTAR DIFERENTES SIGNIFICADOS ENTRE LOS CUALES LOS MÁS COMUNES SON:

- SIGNIFICADO USUAL: ROCA PLÁSTICA EN ESTADO HÚMEDO (ARCILLOLITA), INTEGRADA POR ELEMENTOS CLÁSTICOS FINOS, CON DIÁMETROS COMPRENDIDOS ENTRE 4 Y 2 MICRONES.
- SIGNIFICADO MINERALÓGICO: MINERAL ALUMINOSILICATADO, CON GRADO VARIABLE DE HIDRATACIÓN Y ESTRUCTURA MICROCRISTALINA.
- SIGNIFICADO GRANULOMÉTRICO: DEFINIDO SEGÚN EL CRITERIO ESPECÍFICO UTILIZADO. PARA LAS CLASIFICACIONES NORTEAMERICANA E INTERNACIONAL EL LÍMITE MÁXIMO SE ENCUENTRA EN EL DIÁMETRO DE DOS MICRAS; NO OBSTANTE ALGUNAS CLASIFICACIONES GEOLÓGICAS CONSIDERAN DIÁMETROS DE 4 MICRAS COMO LÍMITE MÁXIMO.

### 2.4.2. IMPORTANCIA

LAS ARCILLAS SON DE GRAN IMPORTANCIA PARA EL HOMBRE, Y EN LOS

SUELOS PRESENTAN IMPORTANCIA DESDE DOS PUNTOS DE VISTA: EDAFOLÓGICOS Y PEDOLÓGICO. ADEMÁS SE LES EMPLEA CON FINES INDUSTRIALES Y, SEGÚN LOS ÚLTIMOS ESTUDIOS SE ENCUENTRAN INVOLUCRADOS HASTA EN EL ORIGEN DE LA VIDA (MILLOT, 1979).

#### IMPORTANCIA EDAFOLÓGICA.

- A) LAS ARCILLAS POR PRESENTAR CARGAS NEGATIVAS Y EN MENOR EXTENSIÓN POSITIVAS, PUEDEN RETENER TANTO CATIONES COMO ANIONES DENTRO DE LOS CUALES SE PRESENTAN ELEMENTOS NUTRIENTES TALES COMO:  $Ca^{++}$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $PO_4^{3-}$  ENTRE OTROS. DE ESTA MANERA LAS ARCILLAS FUNCIONAN COMO UN ALMACÉN DE NUTRIENTES PARA LAS PLANTAS.
- B) DEBIDO A SUS CARACTERÍSTICAS DE EXPANSIÓN Y CONTRACCIÓN, LAS ARCILLAS INFLUYEN EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO; LA POROSIDAD (MACRO Y MICRO), PERMEABILIDAD, INFILTRACIÓN, DIFUSIVIDAD TÉRMICA, ESTRUCTURA, CAPACIDAD DE AIRE Y DENSIDAD ENTRE OTRAS, SE VEN AFECTADAS GRANDEMENTE POR EL CONTENIDO ARCILLOSO PRESENTE EN EL MEDIO.
- C) LA FERTILIDAD POTENCIAL, ESTARÁ TAMBIÉN, Y EN TÉRMINOS GENERALES ASOCIADA A LA INTERPRETACIÓN PEDOLÓGICA, CON BASE AL TIPO DE ARCILLAS Y A LAS RELACIONES DE ESTOS MINERALES CON EL MEDIO DE FORMACIÓN.

#### IMPORTANCIA PEDOLÓGICA.

DEBIDO A SU RELACIÓN CON LA GÉNESIS DEL SUELO Y CON BASE A LA CONEXIÓN EXISTENTE ENTRE EL MEDIO Y LA ARCILLA FORMADA EN ÉL, PUEDEN DEDUCIRSE ASPECTOS EVOLUTIVOS, EDAD Y ETAPA INTEMPÉRICA PRESENTE EN EL SUELO. EN ESTE CASO LA ARCILLA DEBE HABER SIDO FORMADA EN EL MISMO MEDIO COMO RESPUESTA A LOS FACTORES Y PROCESOS DE FORMACIÓN Y NO SER HEREDADA DE MATERIALES GEOLÓGICOS BASALES. (MAGALÓN, 1975).

DEBE TENERSE EN CUENTA QUE NO SIEMPRE UN MINERAL ARCILLOSO INDICA RÍGIDAMENTE UN PROCESO DEFINIDO DE FORMACIÓN, YA QUE PUEDE ASOCIAR Y AGRUPAR A VARIOS DE ELLOS; ASÍ POR EJEMPLO, LA PRESENCIA DE HALOISITA-CAOLINITA EN SUELOS RELATIVAMENTE JÓVENES PROVENIENTES DE CENIZAS VOLCÁNICAS, ESTÁ FRECUENTEMENTE ASOCIADA A LA TRANSFORMACIÓN DE COLOIDES ALOFÁNICOS EN ARCILLAS PROPIAMENTE DICHAS (MALAGÓN 1975), ASÍ COMO TAMBIÉN LA PRESENCIA DE HALOISITA-METAHALOISITA; METAHALOISITA-CAOLINITA; HALOISITA-METAHALOISITA-ALOFANO-CAOLINITA, (AGUILERA, 1961, 1969 Y 1972). POR OTRA PARTE, EN SUELOS FERRALÍTICOS, CAOLINITA SE ENCUENTRA EN ALTAS PROPORCIONES DENTRO DE LA FRACCIÓN ARCILLOSA, PRESENTÁNDOSE ESTOS SUELOS COMPLETAMENTE OPUESTOS EN EDAD Y CARACTERÍSTICAS A LOS COMENTADOS ANTERIORMENTE; CAOLINITA EN ESTOS SUELOS PUEDE PROVENIR DE CONDICIONES FUERTES DE ALTERACIÓN; BUEN DRENAJE, CARENCIA DE CATIONES POR EFECTO DE LAVADO ENTRE OTROS. NO PODRÍA ENTONCES INFERIRSE UN PROCESO Y UNA INTERPRETACIÓN RÍGIDA, SOLAMENTE POR LA PRESENCIA DE CAOLINITA EN LA FRACCIÓN ARCILLOSA (MALAGÓN, 1975).

SIEMPRE Y CUANDO LA ARCILLA CORRESPONDA A PROCESOS GENÉTICOS, PODRÁN HACERSE INFERENCIAS COMO LAS ANTERIORMENTE COMENTADAS, EL CASO CONTRARIO OCURRE CUANDO EL MATERIAL NO SE HA DESARROLLADO IN SITU, SINO QUE HA SIDO HEREDADO, CASO MUY FRECUENTE SOBRE ZONAS SEDIMENTARIAS ARCILLOSAS (LIMOLITAS, ARCILLOLITAS).

#### IMPORTANCIA INDUSTRIAL.

LAS ARCILLAS NO SOLAMENTE TIENEN IMPORTANCIA PARA LA CIENCIA DEL SUELO, SINO QUE SON APROVECHADAS EN MUCHAS Y MUY VARIADAS INDUSTRIAS TALES COMO: CERÁMICA, INDUSTRIAS HULERAS, PAPELERAS, ACEITES, QUÍMICA, FARMACÉUTICA, COSMÉTICA, CEMENTERAS, ELÉCTRICAS, CONSTRUCCIÓN, PESTICIDAS ENTRE OTRAS (AGUILERA, 1949).

#### IMPORTANCIA EN OTROS CAMPOS.

DE ACUERDO CON G. MILLOT (1979) Y SEGÚN LOS ÚLTIMOS ESTUDIOS

LAS ARCILLAS PARECEN ESTAR INVOLUCRADAS EN EL ORIGEN DE LA VIDA SOBRE NUESTRO PLANETA. EN LA ACTUALIDAD SE CONTINÚA TRABAJANDO EN DIFERENTES INSTITUCIONES TALES COMO LA UNIVERSIDAD DE SANTA CLARA, LA UNIVERSIDAD HEBREA DE JERUSALEM Y LA NASA EN E.U. PARA DEMOSTRAR DE UNA MANERA CONVINCENTE ESTA TEORÍA. ESTO ESTÁ ÍNTIMAMENTE RELACIONADO CON EL AISLAMIENTO DE ADN (ACIDO DESOXIRIBONUCLEICO) Y TPN (TRIFOSFOPIRIDINNUCLEOTIDO), ACIDOS NUCLEICOS POR AGUILERA Y LAVÍN (1969).

### 2.4:3. ORIGEN DE LAS ARCILLAS.

ACTUALMENTE SE CONSIDERA QUE LAS ARCILLAS ESTÁN FORMADAS POR MINERALES DE UN TAMAÑO DETERMINADO Y CONSTITUIDAS TAMBIÉN POR MINERALES, CASI EN SU TOTALIDAD SILICATOS QUE PUEDEN SER HEREDADOS, TRANSFORMADOS O NEOFORMADOS SEGÚN LAS CONDICIONES A LAS QUE ESTÉ SOMETIDO EL MATERIAL ORIGINAL. CAILLIERE Y HENÍN (1962), PEDRO (1963).

TODAVÍA PUEDE HACERSE UNA DISTINCIÓN ENTRE LOS MINERALES QUE ESTÁN EN LA ARCILLA Y CUMPLEN LAS EXIGENCIAS REQUERIDAS DE TAMAÑO Y LOS MINERALES ARCILLOSOS QUE SON GENERALMENTE FILOSILICATOS Y EN ALGUNOS CASOS SILICATOS FIBROSOS.

SEGÚN LAS TEORÍAS DE JACKSON, MATTSON Y CORRENS, LAS ARCILLAS PUEDEN ORIGINARSE DE DIVERSOS MODOS. ESTAS TEORÍAS PODRÍAN RESUMIRSE COMO SIGUE:

TEORÍA DE JACKSON. - SEGÚN ESTA TEORÍA LA ARCILLA SURGE COMO FORMA RESIDUAL AL IRSE PERDIENDO ELEMENTOS COMO  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$ , E IR AUMENTANDO LA CANTIDAD DE AGUA EN EL SISTEMA. ESTA TEORÍA DEBIDO A LA BAJA ENERGÍA REQUERIDA EN LAS TRANSFORMACIONES EN COMPARACIÓN CON LAS OTRAS, PUEDE APLICARSE A ZONAS DONDE LAS CONDICIONES INTEMPÉRICAS NO SON MUY MARCADAS; EJEMPLOS DE ESTAS ALTERACIONES SON LAS SUFRIDAS POR LAS MICAS Y SUPERFICIES FELDESPÁTICAS (EN ALGUNOS CASOS CITADOS POR JACKSON (1964, 1969).

TEORÍA DE MATTSON.- ÉSTA TEORÍA EXPLICA LA APARICIÓN ARCILLOSA, ASOCIADA A UNA "NEOFORMACIÓN AL ESTADO COLOIDAL". ES NECESARIO ENTONCES TENER SUFICIENTE ENERGÍA ALTERANTE PARA HACER QUE LOS MINERALES SEAN ATACADOS DE TAL MANERA QUE SUS PRODUCTOS ORIGINEN GELES DE  $Al_2O_3$  Y DE  $SiO_2$ , LOS CUALES AL LLEGAR A SU PUNTO ISOLELÉCTRICO, FLOCULEN Y DEN ORIGEN A UNA "ARCILLA AMORFA", O EN OTRAS PALABRAS, UN COLOIDE COMPLEJO QUE POR ENVEJECIMIENTO POSTERIOR Y MEDIANTE CRISTALIZACIÓN CONSTITUYA LA ARCILLA PROPIAMENTE DICHA.

TEORÍA DE CORRENS.- ÉSTA TEORÍA EXPLICA LA FORMACIÓN DE ARCILLAS A PARTIR DE UN ESTADO NO COLOIDAL (COMO LO INSINÚA MATTSON, (1956). SINO IÓNICO (CON BASE A SILICIO Y ALUMINIO), DE CUYA COMBINACIÓN Y TRANSFORMACIÓN SURGE LA FORMA CRISTALINA, CORRENS (1958).

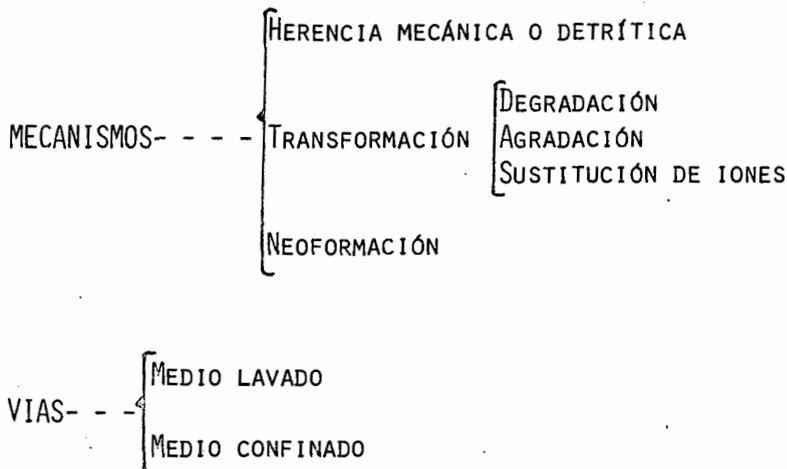
BAJO CONDICIONES INTEMPÉRICAS FUERTES, POR EJEMPLO EN REGIONES TROPICALES, ES POSIBLE LA APLICACIÓN DE ESTA ÚLTIMA TEORÍA.

EL ANÁLISIS DE LAS ANTERIORES TEORÍAS RELACIONADAS CON EL ORIGEN DE LAS ARCILLAS, NOS MUESTRA QUE LA APARICIÓN DE ESTOS NUEVOS CUERPOS MINERALES ES FUNDAMENTALMENTE POR MEDIO DE DOS TIPOS DE FENÓMENOS:

- A) DEGRADACIÓN.- MEDIANTE LA PÉRDIDA DE CONSTITUYENTES Y DEL GRADO CRISTALINO, DEBIDO A LOS FACTORES INTEMPÉRICOS, LOS MINERALES (MICAS Y FELDESPATOS) SE ALTERAN Y EN CONSECUENCIA, CEDEN EL MATERIAL REQUERIDO PARA LA FORMACIÓN DE LAS ARCILLAS.
- B) AGRADACIÓN.- TAMBIÉN LLAMADA AGREGACIÓN; LA ADICIÓN DE ELEMENTOS Y EL AUMENTO EN LA CRISTALINIDAD SON PROCESOS INVOLUCRADOS EN LA FORMACIÓN DE ARCILLAS.

POR OTRA PARTE, INVESTIGACIONES RECIENTES SOBRE LA FORMACIÓN DE

MINERALES ARCILLOSOS EN LA SUPERFICIE DE LA CORTEZA TERRESTRE PERMITEN ESTABLECER LOS SIGUIENTES MECANISMOS Y VÍAS DE ALTERACIÓN:



#### 2.4.4 CLASIFICACIÓN DE ARCILLAS

SE EXPONDRÁN LOS CRITERIOS QUE HAN ADOPTADO DOS ESCUELAS EN LO REFERENTE A LA CLASIFICACIÓN DE ARCILLAS: LA ESCUELA FRANCESA Y LA ESCUELA AMERICANA.

CRITERIOS DE LA ESCUELA FRANCESA.- LOS CRITERIOS DE LA ESCUELA FRANCESA (HENÍN Y CAILLERE, CITADOS POR DUCHAUFOUR, 1960), SE BASAN FUNDAMENTALMENTE EN LOS SIGUIENTES ASPECTOS:

1. ESTRUCTURA DE LAS LÁMINAS.- ESTA ESTRUCTURA HACE REFERENCIA A LA ASOCIACIÓN DE UNA O DOS CAPAS TETRAÉDRICAS CON UNA CAPA OCTAÉDRICA, DE TAL MANERA QUE SE CONSTITUYEN LOS MODELOS Te-Oc-Te (ARCILLAS DE RELACIÓN 2:1, DOS CAPAS TETRAÉDRICAS Y UNA OCTAÉDRICA, MODELOS 1:1),
2. ESPACIAMIENTO DE LAS LÁMINAS.- EL ESPACIAMIENTO SE REFIE-

RE A LA EXPANSIÓN QUE PUEDEN SUFRIR LAS LÁMINAS DE LAS ARCILLAS Y MINERALES ASOCIADOS.

3. ESTRUCTURA DE LA CAPA OCTAÉDRICA.- SE HABLE DE MINERALES DIOCTAÉDRICOS O DE MINERALES TRIOCTAÉDRICOS (VALENCIAS SATISFECHAS CON  $2 \text{ Al}^{+3}$  O  $3 \text{ Mg}^{+2}$  RESPECTIVAMENTE).
4. SUSTITUCIONES EN LAS CAPAS.- SE REFIERE A LAS SUSTITUCIONES ISOMÓRFICAS QUE SE PRESENTAN EN LAS CAPAS.

CRITERIOS DE LA ESCUELA AMERICANA.- LOS MINERALOGISTAS DE ARCILLAS DE LA ESCUELA AMERICANA (GRIM 1953, JACKSON ET AL, 1963, CLAY MINERALS SOCIETY 1968, ENTRE OTROS), SE BASAN EN LAS PROPIEDADES CRISTALINAS QUE PRESENTAN LAS ARCILLAS A DESPECHO DE SU INCONCEBIBLE PEQUEÑEZ, COMO BASE PARA SU CLASIFICACIÓN. TOMAN EN CUENTA TAMBIÉN LA FORMA Y FIGURA DE LAS CAPAS (EQUIDIMENSIONALES, FLONGADAS), EL NÚMERO DE CAPAS (DOS, TRES CAPAS), LA ESTRUCTURA QUE POSEEN LOS DIFERENTES MINERALES ARCILLOSOS.

EN LAS TABLAS 1.4, 1.5 Y 1.6 SE RESUMEN LOS CRITERIOS DOMINANTES DE ESTAS DOS ESCUELAS.

ES CONVENIENTE ACLARAR QUE SI LA AGRUPACIÓN EN UNIDADES TAXONÓMICAS ES DIFERENTE ENTRE LAS ESCUELAS, ESTA DIFERENCIA SÓLO ES DE CRITERIOS O PUNTOS DE VISTA, LOS CUALES EN ALGUNOS CASOS SON TOMADOS CON MAYOR IMPORTANCIA QUE EN OTROS.

#### 2.4.5 PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS.

LAS PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS SON MUCHAS Y MUY VARIADAS. ENTRE LAS PRINCIPALES SE ENCUENTRAN: LAS FÍSICAS (COHESIÓN, ADHERENCIA, PLASTICIDAD ENTRE OTRAS), LAS QUÍMICAS (ANIÓN POLIVALENTE DE TAMAÑO GIGANTE), LAS RELACIONADAS CON LAS PROPIEDADES ELECTROKINÉTICAS (POTENCIAL Z, DOBLE CAPA DIFUSA) Y LAS ELECTROQUÍMICAS (FLOCULACIÓN, DISPERSIÓN). ESTAS PROPIEDADES

TABLA 1.4. Clasificación francesa de arcillas (según Henin y Caillere, citados por Duchaufour, 1960).

A. ARCILLAS FILITICAS (Laminares)

1. Modelo te-oc-te

1. Espaciamento laminar de  $10 \text{ \AA}$

1.1. Dioctaédrica  $(Al^{+++})_2$

a) Sustitución en la capa tetraédrica

- Espaciamento constante: Ilita

- Espaciamento variable: Vermiculita

Beidelita

Nontronita

b) Sin sustitución en la capa tetraédrica

- Espaciamento constante: Pirofilita

- Espaciamento variable: Montmorillonita

1.2. Trioctaédrica  $(Mg^{++})_3$ : Talco

2. Espaciamento laminar de  $14 \text{ \AA}$

a) Sustitución en la capa tetraédrica: Cloritas

II. Modelo te-oc

1. Espaciamento laminar de  $7 \text{ \AA}$

1.1. Dioctaédrica  $(Al^{+++})_2$

- Espaciamento constante: Caolinita

- Espaciamento variable: Haloisita

1.2. Trioctaédrica  $(Mg^{++})_3$ : Antigorita

B. ARCILLAS FIBROSAS

1. Modelo te-oc-te (en cintas)

1. Espaciamento de  $10 \text{ \AA}$ : Atapulgita

II. Asociación de 1 fibra de  $SiO_2$  y una de  $Mg(OH)_2$

1. Espaciamento  $12 \text{ \AA}$ : Sepiolita

TABLA 1.5. Clasificación de minerales arcillosos (Grim, 1968)

1. Materiales amorfos

Grupo de la alofana

II. Materiales cristalinos

## A. Tipo de dos capas (tetraedro-octaedro)

1. Equidimensionales: Grupo de la caolinita (caolinita, nacrita, etc)
2. Elongadas: Grupo de la haloisita

## B. Tipo de tres capas (dos capas tetraédricas y una octaédrica)

## 1. Expandibles

a) Equidimensionales

Grupo de la montmorillonita

Vermiculita

b) Elongados

Grupo de la montmorillonita

(nontronita, saponita, hectorita)

2. No expandibles

Grupo de la illita

## C. Tipo de capas regulares mezcladas (ordenamiento de capas alternadas)

Grupo de la clorita

- D. Tipo de estructura en cadenas (cadenas similares a hornblenda, es decir, tetraedros enlazados por grupos-octapedricos con oxígeno e hidróxidos; la estructura contiene además aluminio y magnesio).

Atapulgita

Sepiolita

TABLA 1.6 Clasificación de filosilicatos - relacionados con minerales arcillosos- (Clay Minerals Society. Clays and clay minerals.1968. Soil Sci. Amer. July 1971).

Tipo	Grupo	Subgrupo	Especies
1:1	Caolinita	Caolinitas	Caolinita, hqloisita
	Serpentina $X \sim 0$ (*)	Serpentinas	Crisotilo, antigorita
2:1	Pirofilita	Pirofilitas	Pirofilita
	Talco	Talcos	Talco
	$X \sim 0$		
	Esmectita o Esmectitas o montmorillonitas		Montmorillonita
	Montmorillonita- saponita	diocetaédricas	Beidelita Nontronita
	$X \sim 0.25-0.6$	Esmectitas o Saponitas Triocetapedricas	Saponita Hectorita Sauconita
	Vermiculita	Vermiculita dioctaédrica	Vermiculita dioctaédrica
	$X \sim 0.6-0.9$	Vermiculita trioctaédrica	Vermiculita trioctaédrica
	Mica (**)	Micas dioctaédricas	Muscovita. Paragonita
	$X \sim 1$	Micas trioctaédricas	Biotita. Flogopita
	Mica frágil	Micas dioctaédricas	Margarita
	$X \sim 2$	Micas trioctaédricas	Clintonita
2:1:1	Clorita	Cloritas dioctaédricas (4-5 cationes oct. por fórmula unitaria).	
	X variable	Cloritas trioctaédricas (5-6 cationes oct. por fórmula unitaria).	Penina Clinoclora Proclorita

(\*) Carga por fórmula unitaria, relacionada con la sust. isomórfica (ver Grim., 1968, p: 85-86).

(\*\*) Illita (hidromica), sericita, etc, no están exactamente ubicadas en el esquema al igual que muchos materiales interestratificados.

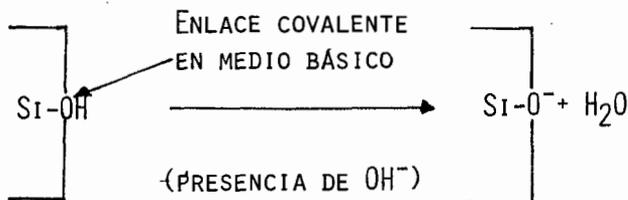
SE FUNDAMENTAN EN LAS CARACTERÍSTICAS COLOIDALES, DE SUPERFICIE Y CARGA ELÉCTRICA QUE PRESENTAN ESTOS MINERALES.

### ORIGEN DE LA CARGA ELÉCTRICA EN LAS ARCILLAS.

EXISTEN DIVERSAS TEORÍAS PARA EXPLICAR LA APARICIÓN DE LA CARGA ELÉCTRICA EN LAS ARCILLAS. LAS DOS IDEAS MÁS GENERALMENTE ACEPTADAS SON LAS RELACIONADAS AL ORIGEN DE LAS CARGAS POR:

- A) RUPTURA EN LAS ARISTAS DE LOS CRISTALES DEL MINERAL Y
- B) EL FENÓMENO DE LAS SUSTITUCIONES ISOMÓRFICAS.

CARGA DE ARISTA.- ESTA ES UNA CARGA ORIGINADA EN LA RUPTURA DE LOS BORDES DE LAS HOJAS DE SÍLICE Y ALÚMINA. TAMBIÉN LAS CARAS O SUPERFICIES EXTERNAS DE LOS MINERALES, COMO LA CAOLINITA, TIENEN EXPUESTOS GRUPOS OXIDRILLO QUE ACTÚAN COMO LUGARES DE CAMBIO, EL  $H^+$  DE ESTOS RADICALES  $OH^-$  SE SEPARA LIGERAMENTE Y LA SUPERFICIE COLOIDAL DE LA IZQUIERDA QUEDA CON UNA CARGA NEGATIVA, LLEVADA POR EL  $O^{+2}$ , EL  $H^+$  QUEDA SUELTO A DISPOSICIÓN DE SER SUSTITUIDO. ESQUEMÁTICAMENTE PODRÍA RESUMIRSE COMO SIGUE:

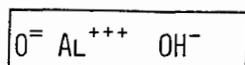


DE ESTA MANERA SE ORIGINA LA CARGA NEGATIVA ÚTIL PARA EL INTERCAMBIO DE CATIONES.

CARGA POR SUSTITUCIONES ISOMÓRFICAS.- EL SEGUNDO ORIGEN DE LAS CARGAS NEGATIVAS SUPERFICIALES APORTADAS POR LOS CRISTALES DE ARCILLA ES EL LLAMADO PROCESO DE LAS SUSTITUCIONES ISO

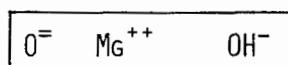
MÓRFICAS O SEA LA SUSTICIÓN DE IÓN POR IÓN SIN CAMBIAR LA ESTRUCTURA CRISTALINA. A MANERA DE EJEMPLO SE PRESENTA EN FORMA ESQUEMÁTICA EL SIGUIENTE:

CADENA DE ALÚMINA  
(SIN SUSTITUCIÓN)



SIN CARGA LIBRE

CADENA DE ALÚMINA  
( $\text{AL}^{3+}$  SUSTITUIDO POR  $\text{MG}^{2+}$ )



HAY UNA CARGA NEGATIVA DE MÁS

ESTA CARGA ELÉCTRICA NO SATISFECHA, GENERALMENTE ESTÁ BALANCEADA CON  $\text{K}^+$  Y CUANDO EL MINERAL SE HIDRATA, EXPANDE SU ESTRUCTURA Y SE LIBERA ALGO DE ESTE ELEMENTO; LA CARGA EN CUESTIÓN ES ENTONCES APROVECHADA PARA EL INTERCAMBIO DE CATIONES.

#### 2.4.6 MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ARCILLAS.

LOS PROBLEMAS INVOLUCRADOS EN LA IDENTIFICACIÓN DE ARCILLAS SON EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS FRECUENTES Y MUCHAS VECES DIFÍCILES DE RESOLVER, YA QUE ES MUY COMÚN QUE LA FRACCIÓN ARCILLOSA SEA UNA MEZCLA DE VARIAS ESPECIES MÁS QUE UN SOLO MATERIAL, LO CUAL DIFICULTA ENORMEMENTE SU INDIVIDUALIZACIÓN DETERMINATIVA.

SE HA PROPUESTO UNA GAMA DE TÉCNICAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE MINERALES ARCILLOSOS Y RELACIONADOS; SE ENCUENTRAN ASÍ EN LA LITERATURA PEDOLÓGICA, DESDE LAS METODOLOGÍAS MÁS SIMPLES UTILIZADAS EN UN PRINCIPIO (QUE SON ALGUNAS ESCASAMENTE APROXIMADAS Y OTRAS MUY APROXIMADAS), HASTA LAS ACTUALES QUE SON REALMENTE PRECISAS Y QUE DAN MAYOR INFORMACIÓN SOBRE LAS ARCILLAS.

LOS MÉTODOS UTILIZADOS EN LA DETERMINACIÓN DE MINERALES PRESENTES EN LA FRACCIÓN ARCILLOSA SE CLASIFICAN EN:

## A. GENERALES Y POCO PRECISOS

1. COLOR
2. DENSIDAD
3. INDICE DE PLASTICIDAD
4. FIJACIÓN DE COLORANTES

## B. MEDIANAMENTE PRECISOS

1. TINCIÓN
2. ANÁLISIS QUÍMICO POR FUSIÓN
3. CURVAS DE TITULACIÓN
4. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO Y ANIÓNICO

## C. PRECISOS

1. RAYOS X
2. ANÁLISIS TÉRMICO DIFERENCIAL (ATD)
3. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA
4. ABSORCIÓN DE INFRARROJOS
5. ANÁLISIS TÉRMICO TOTAL (ATT)
6. SUPERFICIE ESPECÍFICA

ESTAS CATEGORÍAS NO INDICAN EXACTAMENTE SU CLASIFICACIÓN O UBICACIÓN PERO SIRVEN COMO UN CRITERIO GENERAL PARA ESTUDIARLOS.

ES NECESARIO RESALTAR QUE EN LA IDENTIFICACIÓN ARCILLOSA, ES SUMAMENTE DIFÍCIL, EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS, DEFINIR EXACTAMENTE SU COMPOSICIÓN MINERALÓGICA VALIÉNDOSE DE UN MÉTODO PRE

CISO EXCLUSIVAMENTE; NO OBSTANTE Y CON LA AYUDA DE VARIAS TÉCNICAS ANALÍTICAS PRECISAS, GENERALMENTE TRES DE ELLAS, PUEDEN LLEGARSE A DEFINIR LOS MINERALES MÁS ESPECÍFICOS DENTRO DEL COMPLEJO ARCILLOSOS.

SIN EMBARGO, NO SIEMPRE SE PUEDE CONTAR CON LOS MEDIOS O RECURSOS NECESARIOS PARA PODER REALIZAR LA IDENTIFICACIÓN ARCILLOSA, TAL COMO SUCEDIÓ EN EL PRESENTE TRABAJO EN QUE NO FUE POSIBLE TENER ACCESO MÁS QUE A UN SOLO INSTRUMENTO ANALÍTICO (DIFRACCIÓN DE RAYOS X), DEBIDO MÁS QUE NADA A QUE EN NUESTRO MEDIO EXISTEN POCOS APARATOS NECESARIOS PARA REALIZAR LA IDENTIFICACIÓN ARCILLOSA CON FINES CIENTÍFICOS. POR ÉSTO SE CONSULTÓ CON ALGUNOS ESPECIALISTAS EN SUELOS\*, LOS CUALES COINCIDIERON EN AFIRMAR QUE CUANDO NO SE PUEDA REALIZAR LA IDENTIFICACIÓN MINERALÓGICA MÁS QUE CON UN SÓLO MÉTODO, SIEMPRE DEBERÁ PROCURARSE QUE SEA EL DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X, YA QUE ES EL QUE PROVEE DE MAYOR INFORMACIÓN EN RELACIÓN A LAS OTRAS TÉCNICAS ANALÍTICAS.



\* Angel Hoyos de Castro, Nicolás Aguilera, José García Vicente. (Consulta personal).

## III

## MATERIALES Y METODOS

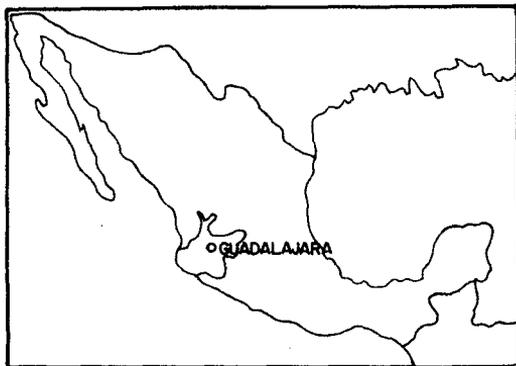
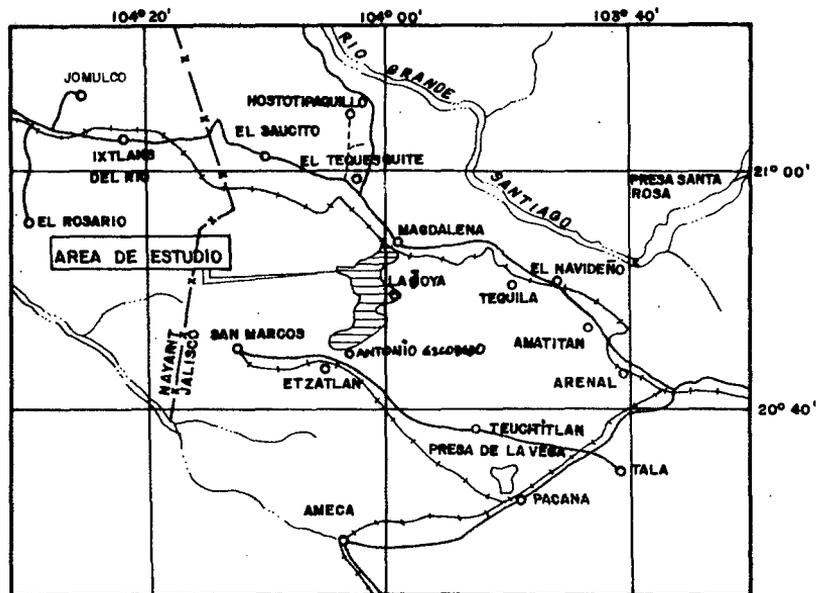
3.1 DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO3.1.1 LOCALIZACIÓN, SUPERFICIE Y LÍMITES DEL AREA DE ESTUDIO

LA ZONA DE ESTUDIO FORMA PARTE DEL DISTRITO DE RIEGO # 13, SE DENOMINA UNIDAD DE RIEGO DE MAGDALENA Y SE ENCUENTRA SITUADA EN LA PARTE NOROESTE DEL ESTADO DE JALISCO, APROXIMADAMENTE A 85 KM DE GUADALAJARA. (FIG. 3.17)

GEOGRÁFICAMENTE SE LOCALIZA ENTRE LOS  $20^{\circ}45'$  Y  $20^{\circ}55'$  DE LATITUD NORTE Y ENTRE LOS  $103^{\circ}59'$  Y  $104^{\circ}05'$  LONGITUD OESTE, A UNA ALTITUD MEDIA DE 1360 MSNM. LA SUPERFICIE QUE CUBRE EL MUESTREO REALIZADO ES DE APROXIMADAMENTE 7,000 HA, MISMAS QUE REPRESENTAN LA TOTALIDAD DEL VASO DE LA CUENCA, TENIENDO COMO LÍMITES APROXIMADOS: AL N EL POBLADO DE MAGDALENA, LA PRESA DEL TRIGO Y LA PRESA DEL LLANO; AL S EL POBLADO DE ANTONIO ESCOBEDO; AL O EL POBLADO SAN PEDRO, LA PRESA COATEPEC Y LA PRESA SANTA ROSALÍA; Y AL E EL POBLADO LA JOYA.

EN CUANTO A COMUNICACIÓN, ESTA ZONA SE ENCUENTRA BIEN COMUNICADA, YA QUE SE PUEDE LLEGAR POR LA CARRETERA FEDERAL # 15 GUADALAJARA-MAGDALENA, LA CARRETERA FEDERAL # 70 GUADALAJARA-TALA, LA CARRETERA ESTATAL GUADALAJARA-SAN MARCOS Y EL RAMAL PAVIMENTADO QUE VA DE LA DESVIACIÓN DE ETZATLÁN AL POBLADO ANTONIO ESCOBEDO, ASÍ COMO UNA RED DE BRECHAS Y CAMINOS DE TERRACERÍA TRANSITABLES LA MAYOR PARTE DEL AÑO Y QUE INTERCOMUNICAN TODA EL ÁREA DE ESTUDIO. POR OTRA PARTE SE TIENE EL RAMAL DEL FERROCARRIL GUADALAJARA-SAN MARCOS, ASÍ COMO UNA PISTA DE ATERRIZAJE EN LA POBLACIÓN DE MAGDALENA PARA NAVÉS PEQUEÑAS.

Figura 3.17 LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO



### 3.1.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

EL ÁREA DE ESTUDIO ESTÁ LOCALIZADA EN LA PORCIÓN CENTRO DE LA PROVINCIA FISIAGRÁFICA DENOMINADA EJE VOLCÁNICO TRANSVERSAL (SARH, SUBDIRECCIÓN DE AGROLOGÍA 1981).

LITOLÓGICAMENTE ESTÁ REPRESENTADA POR ROCAS DE ORIGEN ÍGNEO EXTRUSIVO, TALES COMO BASALTOS, ANDESITAS, RIOLITAS, AGLOMERADOS HASTA ESCORIAS VOLCÁNICAS Y TOBAS DE EDAD CENOZOICO MEDIO VOLCÁNICO Y QUE CUBREN SUELOS DEL CRETÁCICO (SARH, SUBDIRECCIÓN DE AGROLOGÍA, 1977).

EL RELIEVE ACTUAL ES PRODUCTO DEL VOLCANISMO INTENSO DEL PLEISTOCENO DE LA ERA CENOZOICA, EXISTIENDO ROCAS SEDIMENTARIAS, LAS CUALES SE MANIFIESTAN EN PARTE DEL ÁREA ESTUDIADA, EN CUYO PERFIL SE ENCONTRÓ UN SEDIMENTO PIROCLÁSICO (TOBA BASÁLTICA) SOBRE EL QUE DESCANSA UN SEDIMENTO CLÁSTICO; ÉSTO PERMITIÓ CONCLUIR QUE EN EL PLEISTOCENO, LOS SUELOS PREEXISTENTES CORRESPONDIENTES AL CRETÁCICO FUERON AZOLVADOS POR LA TOBA BASÁLTICA Y ÉSTOS A SU VEZ POR EL SEDIMENTO CLÁSTICO, COMPUESTO POR MINERALES PROCEDENTES DE ROCAS ÍGNEAS DE ORIGEN BASÁLTICO, QUE A SU VEZ GENERAN SUELOS CON TEXTURAS FINAS Y PH LIGERAMENTE ALCALINOS, ALTOS EN  $Ca^{++}$  Y  $Mg^{++}$ , CONSECUENCIA DE APORTACIONES DE PLAGIOCLASAS Y AUGITAS POR LOS BASALTOS (SARH, SUBDIRECCIÓN DE AGROLOGÍA, 1977).

EL BASALTO SE PRESENTA EN CAPAS GRISES, ROJIZAS Y NEGRAS. EL AGLOMERADO SE ENCUENTRA PRESENTE EN FRAGMENTOS DE TAMAÑO DIVERSO CON MATERIAL ARENOSO O ARENO-ARCILLOSO ENTRE LAS JUNTAS DE BASALTO, LO QUE LO HACE POCO COHESIVO. LA ESCORIA SE PRESENTA SOBRE TODO EN LAS LADERAS DE LOS CERROS QUE RODEAN EL VASO DE LA EXLAGUNA EN FORMA DE ESCOMBROS DE TEZONTLE. LAS TOBAS SE HAYAN EN AFLORAMIENTOS ARENOSOS Y PUMÍTICOS EN ÁREAS REDUCIDAS. (BORREGO, 1969).

GEOMORFOLÓGICAMENTE LA EXLAGUNA DE MAGDALENA SE LOCALIZA DENTRO DE UNA GEOFORMA 2° ORDEN DENOMINADA EJE NEOVOLCÁNICO (RAISZ 1963). EN FORMA PARTICULAR ESTA ZONA ES EL VASO DE UNA CUENCA CERRADA,

RODEADO POR ELEVACIONES TOPOGRÁFICAS COMO SON LA SIERRA DE ETZATLÁN Y AMECA, LA SIERRA DE TEQUILA Y EL CERRO DE LA MAGDALENA, MISMAS QUE HAN ACTUADO COMO FUENTE SUMINISTRADORA DE MATERIAL DE TRÍTICO AL VASO.

### 3.1.3 C L I M A

PARA ESTUDIAR EL CLIMA DE LA ZONA SE ANALIZARON LOS DATOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DENOMINADA ANTONIO ESCOBEDO (SAN JUANITO), POR SER LA MÁS REPRESENTATIVA DE LA ZONA, EL PERIODO DE OBSERVACIÓN FUE DE 37 AÑOS (1944-1981). EL ANÁLISIS DE LOS DATOS REPORTA LO SIGUIENTE:

TEMPERATURA. LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL FUE DE 19,6°C, LA MÍNIMA MEDIA ANUAL FUE DE 9,0°C Y LA MÁXIMA MEDIA ANUAL FUE DE 33,01°C. LA MÁXIMA DE LAS EXTREMAS FUE DE 40,0°C Y LA MÍNIMA EXTREMA DE - 4,8°C.

PRECIPITACIÓN. LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL FUE DE 1001,0 MM. SE DEFINE UN PERIODO LLUVIOSO DE CUATRO MESES (JUNIO-SEPTIEMBRE) EN EL CUAL CAEN 837,7 MM EQUIVALENTES AL 83,7% DEL TOTAL ANUAL, ASÍ COMO UN PERIODO SECO DE OCHO MESES (OCTUBRE-MAYO) EN EL CUAL CAEN 163,4 MM EQUIVALENTES AL 16,3% DEL TOTAL ANUAL.

EVAPORACIÓN. LA EVAPORACIÓN MEDIA ANUAL FUE DE 916,0 MM; LOS MESES DE MAYOR EVAPOTRANSPIRACIÓN FUERON DE MAYO A OCTUBRE CON UN TOTAL DE 587,5 MM Y EN LOS MESES RESTANTES SE EVAPOTRANSPIRAN 328,5 MM.

VIENTOS. LOS VIENTOS SON MODERADOS Y SE PRESENTAN TODO EL AÑO CON UNA DIRECCIÓN DE OESTE A ESTE Y CON UNA VELOCIDAD DE 7-14 KM/H.

HELADAS. POR DISPONER DE UNA TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA DE -4,8°C ES FACTIBLE QUE SE PRESENTEN HELADAS EN LOS MESES DE DICIEMBRE-FEBRERO Y CON MAYOR FRECUENCIA EN ESTE ÚLTIMO.

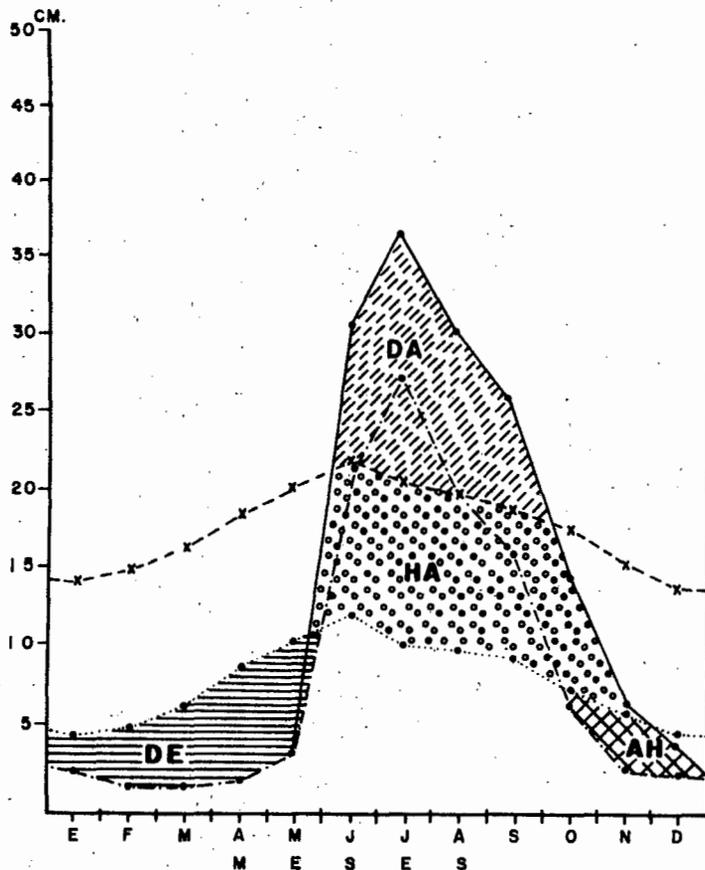
# CLIMOGRAMA SEGUNDO SISTEMA DE THORNTHWAITE

Estación: ANTONIO ESCOBEDO, JAL.

LAT. 20° 48'

LONG. 104° 08'

ALT. 1360 m.s.n.m.



## C L A V E

----- PR = PRECIPITACION

..... EP = EVAPOTRANSPIRACION

----- X = EP + IO

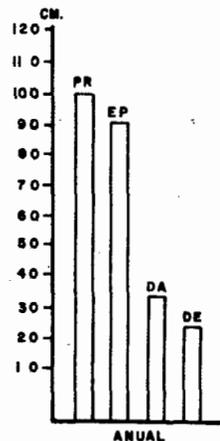
PR + HA (HA DEL MES ANTERIOR)

DA = DEMASIAS DE HUMEDAD

HA = HUMEDAD ALMACENADA

DE = DEFICIENCIAS DE HUMEDAD

AH = APROVECHAMIENTO DE HA



# CLASIFICACION DEL CLIMA — SEGUNDO SISTEMA DE THORNTHWAIT

ESTACION: ANTONIO ESCOBEDO PERIODO DE OBSERVACION: 1944 - 1981

LOCALIZACION: { ESTADO: JALISCO POBLACION y MUNICIPIO: Antonio Escobedo  
 LATITUD: 20º 48' LONGITUD: 104º 08' ALTITUD: 1360 m.s.n.m.

CONCEPTO	M E S E S												VALOR MEDIO ANUAL
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
TEMP. MEDIA (TE)	15.3	16.4	18.1	20.4	22.4	23.4	21.7	21.6	21.6	20.1	17.8	15.9	TEA= 19.6
PRECIP. MEDIA (PR)	1.66	0.72	0.78	0.84	3.14	20.96	26.94	20.08	15.79	5.90	1.63	1.61	PRA= 100.1
INDICE DE CALOR (ICM)	5.44	6.04	7.01	8.41	9.68	10.35	9.23	9.16	9.16	8.22	6.84	5.76	ICA= 95.30
EVAPOTRANS. SIN. CORR.(EV)	4.29	4.96	6.09	7.82	9.50	10.40	8.89	8.81	8.81	7.58	5.88	4.65	
FACTOR DE CORR. (FC)	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94	
EVAPOTRANS. POT. CORR.(EP)	4.08	4.46	6.27	8.21	10.73	11.55	10.14	9.77	8.98	7.58	5.47	4.37	EPA= 91.6
MOV. DE HUM. (MH)	-1.72	0.0	0.0	0.0	0.0	9.41	0.59	0.0	0.0	-1.68	-3.84	-1.72	
HUM. ALMAC. (AH)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.41	10.0	10.0	10.0	8.32	4.48	1.72	
DEMASIA DE A. (DA)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.21	10.31	6.81	0.0	0.0	0.0	DAA= 33.33
DEFIC. DE A. (DE)	0.7	3.74	5.49	7.37	7.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	DEA= 24.89
EVAPOTRANS. REAL (ER)	3.38	0.72	0.78	0.84	3.14	17.55	10.14	9.77	8.98	7.58	5.47	4.37	
ESCURRIMIENTO (ES)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.11	9.21	5.98	1.70	0.0	0.0	
RELACION PLUVIAL (RP)	-0.59	-0.84	-0.88	-0.90	-0.71	-0.81	1.66	1.05	0.76	-0.22	-0.70	-0.63	

INDICE DE HUMEDAD. (IH) = 36.39

INDICE PLUVIAL.(IP)= 20.09

INDICE DE ARIDEZ. (IA) 27.17

CONCENTRACION TERMICA.(CT)= 35.39

## F O R M U L A

**C O N C E P T O :**

**C L A V E :**

**D E S C R I P C I O N :**

- Categoría de Humedad. —
- Regimen de Humedad. —
- Categoría de Temperatura. —
- Regimen de Temperatura. —

- PE
- HC
- TC
- VA

- Moderadamente húmedo
- Moderada deficiencia de agua invernal
- Templado cálido
- Concentración de calor en el verano más baja.

CLASIFICACIÓN DEL CLIMA. DE ACUERDO CON EL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DEL DR. C.W. THORNTHWAITTE LA ZONA SE CLASIFICA COMO: TEMPLADO CÁLIDA MODERADAMENTE HÚMEDA CON MODERADA DEFICIENCIA DE AGUA INVERNAL Y CON BAJA CONCENTRACIÓN DE CALOR EN EL VERANO.

### 3.1.4 SUELOS

EN EL ESTUDIO REALIZADO POR LA SUBDIRECCIÓN DE AGROLOGÍA DE LA SARH EN 1977, SE INDICA QUE LOS SUELOS DE LA ZONA ESTÁN FORMADOS EN SU MAYOR PARTE POR SEDIMENTOS PIROCLÁSTICOS PROCEDENTES DEL VOLCÁN DE TEQUILA, LOS CUALES HAN SIDO TRANSPORTADOS POR LA ACCIÓN HÍDRICA Y EOLICA Y DEPOSITADOS EN LAS PARTES BAJAS DE LA ACTUAL EX-LAGUNA DE MAGDALENA, LA PRESENCIA DE TOBA DE ORIGEN ÍGNEO TAMBIÉN FUE CUBIERTA POR EL MATERIAL PROCEDENTE DE LA METEORIZACIÓN DE ROCAS ÍGNEAS PREDOMINANDO LA ANDESITA, EN LAS PARTES DE LA CUENCA.

EN FORMA GENERAL, EN LA ZONA EXISTEN SUELOS PROFUNDOS CON TEXTURAS ARCILLOSAS EN LA MAYORÍA DE SUS HORIZONTES, LA TOPOGRAFÍA DOMINANTE ES PLANA CON PENDIENTES SUAVES, PRESENTANDO INUNDACIONES EN LAS PARTES MÁS BAJAS EN ÉPOCA DE LLUVIAS.

ES IMPORTANTE MENCIONAR QUE SE PUDO DISPONER DE LOS DATOS DE UN ESTUDIO DE LA ZONA QUE FUE REALIZADO EN EL AÑO DE 1940 EN EL CUAL LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS OBTENIDOS INDICAN CANTIDADES MUY ALTAS DE MATERIA ORGÁNICA (>20%), SOBRE TODO EN LA PARTE SUPERFICIAL DEL PERFIL DEL SUELO, LO QUE HACE SUPONER QUE EL HORIZONTE SUPERFICIAL ERA UN EPIPEDÓN HÍSTICO Y ÉSTO ES IMPORTANTE MENCIONARLO YA QUE ACTUALMENTE Y DEBIDO AL USO Y MANEJO DE LOS SUELOS HA EVOLUCIONADO HASTA CONVERTIRSE EN UN EPIPEDÓN MÓLICO.

POR FOTOINTERPRETACIÓN PRELIMINAR Y RECORRIDOS DE CAMPO QUE SE REALIZARON, SE DELIMITARON TRES ZONAS CON DIFERENCIACIÓN DE SUELOS. ESTAS TRES ZONAS EN ESTUDIOS AGROLÓGICOS PODRÍAN TOMARSE COMO "SERIES" DE SUELOS. ESTAS SERIES PRESENTAN LAS SIGUIENTES

## CARACTERÍSTICAS SOBRESALIENTES:

SERIE No. 1.- Es, con mucho, la que ocupa la mayor superficie, aproximadamente 5,600 ha, mismas que representan el 80% del total estudiado. Son suelos planos, con un modo de formación coluvial-lacustre; se les localiza en el fondo del vaso de una exlaguna; tienen un grado de desarrollo semimaduro; su drenaje es pobre; son suelos de textura arcillosa en todo el perfil, de color negro en la parte superficial y color pardo oscuro en el subsuelo; su fertilidad natural es alta, ya que poseen altos contenidos de materia orgánica (5%); su permeabilidad es muy lenta, presentan un manto freático a 120 cm de profundidad; tienen una alta capacidad de retención de humedad en la capa arable; presentan un escurrimiento superficial lento debido a su topografía plana; el riesgo de erosión que presentan es de medio a bajo; actualmente estos suelos tienen un uso agrícola, con cultivos como maíz, sorgo, trigo, caña de azúcar, garbanzo. Se distribuyen en la parte central del área estudiada.

SERIE No. 2.- Los suelos de esta serie ocupan una superficie de 770 ha, aproximadamente mismas que representan el 11% del total estudiado. Son suelos casi planos, con un modo de formación in situ-coluvial y un grado de desarrollo semimaduro; se localizan en el fondo del vaso de una exlaguna; son de drenaje pobre; son suelos de textura arcillosa en todo el perfil y de color negro en la parte superficial y pardo grisáceo en el subsuelo; su fertilidad natural es de media a alta; su permeabilidad es muy lenta; el manto freático no se presenta antes de los 150 cm de profundidad; tienen una alta capacidad de retención de humedad en la capa superficial y en el resto del perfil; por su topografía presentan un escurrimiento superficial lento; tienen un riesgo de erosión de medio a bajo; actualmente estos suelos tienen un uso ganadero y agrícola, con cultivos como maíz y garbanzo. Estos suelos presentan además la característica de estar sobrepuestos a un material tobáceo de color gris y textura fina, denominado localmente como "tizate" a partir de los 155 cm de profundidad. Se distribuyen

EN LA PARTE ESTE DEL ÁREA ESTUDIADA.

SERIE No. 3.- LOS SUELOS DE ESTA SERIE OCUPAN UNA SUPERFICIE DE 630 HA, MISMAS QUE REPRESENTAN EL 9% DEL TOTAL ESTUDIADO. SON SUELOS CASI PLANOS, DE RELIEVE LIGERAMENTE INCLINADO, CON UN MODO DE FORMACIÓN ALUVIAL-LACUSTRE; SE LES LOCALIZA EN EL FONDO DEL VASO DE UNA EXLAGUNA; TIENEN UN GRADO DE DESARROLLO SEMIMADURO AL IGUAL QUE LOS SUELOS DE LAS DEMÁS SERIES; SU DRENAJE ES POBRE; SON SUELOS DE TEXTURA ARCILLOSA EN TODO EL PERFIL, DE COLOR GRIS PARDUZCO EN LA SUPERFICIE Y CAFÉ ROJIZO EN EL SUBSUELO; SU FERTILIDAD NATURAL ES DE MEDIA A ALTA; SU PERMEABILIDAD ES MUY LENTA; SON SUELOS PROFUNDOS, COMO LO DEMUESTRA EL HECHO DE HABER LOGRADO EXCAVAR EL PERFIL HASTA LOS 200 CM, EN LOS QUE NO APARECIÓ EL NIVEL DEL MANTO FREÁTICO; TIENEN UNA ALTA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE HUMEDAD TANTO EN LA CAPA SUPERFICIAL, COMO EN EL RESTO DEL PERFIL; DEBIDO AL RELIEVE LIGERAMENTE INCLINADO PRESENTAN UN ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL MEDIANO; PRESENTAN UN RIESGO DE EROSIÓN DE MEDIO A ALTO, ACTUALMENTE ESTOS SUELOS TIENEN UN USO AGRÍCOLA CON CULTIVOS COMO MAÍZ, SORGO, TRIGO, GARBANZO Y CAÑA DE AZÚCAR. SE DISTRIBUYEN AL PONIENTE DEL ÁREA ESTUDIADA.

### 3.2 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

#### MUESTREO.

LA TOMA DE MUESTRAS CONSISTIÓ EN LA DELIMITACIÓN DE UN TRANSECTO QUE VA DEL CENTRO A LAS ORILLAS DE LA EXLAGUNA. EL TRANSECTO NOS PERMITE CONOCER LA VARIACIÓN DE SUELOS QUE EXISTE EN LA ZONA Y QUE YA PREVIAMENTE SE HABÍA DETECTADO EN LAS AEROFOTOS.

LAS MUESTRAS SE OBTUVIERON DE TRES PERFILES, LOCALIZÁNDOSE CADA UNO DE ELLOS EN EL LUGAR MÁS REPRESENTATIVO DE SU CORRESPONDIENTE ZONA. DESPUÉS DE EXAMINAR LOS PERFILES SE DELIMITARON SUS DIFERENTES HORIZONTES, LOS CUALES FUERON MUESTREADOS PARA REALIZAR EN ELLOS LOS ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS CORRESPONDIENTES. PARA CUBRIR LOS OBJETIVOS E IDENTIFICAR Y CARACTERIZAR LA FRACCIÓN ARCILLOSA SE TOMARON DOS MUESTRAS DE CADA PERFIL, UNA DE ELLAS CORRESPONDIENTE A LA PARTE SUPERFICIAL, ES DECIR MATERIAL SECO Y LA OTRA MUESTRA DE OTRA PARTE MÁS PROFUNDA PERO DENTRO DE LOS SEDI-  
 MENTOS MÁS RECIENTES, YA QUE EL MATERIAL AZOLVADO (TOBA) NO INTERESA CARACTERIZARLO EN EL PRESENTE TRABAJO, YA QUE SE CONSIDERA QUE NO INCIDE SOBRE LAS ALTERNATIVAS DE MANEJO QUE PUEDAN GENERAR SE.

LAS MUESTRAS SE DEFINEN COMO SIGUE:

<u>ZONA</u>	<u>MUESTRA</u>	<u>PROFUNDIDAD</u>
1	1	0-30 CM (PERFIL No. 1)
1	2	30-45 CM (PERFIL No. 1)
2	3	0-30 CM (PERFIL No. 2)
2	4	30-60 CM (PERFIL No. 2)
3	5	0-30 CM (PERFIL No. 3)
3	6	30-60 CM (PERFIL No. 3)

### 3.3 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE LABORATORIO

#### 3.3.1 DETERMINACIONES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MINERALÓGICAS

##### T E X T U R A

SE PROCEDIÓ A HACER LA TEXTURA MEDIANTE EL MÉTODO DEL HIDRÓMETRO MODIFICADO (DAY, P. R. 1965) DISPERSANDO LAS PARTÍCULAS CON HEXA-METAFOSFATO DE SODIO.

##### H U M E D A D

ESTA SE DETERMINÓ POR EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO A 105°C DURANTE 24 HORAS. (JACKSON M. L., 1963).

##### R E A C C I Ó N

EL PH SE DETERMINÓ EN SOLUCIÓN SUELO: AGUA EN LA RELACIÓN (1:2,5) EMPLEANDO TAMBIÉN  $\text{CaCl}_2$  0.01 M EN LA MISMA RELACIÓN. (HESTER, 1948) EL APARATO EMPLEADO FUE UN POTENCIÓMETRO ORION RESEARCH MODELO 601 DIGITAL-10.

##### CAPACIDAD DE INTERCAMBIO.

LA MEDIDA DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO TOTAL, SE HIZO DE ACUERDO A JACKSON (1965), O SEA TRATANDO LAS MUESTRAS CON 5 LAVADOS SUCESIVOS DE ACETATO DE AMONIO 1 N PARA DESPLAZAR EL  $\text{Mg}^{2+}$  ABSORVIDO ACÉTICO (VERSENATO).

##### C O L O R

EL COLOR SE DETERMINÓ EN SECO Y EN HÚMEDO, POR COMPARACIÓN UTILIZANDO LAS TABLAS MUNSELL.

##### DENSIDAD APARENTE.

LA DENSIDAD APARENTE SE DETERMINÓ POR EL MÉTODO DE LA PROBETA.

### DENSIDAD REAL.

LA DENSIDAD REAL SE DETERMINÓ POR EL MÉTODO DEL PICNÓMETRO.

### MATERIA ORGANICA.

SE DETERMINÓ USANDO EL MÉTODO DE WALKLEY-BLACK, MODIFICADO POR WALKLEY (1947) EN EL CUAL SE HACE UNA DIGESTIÓN HÚMEDA CON DICROMATO DE POTASIO 1 N.

### CALCIO Y MAGNESIO INTERCAMBIABLES.

SE DETERMINARON POR EL MÉTODO DE CENTRIFUGACIÓN EXTRAYENDO CON ACETATO DE AMONIO 1 N PH 7. EL CALCIO Y EL MAGNESIO DESPLAZADOS SE TITULAN POR EL MÉTODO DEL VERSENATO, (SCHWARZENBACH Y BIEDERMANN, 1948).

### POTASIO Y SODIO INTERCAMBIABLES.

TRATÁNDOSE EL SUELO CON ACETATO DE AMONIO 1 N PH 7.0. EL EXTRACTO SE LEE EN EL FLAMÓMETRO COLEMAN JUNIOR. (BLACK, 1965).

### FÓSFORO ASIMILABLE.

POR EL MÉTODO DE BRAY I (BRAY Y PICKMAN, 1942), PARA AQUELLOS SUELOS QUE TIENEN UN PH ACIDO Y POR EL MÉTODO DE OLSEN (OLSEN ET AL, 1954) PARA AQUELLOS SUELOS QUE TIENEN UN PH ALCALINO. EL COLOR SE DETERMINÓ EN EL COLORÍMETRO LEITZ MOD. M. JACKSON (1964).

### CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.

LOS EXTRACTOS DE LAS PASTAS DE SATURACIÓN SE DETERMINARON EN EL PUENTE DE CONDUCTIVIDAD. (REITEMEIER Y RICHARDS, 1944).

## SALES SOLUBLES.

SE DETERMINARON EN EL EXTRACTO DE LA PASTA DE SATURACIÓN LOS CATIONES:  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$  Y  $K^+$  Y LOS ANIONES:  $CO_3^{=}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$  Y  $SO_4^{=}$ . (JACKSON, 1964, 1979).

## SEPARACIÓN DE LA FRACCIÓN MENOR DE 2 MICRAS.

LA SEPARACIÓN DE LAS PARTÍCULAS MINERALES MENORES DE 2 MICRAS SE LLEVÓ A CABO MEDIANTE EL MÉTODO DE KITTRICK Y HOPE (1963).

## IV RESULTADOS

EN ESTE CAPÍTULO SE PRESENTA LA DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES REPRESENTATIVOS PARA CADA UNA DE LAS TRES SERIES DE SUELOS ENCONTRADOS, ASÍ COMO TAMBIÉN LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS QUE SE REALIZARON PARA CADA MUESTRA DE SUELO COLECTADA.

POR OTRA PARTE, SE PRESENTA TAMBIÉN LOS DIFRACTOGRAMAS REALIZADOS PARA CADA UNA DE LAS SEIS MUESTRAS DE ARCILLA QUE SE SEGREGARON.

### DESCRIPCIÓN DEL PERFIL REPRESENTATIVO

POZO No. 1

SERIE 1

LOCALIZACIÓN: APROXIMADAMENTE A 3.200 M AL SW DEL POBLADO DE MAGDALENA.

<u>HORIZONTE</u>	<u>PROF., CM</u>	<u>CARACTERÍSTICAS</u>
Ap	0-30	COLOR PARDO AMARILLO GRISÁCEO (10 YR 4/2) EN SECO Y NEGRO (10 YR 2/1) EN HÚMEDO; TEXTURA DE ARCILLA; ESTRUCTURA EN BLOQUES ANGULARES DE TAMAÑO MEDIO Y PEQUEÑO, FUERTEMENTE DESARROLLADOS; PERMEABILIDAD MODERADA; CONSISTENCIA DURA EN SECO, FRIABLE EN HÚMEDO, PLÁSTICA Y ADHERENTE EN SATURADO; POCOS POROS MEDIO; LIGERA REACCIÓN AL HCl; POCAS RAÍCES MEDIAS, VERTICALES Y HORIZONTALES; HORIZONTE SECO.
A	30-45	PARDO GRISÁCEO (10 YR 4/1) EN SECO Y NEGRO (7.5 YR 2/1) EN HÚMEDO; TEXTURA DE ARCILLA; ESTRUCTURA EN BLOQUES ANGULARES DE TAMAÑO MEDIO Y PEQUEÑO FUERTEMENTE DESARROLLADOS; CONSISTENCIA DURA EN SECO, MUY FRIABLE EN HÚMEDO, PLÁSTICA Y ADHERENTE EN SATURADO; POCOS POROS FINOS Y MEDIOS; PERMEABILIDAD MODERADA; FUERTE REACCIÓN AL HCl; MUY POCAS RAÍCES FINAS, HORIZONTALES Y VERTICALES; HORIZONTE HÚMEDO.
IIC	45-70	COLOR NEGRO (2.5 Y 2/1) EN HÚMEDO; TEXTURA

		DE MIGAJÓN ARCILLOSO; ESTRUCTURA EN BLOQUES ANGULARES DE TAMAÑO PEQUEÑO, MODERADAMENTE DESARROLLADOS; CONSISTENCIA LIGERAMENTE DURA EN SECO, FRIABLE EN HÚMEDO, LIGERAMENTE PLÁSTICA Y LIGERAMENTE ADHERENTE EN SATURADO; MUCHOS POROS FINOS Y MEDIOS; PERMEABILIDAD RÁPIDA; FUERTE REACCIÓN AL HCl; MUY POCAS RAÍCES FINAS, HORIZONTE HÚMEDO.
B1	70-90	NEGRO (2,5 y 2/1) EN HÚMEDO; TEXTURA DE ARCILLA; ESTRUCTURA EN BLOQUES ANGULARES MEDIOS MODERADAMENTE DESARROLLADOS; CONSISTENCIA DURA EN SECO, LIGERAMENTE FIRME EN HÚMEDO; PLÁSTICA Y ADHERENTE EN SATURADO; POCOS POROS FINOS Y MEDIOS; PERMEABILIDAD MODERADA; FUERTE REACCIÓN AL HCl; POCAS RAÍCES MUY FINAS; HORIZONTE HÚMEDO.
B <sub>1,1</sub>	90-120+	NEGRO PARDUZCO (2,5 y 3/1) EN HÚMEDO; TEXTURA DE ARCILLA; ESTRUCTURA EN BLOQUES ANGULARES MEDIOS Y PEQUEÑOS FUERTEMENTE DESARROLLADOS; CONSISTENCIA EN SECO DURA, LIGERAMENTE FIRME EN HÚMEDO; PLÁSTICA Y ADHERENTE EN SATURADO; MUCHOS POROS MEDIOS Y FINOS; PERMEABILIDAD MODERADA; FUERTE REACCIÓN AL HCl; SIN RAÍCES; HORIZONTE MUY HÚMEDO.
	120-X	MANTO FREÁTICO.

### DATOS GENERALES

GEOFORMA: VALLE  
 RELIEVE: CASI PLANO  
 PÉNDIENTE: MENOR DEL 2%  
 MODO DE FORMACIÓN: COLUVIAL-LACUSTRE  
 GRADO DE DESARROLLO: SEMIMADURO  
 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA: (7A. APROXIMACIÓN: ARGUSTOLL  
 (FAO-UNESCO): PHAEZEM LUVICO.

## NOMBRE DEL ESTUDIO

Perfil de suelo Núm 1

Localización Magdalena

Fecha

Número de muestra							
	Profundidad (cm)	0-30	30-45	45-70	70-90	90-120	
1	Densidad real ( $g/cm^3$ )	2.26	2.46	2.44	2.36	2.07	
2	Densidad aparente ( $g/cm^3$ )	0.86	0.89	1.02	0.80	0.86	
3	Capacidad de campo (%)	31.45					
4	Punto de marchitamiento permanente (%)						
5	Agua aprovechable (%)						
6	Textura	Arena (%)	24.34	26.34	36.34	20.34	27.98
		Limo (%)	20.36	24.36	24.00	18.00	20.00
		Arcilla (%)	55.30	49.30	39.66	61.66	52.02
		Clasificación textura	R	R	Fr	R	R
7	PH en $H_2O$ (1:2)	7.9	7.3	8.1	7.8	7.5	
8	Conductividad eléctrica en la pasta del suelo (mmhos/cm)	0.45	0.50	0.63	0.50	0.79	
9	Materia orgánica (%)	7.48	8.79	9.97	7.45	8.93	
10	Fósforo aprovechable (ppm)	5.77	4.90	9.80	3.85	9.80	
11	Carbonato de calcio (%)	8.10	15.0	13.9	14.1	12.6	
12	Capacidad de intercambio catiónico (me/100g)	4.0	24.43	30.19	27.95	40.17	
13	Cationes intercambiables	Calcio (me/100g)	13.33	13.33	14.44	13.33	20.0
14		Magnesio "	5.97	6.37	10.35	9.56	12.35
15		Sodio "	1.73	1.73	2.76	3.0	4.63
16		Potasio "	2.96	3.0	2.64	2.06	3.20
17		Manganeso "					
18		Fierro "					
19	Aluminio "						
20	Conductividad eléctrica en el estrato de saturación (mmhos/cm)						
21	PH en extracto						
22	Cantidad de agua en el suelo a saturación (%)						
23	Solubles	Calcio (me/litro)	3.28	3.28	2.94	1.94	2.78
24		Magnesio	0.98	0.91	0.98	0.91	0.54
25		Sodio	1.07	1.27	2.52	2.97	5.14
26		Potasio	0.62	0.80	0.94	1.24	0.84
27		Carbonato					
28		Bicarbonatos					
29		Cloruros					
30	Sulfatos						
31	Soro						
32	Especiales	PSI	7.22	7.09	9.14	10.73	11.5
33							
34							
35							

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL REPRESENTATIVO

POZO No. 2

SERIE 2

LOCALIZACIÓN: 400 MTS. AL E DEL POBLADO DE LA MESETA

HORIZONTE PROF. CM.                      CARACTERÍSTICAS

A <sub>1</sub>	0-10	GRIS PARDUZCO (10 YR 6/1) EN SECO Y NEGRO PARDUZCO (7.5 YR 3/1) EN HÚMEDO; TEXTURA ARCILLOSA; ESTRUCTURA EN BLOQUES ANGULARES DE TAMAÑO MEDIO Y MODERADAMENTE DESARROLLADOS; CONSISTENCIA DURA EN SECO, FIRME EN HÚMEDO, PLÁSTICA Y ADHERENTE EN SATURADO MUCHOS POROS MUY FINOS; PERMEABILIDAD MODERADA; NULA REACCIÓN AL HCl; MUCHAS RAÍCES FINAS Y MEDIAS VERTICALES Y HORIZONTALES; HORIZONTE SECO.
A <sub>1,1</sub>	10-38	PARDO AMARILLO GRISÁCEO (10 YR 5/2) EN SECO Y NEGRO PARDUZCO (7.5 YR 3/1) EN HÚMEDO; TEXTURA DE ARCILLA; ESTRUCTURA PRISMÁTICA DE TAMAÑO MEDIO Y DESARROLLO MODERADO; CONSISTENCIA DURA EN SECO, FIRME EN HÚMEDO, MUY PLÁSTICA Y MUY ADHERENTE EN SATURADO; PERMEABILIDAD LENTA; MUCHOS POROS FINOS Y MEDIOS; NULA REACCIÓN AL HCl; POCAS RAÍCES FINAS HORIZONTALES Y VERTICALES; HORIZONTE SECO.
B <sub>1</sub>	38-64	NEGRO PARDUZCO (10 YR 2/1) EN SECO Y NEGRO PARDUZCO (7.5 YR 3/1) EN HÚMEDO; TEXTURA DE ARCILLA; ESTRUCTURA PRISMÁTICA MEDIA DE DESARROLLO MODERADO; CONSISTENCIA DURA EN SECO FIRME EN HÚMEDO, PLÁSTICA Y ADHERENTE EN SATURADO; PERMEABILIDAD LENTA; LIGERA REACCIÓN AL HCl; MUY POCAS RAÍCES FINAS, VERTICALES Y HORIZONTALES; HORIZONTE HÚMEDO.
B <sub>1,1</sub>	64-115	PARDO GRISÁCEO (7.5 YR 5/2) EN HÚMEDO; TEXTURA DE ARCILLA; ESTRUCTURA PRISMÁTICA MEDIA MODERADAMENTE DESARROLLADA; CONSISTENCIA DURA EN SECO, FIRME EN HÚMEDO, PLÁSTICA Y ADHERENTE EN SATURADO, MUCHOS POROS FINOS; PERMEABILIDAD LENTA; NULA REACCIÓN AL HCl; SIN RAÍCES; HORIZONTE HÚMEDO.
	155-X	TIZATE

DATOS GENERALES.

GEOFORMA: VALLE  
RELIEVE: CASI PLANO  
PENDIENTE: MENOR DE 1,5%  
MODO DE FORMACIÓN: IN-SITU-COLUVIAL  
GRADO DE DESARROLLO: SEMIMADURO  
CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA: (7A, APROXIMACIÓN): ANDEPT,  
(FAO/UNESCO): ANDOSOL:

## NOMBRE DEL ESTUDIO

Perfil de suelo Núm. 2

Localización: Magdalena

Fecha

	Número de muestra	1	2	3	4	5	
	Profundidad (cm)	0-10	10-38	38-64	64-115	115-155	
1	Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	2.22	2.34	2.37	2.26	2.12	
2	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.80	0.80	0.86	0.89	0.86	
3	Capacidad de campo (%)	31.40					
4	Punto de marchitamiento permanente (%)						
5	Agua aprovechable (%)						
6	Textura	Arena (%)	23.98	25.98	29.98	23.98	21.98
		Limo (%)	30.0	22.00	30.00	18.00	36.00
		Arcilla (%)	46.0	52.02	40.22	58.02	41.02
		Clasificación textura	R	R	R	R	R
7	PH en H <sub>2</sub> O (1:2)	7.7	7.9	8.2	8.3	7.6	
8	Conductividad eléctrica en la pasta del suelo (mmhos/cm)						
9	Materia orgánica (%)	4.27	3.31	0.08	1.72	1.86	
10	Fósforo aprovechable (ppm)	7.87	2.80	3.83	2.80	2.80	
11	Carbonato de calcio (%)	2.95	4.05	2.35	2.80	2.00	
12	Capacidad de intercambio catiónico (me/100g)	25.39	27.96	31.86	28.37	20.50	
13	Intercambiables	Calcio (me/100g)	14.44	15.55	14.44	11.11	8.88
14		Magnesio "	7.57	7.17	8.36	8.36	5.18
15		Sodio "	2.14	4.24	7.58	7.58	5.48
16		Potasio "	1.24	1.00	1.48	1.32	0.96
17		Manganeso "					
18		Fierro "					
19	Aluminio "						
20	Conductividad eléctrica en el estado de saturación (mmhos/cm)	0.70	0.77	1.28	1.50	1.35	
21	PH en extracto						
22	Cantidad de agua en el suelo o saturación (%)						
23	Solubles	Calcio (me/litro)	3.28	2.67	1.56	3.28	2.78
24		Magnesio "	0.98	0.98	0.54	1.03	1.03
25		Sodio "	3.78	6.32	12.77	12.77	12.77
26		Potasio "	0.62	0.40	0.41	0.74	0.74
27		Carbonato "		0.37	0.37	0.74	0.74
28		Bicarbonatos "		2.77	3.51	6.28	3.32
29		Cloruros "		1.71	3.23	2.66	2.66
30		Sulfatos "		3.24	5.40	6.30	8.20
31	Oro "						
32	Pasivos	PSI	8.43	15.16	23.79	26.72	26.73
33							
34							
35							

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL REPRESENTATIVO

POZO No. 3

S E R I E 3

LOCALIZACIÓN: 3.000 METROS AL N DEL POBLADO ETZATLÁN.

HORIZONTE PROF. CM.CARACTERÍSTICAS

AP	0-30	GRIS PARDUZCO (10 YR 5/1) EN SECO Y NEGRO PARDUZCO (10 YR 3/2) EN HÚMEDO; TEXTURA DE ARCILLA; ESTRUCTURA EN BLOQUES ANGULARES MEDIOS Y GRANDES DESARROLLO FUERTE; CONSISTENCIA MUY DURA EN SECO, MUY FIRME EN HÚMEDO MUY PLÁSTICA Y ADHERENTE EN SATURADO; MUY POCOS POROS FINOS; PERMEABILIDAD MODERADA; NULA REACCIÓN AL HCl; MUY POCAS RAÍCES FINAS Y MUY FINAS, VERTICALES Y HORIZONTALES; HORIZONTE SECO.
C <sub>1</sub>	30-75	NEGRO PARDUZCO (10 YR 3/1) EN SECO Y NEGRO (10 YR 1.7/1) EN HÚMEDO; TEXTURA DE ARCILLA; ESTRUCTURA PRISMÁTICA DE TAMAÑO GRANDE Y MEDIO DESARROLLO FUERTE; CONSISTENCIA MUY DURA EN SECO, MUY FIRME EN HÚMEDO, MUY PLÁSTICA Y MUY ADHERENTE EN SATURADO; MUY POCOS POROS FINOS; PERMEABILIDAD MUY LENTA POCOS CUTANES MUY PEQUEÑOS; NULA REACCIÓN AL HCl; MUY POCAS RAÍCES MEDIAS Y FINAS, VERTICALES Y HORIZONTALES; HORIZONTE SECO.
C <sub>1.1</sub>	75-120	NEGRO PARDUZCO (10 YR 2/2) EN SECO Y NEGRO PARDUZCO (10 YR 3/1) EN HÚMEDO; TEXTURA DE ARCILLA; PRISMÁTICA DE TAMAÑO MEDIO Y DESARROLLO FUERTE; CONSISTENCIA EN SECO MUY DURA, MUY FIRME EN HÚMEDO, MUY PLÁSTICA Y ADHERENTE EN SATURADO; POCOS POROS FINOS POCOS CUTANES PEQUEÑOS; PERMEABILIDAD LENTA; NULA REACCIÓN AL HCl; SIN RAÍCES; HORIZONTE LIGERAMENTE HÚMEDO.
C <sub>1.2</sub>	120-200	PARDO OSCURO (10 YR 3/3) EN SECO Y PARDO AMARILLO GRISÁCEO (10 YR 4/2) EN HÚMEDO; TEXTURA DE ARCILLA; ESTRUCTURA EN BLOQUES ANGULARES PEQUEÑOS MODERADAMENTE DESARROLLADOS; CONSISTENCIA DURA EN SECO, FIRME EN HÚMEDO, MUY PLÁSTICA Y ADHERENTE EN SATURADO; POCOS POROS FINOS; POCOS CUTANES PEQUEÑOS; PERMEABILIDAD LENTA; NULA REACCIÓN AL HCl; SIN RAÍCES; HORIZONTE LIGERAMENTE HÚMEDO.

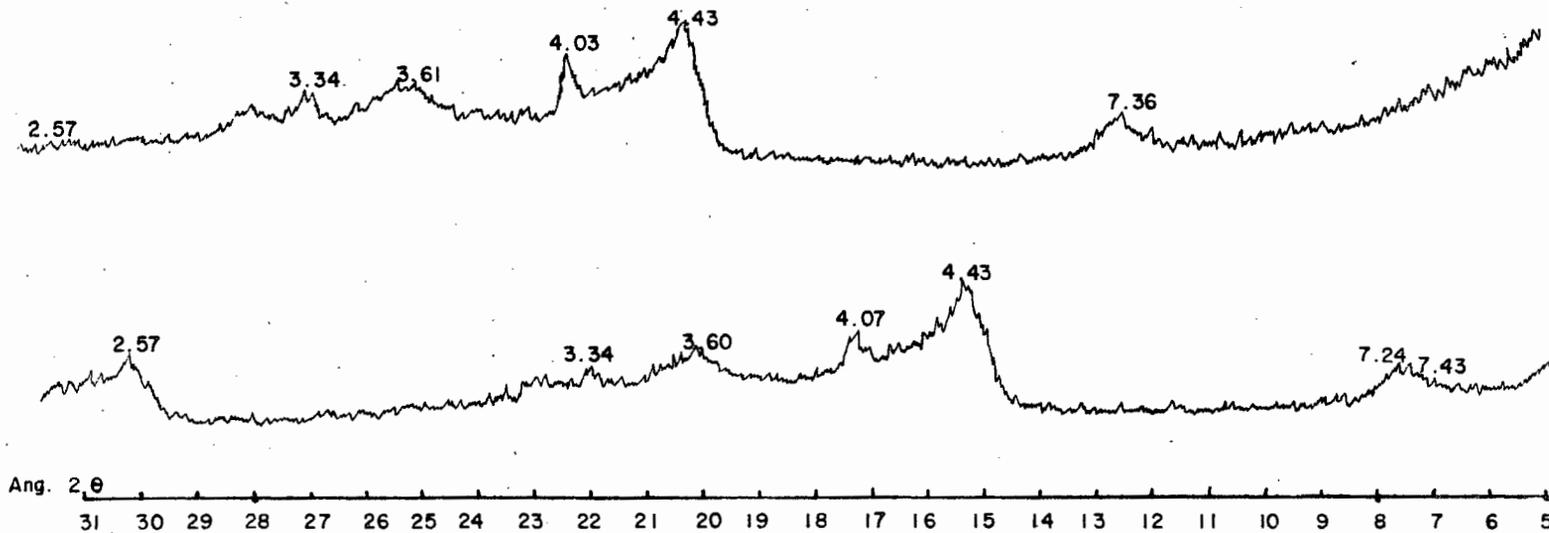
DATOS GENERALES

GEOFORMA	VALLE
RELIEVE:	CASI PLANO
PENDIENTE:	MENOR DEL 1%
MODO DE FORMACIÓN:	ALUVIAL-LACUSTRE
GRADO DE DESARROLLO:	SEMIMADURO
CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA:	(7A, APROXIMACIÓN): ARGIAQUOLL (FAO/UNESCO): LUVISOL
Uso ACTUAL	AGRÍCOLA

Perfil de suelo Núm 3 NOMBRE DEL ESTUDIO \_\_\_\_\_  
 Localización: Magdalena Fecha \_\_\_\_\_

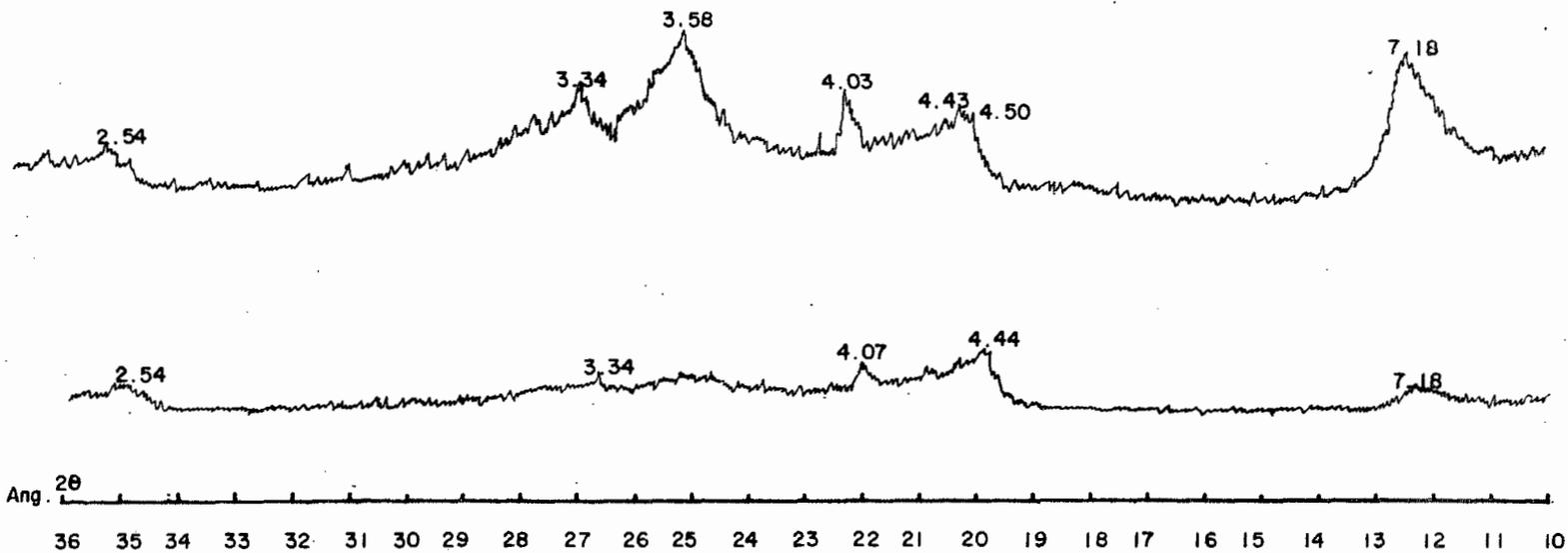
Número de muestra		1	2	3	4	
	Profundidad (cm)	0-25	25-75	75-120	120-200	
1	Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	2.20	2.49	2.68	2.60	
2	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.96	0.94	0.91	0.97	
3	Capacidad de campo (%)	29.34				
4	Punto de marchitamiento permanente (%)					
5	Aguo aprovechable (%)					
6	Textura	Arena (%)	25.42	23.42	19.42	23.42
		Limo (%)	33.64	19.64	29.28	9.28
		Arcilla (%)	40.94	56.94	51.30	67.30
		Clasificación textura	R	R	R	R
7	PH en H <sub>2</sub> O (1:2)	6.8	7.2	7.2	7.2	
8	Conductividad eléctrica en la pasta del suelo (mmhos/cm)					
9	Materia orgánica (%)	2.90	1.05	0.63	0.61	
10	Fósforo aprovechable (ppm)	8.75	3.85	2.80	4.90	
11	Carbonato de calcio (%)	1.42	2.10	1.60	1.39	
12	Capacidad de intercambio catiónico (me/100g)	20.55	27.66	20.19	21.10	
13	Cationes intercambiables	Calcio (me/100g)	11.11	11.11	7.78	6.66
14		Magnesio "	6.37	9.96	7.17	9.96
15		Sodio "	2.15	5.48	4.62	3.88
16		Potasio "	0.92	1.11	0.62	0.60
17		Manganeso "				
18		Fierro "				
19	Aluminio "					
20	Conductividad eléctrica en el estrato de saturación (mmhos/cm)	0.36	0.45	0.35	0.39	
21	PH en extracto					
22	Cantidad de agua en el suelo a saturación (%)					
23	Solubles	Calcio (me/litro)	1.06	0.88	0.88	1.25
24		Magnesio "	0.54	0.67	0.61	0.67
25		Sodio "	1.78	2.52	2.12	2.97
26		Potasio "	0.94	0.62	0.54	0.45
27		Carbonato "				
28		Bicarbonatos "				
29		Cloruros "				
30		Sulfatos "				
31		Boro "				
32		Nutrientes	PSI	10.46	19.80	22.88
33						
34						
35						

Figura 4.19



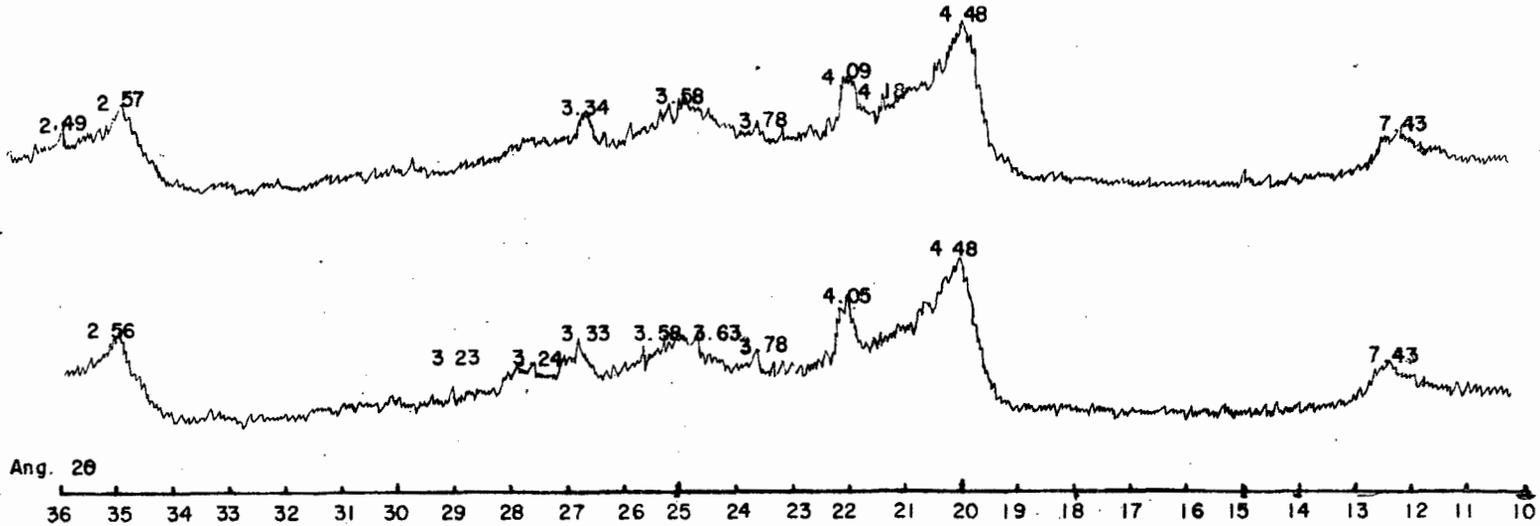
DIFRACTOGRAMAS DE RAYOS X. MUESTRAS No. 1 (0-30 cms abajo) y No. 2 (30-45 cms arriba)

Figura 4.20



DIFRACTOGRAMAS DE RAYOS X. MUESTRAS no. 3 (0-30 cms, abajo) y No. 4 (30-60 cms, arriba)

Figura 4.21



DIFRACTOGRAMAS DE RAYOS X. MUESTRAS No. 5 (0 - 30 cms arriba) y MUESTRA No. 6 (30 - 60 cms, abajo)

CUADRO No. 4,5. MINERALES PRESENTES EN LAS MUESTRAS ESTUDIADAS POR DIFRACCION DE RAYOS X

MUESTRA	PROFUNDIDAD	METAHALOISITA	CAOLINITA	CRISTOBALITA	FELDESPATOS	CUARZO	SIDERITA	OTROS NO DETERMINADOS
1	0 - 30	+++	++	+	N.D.	+	N.D.	+++
2	30 - 45	+++	+	++	N.D.	+	N.D.	+++
3	0 - 30	++	++	++	N.D.	+	N.D.	+++
4	30 - 60	+	+++	+	+	+	N.D.	+++
5	0 - 30	+++	+++	+	++	+	N.D.	N.D.
6	30 - 60	+++	+	+	+++	N.D.	+	+

N.D. : NO SE DETERMINÓ

+

++ : CONTENIDO MEDIO

+++ : CONTENIDO ALTO

## V

## DISCUSION DE LOS RESULTADOS

4.1 INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LOS PERFILES.

EL PERFIL No. 1 SE LOCALIZÓ APROXIMADAMENTE A 3,200 M EL SURES TE DEL POBLADO DE MAGDALENA JALISCO; LA TOPOGRAFÍA DEL SITIO ES PLANA; ESTOS SUELOS SE CARACTERIZAN POR SU MODO DE FORMACIÓN QUE ES COLUVIAL-LACUSTRE, ESTE PERFIL SE PUDO EXCAVAR ÚNICAMENTE HASTA LOS 120 CM, PROFUNDIDAD ÉSTA EN QUE SE PRESENTÓ EL MANTO FREÁTICO; PRESENTA 3 HORIZONTES O CAPAS BIEN DEFINIDAS, CON LOS SUBHORIZONTES: Ap, A, B<sub>1,1</sub> Y Iic.

LA TEXTURA DE ESTE PERFIL ES ARCILLOSA, YA QUE COMO SE PUEDE OBSERVAR EN EL CUADRO No. 4.2 LA CLASE TEXTURAL DOMINANTE ES ARCILLA (R), EXCEPTO PARA LA PROFUNDIDAD DE 45-70 CM QUE SE CARACTERIZA POR POSEER UNA TEXTURA FRANCO-ARCILLOSA (FR). EL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN LA PROFUNDIDAD DE 0-30 CM ES DE 7.48%, ESTE VALOR AUMENTA HASTA 8.79% Y 9.97% EN LAS PROFUNDIDADES DE 30-45 CM Y 45-70 CM RESPECTIVAMENTE; POSTERIORMENTE EL VALOR VUELVE A BAJAR HASTA 7.45% EN LA PROFUNDIDAD DE 70-90 CM Y FINALMENTE EN LA PROFUNDIDAD DE 90-120 CM VUELVE A SUBIR HASTA 8.93%. ESTOS VALORES DE MATERIA ORGÁNICA SE CONSIDERAN COMO EXTRARICOS. ESTA VARIACIÓN EN CONTENIDO SE DEBE AL MODO DE FORMACIÓN DEL SUELO, YA QUE LOS SEDIMENTOS AL DEPOSITARSE TENÍAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS EN CUANTO A RIQUEZA DE MATERIALES ORGÁNICOS Y TAMBIÉN EN RELACIÓN AL PROPIO SUELO PREEXISTENTE EN EL VASO DE LA EX-LAGUNA. LOS VALORES DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO TOTAL VARÍAN DE 24.0 MEQ/100 GRs. DE SUELO EN LA PROFUNDIDAD DE 0-30 CM, HASTA 40.17 MEQ/100 GRs. DE SUELO EN LA PROFUNDIDAD DE 95-120 CMS, SE OBSERVA QUE ESTOS VALORES AUMENTAN CONFORME AUMENTA EL CONTENIDO DE LA MATERIA ORGÁNICA.

LOS VALORES DE PH CON AGUA EN LA RELACIÓN 1:2,5 OSCILAN ENTRE 7,9, 7,3, 8,1, Y 7,5 EN LAS PROFUNDIDADES DE 0-30, 30-45, 45-70, 70-90 Y 90-120 CM, RESPECTIVAMENTE, ESTOS VALORES SE CONSIDERAN ALCALINOS Y ESTA REACCIÓN ES DEBIDA PROBABLEMENTE A LA NATURALEZA DE LOS SEDIMENTOS QUE DIERON ORIGEN AL SUELO, YA QUE PROCEDEN DE ROCAS POBRES EN SÍLICE (ALCALINAS).

LOS VALORES DE DENSIDAD APARENTE OSCILAN ENTRE 0,80 GRS/CM<sup>3</sup> EN LA PROFUNDIDAD DE 70-90 CM, HASTA 1,02 GRS/CM<sup>3</sup> EN LA PROFUNDIDAD DE 45-70 CM, ESTOS VALORES SE CONSIDERAN NORMALES YA QUE LA DENSIDAD APARENTE ESTÁ EN CORRELACIÓN CON LA CLASE TEXTURAL Y EL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA, Y EN ESTE CASO ESTOS BAJOS VALORES SE DEBEN A LA ALTA PROPORCIÓN DE ARCILLA PRESENTE, LA DENSIDAD REAL OSCILA ENTRE 2,07 GRS/CM<sup>3</sup> EN LA PROFUNDIDAD DE 30-45 CM. ESTOS VALORES SE CONSIDERAN COMO BAJOS Y SE CONSIDERAN COMO BAJOS Y SE INTERPRETAN COMO QUE LOS MINERALES PRIMARIOS PRESENTES EN ESTOS SUELOS NO SON MINERALES DE PESO ESPECÍFICO ALTO, SINO MÁS BIEN MINERALES LIVIANOS (PROCEDENTES DE TOMBAS Y CENIZAS VOLCÁNICAS).

CON RESPECTO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO SE PUEDE APRECIAR QUE EL CALCIO PRESENTA VALORES QUE OSCILAN 13,33 MEQ/100 GRS. DE SUELO, HASTA 20,0 MEQ/100 GRS. DE SUELO, ESTOS VALORES SE INTERPRETAN COMO MUY RICOS EN TODO EL PERFIL. EL MAGNESIO PRESENTA VALORES DE 5,97 MEQ/100 GRS. DE SUELO EN LA PRIMER PROFUNDIDAD, HASTA 12,35 MEQ/100 GRS. DE SUELO EN EL ÚLTIMO HORIZONTE, ESTOS VALORES SE INTERPRETAN COMO RICOS A MUY RICOS. EL FÓSFORO PRESENTA VALORES QUE OSCILAN ENTRE 3,85 MEQ/100 GRS. DE SUELO HASTA 9,8 MEQ/100 GRS. ESTOS VALORES SE INTERPRETAN COMO DE CONTENIDO MEDIO. EL POTASIO PRESENTA VALORES DE 2,06 MEQ/100 GRS. DE SUELO, HASTA 3,2 MEQ/100 GRS. EN LA ÚLTIMA PROFUNDIDAD, ESTOS VALORES SE INTERPRETAN COMO DE UN CONTENIDO MUY RICO.

ESTOS SUELOS NO PRESENTAN PROBLEMAS DE SALINIDAD YA QUE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN LA PASTA DE SUELO OSCILA ENTRE 0,45 Y 0,79 MMHOS/CM. TAMPOCO PRESENTA PROBLEMAS DE SODICIDAD YA QUE

EL PORCENTAJE DE SODIO INTERCAMBIABLE PRESENTA VALORES QUE OSCILAN ENTRE 7.0 Y 11.5%.

DE ACUERDO CON LAS OBSERVACIONES DE CAMPO Y LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO, ESTE PERFIL FUE CLASIFICADO DE ACUERDO CON EL SISTEMA AMERICANO O SÉPTIMA APROXIMACIÓN DENTRO DEL ORDEN MOLLISOL, SUBORDEN USTOLL, GRAN GRUPO ARGIUSTOLL Y DENTRO DEL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN FAO-UNESCO SE IDENTIFICÓ COMO PHAEOZEM LÚVICO.

EL PERFIL No. 2 SE LOCALIZÓ APROXIMADAMENTE A 400 MTS AL ESTE DEL POBLADO DE LA MESETA JALISCO; LA TOPOGRAFÍA DEL SITIO ES SENSIBLEMENTE PLANA; ESTOS SUELOS SE CARACTERIZAN POR SU TEXTURA DE ARCILLA (R) EN TODO EL PERFIL Y SU MODO DE FORMACIÓN IN SITU-COLUVIAL. ESTE PERFIL SE REALIZÓ HASTA UNA PROFUNDIDAD DE 155 CM, EN LA QUE APARECIÓ LA TOBA VOLCÁNICA AZOLVADA CONOCIDA LOCALMENTE COMO "TIZATE". PRESENTA 3 HORIZONTES BIEN DEFINIDOS, CON LOS HORIZONTES  $A_1$ ,  $A_{1-1}$ ,  $B_1$ ,  $B_{1-1}$ , BC.

LA TEXTURA DE ESTE PERFIL ES DE ARCILLA (R) EN TODOS LOS HORIZONTES CON UN PORCENTAJE MAYOR AL 40%. EL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN EL HORIZONTE SUPERFICIAL (0-10 CM) ES DE 4.27% LO QUE SE INTERPRETA COMO RICO, ESTE VALOR DESCIENDE A 3.31% Y 0.08% EN LAS PROFUNDIDADES DE 10-38 Y 38-64 CM RESPECTIVAMENTE, EN LAS 2 ÚLTIMAS PROFUNDIDADES (64-115 CM Y 115-155 CM), EL CONTENIDO AUMENTA EN 1.72% Y 1.86% RESPECTIVAMENTE. ESTA VARIACIÓN DESCONTÍNUA EN EL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA AL IGUAL QUE EN EL PERFIL No. 1, SE DEBE AL MODO DE FORMACIÓN DEL SUELO, QUE COMO SE MENCIONÓ ANTERIORMENTE, LOS SEDIMENTOS AL DEPOSITAR SE TENÍAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS EN CUANTO A RIQUEZA DE MATERIALES ORGÁNICOS. LOS VALORES DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO TOTAL VARIAN DE 20.5 MEQ/100 GRs DE SUELO EN LA ÚLTIMA PROFUNDIDAD (115-155 CM), HASTA 31.86 MEQ/100 GRs DE SUELO EN LA PROFUNDIDAD INTERMEDIA (38-64), EN ESTE CASO NO EXISTE UNA CORRELACIÓN DIRECTA ENTRE EL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA Y LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO TOTAL, POR LO QUE SE IN

TERPRETA QUE LA VARIACIÓN EXISTENTE DE LOS VALORES SE DEBE A LA COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE LOS SEDIMENTOS DEL ESTRATO Y HORIZONTE CORRESPONDIENTE.

LOS VALORES DE PH CON AGUA EN LA RELACIÓN 1:25 SON DE 7.7 EN LOS PRIMEROS 10 CM DE PROFUNDIDAD, Y DESPUÉS AUMENTA PROGRESIVAMENTE EN 7.9, 8.2 Y 8.3 EN LAS PROFUNDIDADES DE 10-38, 38-64 Y 64-115 CM RESPECTIVAMENTE, EN EL ÚLTIMO ESTRATO EL VALOR DISMINUYE HASTA 7.6 Y ÉSTO PODRÍA SER CONSECUENCIA DE QUE EN ESTE ESTRATO SE PRESENTA EL MATERIAL DE LA TOBA VOLCÁNICA. ESTOS VALORES DE PH SE INTERPRETAN COMO ALCALINOS.

LOS VALORES DE DENSIDAD APARENTE OSCILAN ENTRE 0.80 GRS/CM<sup>3</sup> EN LA PROFUNDIDAD DE 0-10 CM, HASTA 0.89 GRS/CM<sup>3</sup> EN LA PROFUNDIDAD DE 64-115 CM; ESTOS VALORES SON BAJOS Y SE DEBEN A LA ALTA PROPORCIÓN DE LA FRACCIÓN ARCILLA EN RELACIÓN A LAS DEMÁS FRACCIONES DEL SUELO. LA DENSIDAD REAL OSCILA ENTRE 2.12 GRS/CM<sup>3</sup> EN LA ÚLTIMA PROFUNDIDAD (115-155 CM), HASTA 2.37 GRS/CM<sup>3</sup> EN LA PROFUNDIDAD DE 38-64 CM; AL IGUAL QUE PARA EL PERFIL NO. 1 EN LA INTERPRETACIÓN DE ESTOS BAJOS VALORES SE DEBEN A QUE LOS MINERALES PRIMARIOS EXISTENTES NO SON DE GRAN PESO ESPECÍFICO, SI NO MÁS BIEN LIGEROS.

RESPECTO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO, PUEDE OBSERVARSE QUE EL CALCIO PRESENTA VALORES QUE OSCILAN ENTRE 8.88 MEQ/100 GRS DE SUELO Y 15.55 MEQ/100 GRS DE SUELO LO QUE SE INTERPRETA COMO MUY RICO. EL MAGNESIO PRESENTA VALORES QUE OSCILAN ENTRE 5.18 MEQ/100 GRS DE SUELO Y 8.36 MEQ/100 GRS DE SUELO, LO QUE SE INTERPRETA COMO MUY RICO. EL FÓSFORO PRESENTA VALORES BAJOS QUE OSCILAN ENTRE 2.88 PPM Y 3.83 PPM, LO QUE SE INTERPRETA COMO DE CONTENIDO POBRE, EXCEPTO EN EL PRIMER HORIZONTE QUE PRESENTA VALORES QUE OSCILAN ENTRE 1.0 MEQ/100 GRS DE SUELO Y 1.48 MEQ/100 GRS DE SUELO, LO QUE SE INTERPRETA COMO MUY RICO.

ESTOS SUELOS NO PRESENTAN PROBLEMAS DE SALINIDAD YA QUE LOS VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL EXTRACTO DE SATURA-

CIÓN, OSCILAN ENTRE 0,7 MMHOS/CM, HASTA 1,5 MMHOS/CM, SIN EMBARGO PRESENTA CONTENIDOS MÁS O MENOS ALTOS DE SODICIDAD, YA QUE LOS VALORES DEL PORCIENTO DE SODIO INTERCAMBIABLE SOBREPASAN EL 15%, LLEGANDO A TENER VALOR DE 26,73% EN EL ÚLTIMO HORIZONTE.

DE ACUERDO CON LAS OBSERVACIONES DE CAMPO Y LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO, ESTE PERFIL FUE CLASIFICADO DE ACUERDO CON EL SISTEMA AMERICANO O SÉPTIMA APROXIMACIÓN DENTRO DEL ORDEN INCEPTISOL, SUBORDEN ANDEPT, GRAN GRUPO ANDEPT Y DENTRO DEL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN FAO-UNESCO SE IDENTIFICÓ COMO ANDOSOL.

EL PERFIL No. 3 SE LOCALIZÓ APROXIMADAMENTE A 3,000 MTS. AL NORTE DEL POBLADO DE ETZATLÁN JALISCO; LA TOPOGRAFÍA DEL SITIO ES SENSIBLEMENTE PLANA CON UNA PENDIENTE MENOR AL 1%, SE DISTINGUEN ESTOS SUELOS POR SU MODO DE FORMACIÓN QUE ES ALUVIAL-LACUSTRE Y GRADO DE DESARROLLO SEMIMADURO. ESTE PERFIL LOGRÓ EXCAVARSE HASTA UNA PROFUNDIDAD DE 200 CMS Y PRESENTA 2 HORIZONTES BIEN DEFINIDOS CON LOS SUBHORIZONTES AP, C<sub>1</sub>, C<sub>1-1</sub> Y C<sub>1-2</sub>.

LA TEXTURA DE ESTE PERFIL ES DE ARCILLA (R) EN TODOS LOS HORIZONTES, CON UN PORCENTAJE MAYOR AL 40%. SON SUELOS POBRES EN MATERIA ORGÁNICA YA QUE EL CONTENIDO MAYOR SE PRESENTA EN EL PRIMER HORIZONTE (0-25 CMS) CON UN VALOR DE 2,9% Y DISMINUYE PROGRESIVAMENTE A 1,05%, 0,63% Y 0,61% EN LAS PROFUNDIDADES DE 25-75 CMS, 75-120 CMS Y 120-200 CMS RESPECTIVAMENTE. ESTA DISMINUCIÓN HOMOGÉNEA EN EL CONTENIDO DE LA MATERIA ORGÁNICA ES UN BUEN INDICADOR DEL MODO DE FORMACIÓN DEL SUELO. LOS VALORES DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO TOTAL (CICT) VARIAN DE 20,1 MEQ/100 GRS DE SUELO EN LA ÚLTIMA PROFUNDIDAD (120-200 CM), HASTA 27,66 MEQ/100 GRS DE SUELO EN LA PROFUNDIDAD DE 25-75 CM. EN ESTE CASO AL IGUAL QUE EN EL PERFIL No. 2 NO EXISTE UNA CORRELACIÓN DIRECTA ENTRE EL AUMENTO O DISMINUCIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA Y LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO, POR LO QUE SE INTERPRETA QUE LA VARIACIÓN EN LOS VALORES SE DEBEN A LAS DIFERENCIAS EN EL CONTENIDO DE MINE

RALES EN EL ESTRATO U HORIZONTE CORRESPONDIENTE.

LOS VALORES DE PH CON AGUA EN LA RELACIÓN 1:2,5 SON DE 6,8 EN EL PRIMER HORIZONTE (0-25 CM) Y DESPUÉS AUMENTA UN POCO A 7,2 EN LOS TRES ÚLTIMOS ESTRATOS. ESTOS VALORES DE PH SE CONSIDERAN COMO NEUTROS.

LOS VALORES DE DENSIDAD APARENTE OSCILAN ENTRE 0,91 GRS/CM<sup>3</sup> EN LA PROFUNDIDAD DE 75-120 CM Y 0,97 EN EL ÚLTIMO HORIZONTE (120-200 CM). ESTOS VALORES SE CONSIDERAN COMO NORMALES DEBIDO A LA ALTA PROPORCIÓN DE ARCILLA EN RELACIÓN A LAS DEMÁS FRACCIONES DEL SUELO. LA DENSIDAD REAL OSCILA ENTRE 2,20 GRS/CM<sup>3</sup> EN EL PRIMER ESTRATO Y 2,68 GRS/CM<sup>3</sup> EN LA PROFUNDIDAD DE 75-120 CM. LA INTERPRETACIÓN DE ESTOS VALORES AL IGUAL QUE LOS OTROS 2 PERFILES ES DE QUE LOS MINERALES EXISTENTES NO SON DE GRAN PESO ESPECÍFICO, SINO MÁS BIEN LIGEROS.

CON RESPECTO A LA FERTILIDAD DEL SUELO SE PUEDE APRECIAR QUE DENTRO DE LOS CATIONES INTERCAMBIABLES, EL CALCIO PRESENTA VALORES QUE OSCILAN ENTRE 6,66 MEQ/100 GRS DE SUELO Y 11,11 MEQ/100 GRS DE SUELO EN EL PRIMER HORIZONTE, ESTOS VALORES SE INTERPRETAN COMO RICOS. EL MAGNESIO PRESENTA VALORES QUE OSCILAN ENTRE 6-37 MEQ/100 GRS DE SUELO Y 9,96 MEQ/100 GRS DE SUELO, ESTOS VALORES SE CONSIDERAN COMO MUY RICOS. EL FÓSFORO PRESENTA VALORES QUE OSCILAN ENTRE 2,8 PPM HASTA 8,75 PPM EN EL HORIZONTE SUPERFICIAL, ESTOS VALORES SE INTERPRETAN COMO POBRE Y RICO RESPECTIVAMENTE. EL POTASIO PRESENTA VALORES QUE OSCILAN ENTRE 0,6 MEQ/100 GRS DE SUELO, LO QUE SE INTERPRETA COMO MUY RICO EL CONTENIDO.

ESTOS SUELOS AL IGUAL QUE LOS OTROS 2 PERFILES NO PRESENTAN PROBLEMAS DE SALINIDAD YA QUE LOS VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA OSCILAN ENTRE 0,35 Y 0,45 MMHOS/CM, EN CAMBIO PRESENTAN PROBLEMAS DE SODICIDAD A PARTIR DE LOS 25 CM DE PROFUNDIDAD, YA QUE LOS VALORES DEL PORCIENTO DE SODIO INTERCAMBIABLE OSCILAN ENTRE 18,39 Y 22,88%.

DE ACUERDO CON LAS OBSERVACIONES DE CAMPO Y LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO, ESTE PERFIL FUE CLASIFICADO DE ACUERDO CON EL SISTEMA AMERICANO O SÉPTIMA APROXIMACIÓN DENTRO DEL ORDEN MOLLISOL, SUBORDEN AQUOLL, GRAN GRUPO ARGIAQUOLL Y DENTRO DEL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN FAO-UNESCO SE IDENTIFICÓ COMO LUVISOL.

## 4.2. DIFRACCIÓN DE RAYOS X

EN EL CUADRO No. 4.5 SE MUESTRAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE ACUERDO CON LOS DIFRACTOGRAMAS DE RAYOS X.

LOS DIFRACTOGRAMAS SE INTERPRETARON DE ACUERDO A LAS DISTANCIAS INTERPLANARES (CALCULADAS EN BASE A LA LEY BRAGG) Y A LA INTENSIDAD DE LOS PICOS.

EN LA GRÁFICA No. 4.19 SE PRESENTAN LOS RESULTADOS PARA EL PERFIL No. 1, MUESTRA No. 1 (0-30 cm), Y MUESTRA No. 2 (30-45 cm). EN ELLA PUEDEN APRECIARSE "PICOS" A  $7.43\text{\AA}$ ,  $7.36\text{\AA}$ ,  $4.43\text{\AA}$ ,  $3.61\text{\AA}$  Y  $2.57\text{\AA}$ , MISMOS QUE CORRESPONDEN AL MINERAL METAHALOISITA EN MUESTRAS SATURADAS CON MAGNESIO. ASÍ MISMO SE IDENTIFICARON "PICOS" A  $7.24\text{\AA}$  Y  $3.60\text{\AA}$ , MISMOS QUE CORRESPONDEN A CAOLINITA, Y QUE SÓLO SE OBSERVARON EN LA PRIMER PROFUNDIDAD. TAMBIÉN SE PRESENTAN "PICOS" A  $4.07\text{\AA}$ ,  $4.03\text{\AA}$  Y  $2.48\text{\AA}$ , MISMOS QUE CORRESPONDEN A CRISTOBALITA. SE PRESENTA TAMBIÉN CUARZO EN EL EXTRACTO COLOIDAL, MISMO QUE SE IDENTIFICÓ POR EL "PICO" A  $3.34\text{\AA}$ .

LOS RESULTADOS PARA EL PERFIL No. 2, MUESTRA No. 3 (0-30 cm) Y MUESTRA No. 4 (30-60 cm) SE PRESENTAN EN LA GRÁFICA No. 4.20. EN ELLA SE OBSERVAN "PICOS" A  $4.44\text{\AA}$  EN LA PRIMER PROFUNDIDAD Y  $4.43\text{\AA}$  EN LA SEGUNDA PROFUNDIDAD, MISMOS QUE CORRESPONDEN A METAHALOISITA. ASÍ MISMO SE OBSERVA EN LA PRIMER PROFUNDIDAD UN "PICO" A  $7.18\text{\AA}$ , MISMO QUE CORRESPONDE A UNA CAOLINITA DESORDENADA, Y EN LA SEGUNDA PROFUNDIDAD OTROS "PICOS" A  $3.58\text{\AA}$  Y  $2.54\text{\AA}$  QUE CORRESPONDEN A CAOLINITA. TAMBIÉN SE PRESENTAN "PICOS" A  $4.07\text{\AA}$  Y  $4.03\text{\AA}$  MISMOS QUE CORRESPONDEN A CRISTOBALITA. AL IGUAL QUE PARA LAS MUESTRAS No. 1 Y No. 2 TAMBIÉN SE PRESENTA CUARZO EN EL EXTRACTO COLOIDAL, IDENTIFICADO POR EL "PICO" A  $3.34\text{\AA}$ .

LA GRÁFICA No. 4.21 MUESTRA LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL PERFIL No. 3, MUESTRA No. 5 (0-30 cm) Y MUESTRA No. 6 (30-60 cm). EN ELLA SE OBSERVAN "PICOS" A  $7.43\text{\AA}$  Y  $2.57\text{\AA}$  EN LA PRIMER PROFUNDIDAD, ASÍ COMO  $2.56\text{\AA}$ , EN LA SEGUNDA PROFUNDIDAD, MISMOS QUE CO

RRESPONDEN A METAHALOISITA. DE LA MISMA MANERA SE OBSERVAN "PICOS" A 4.48Å, 3.58Å, 2.49Å, 2.30Å Y 2.27Å MISMOS QUE CORRESPONDEN A FELDESPATOS, AUNQUE DESAFORTUNADAMENTE NO SE DISPONE DE MÁS INFORMACIÓN PARA PRECISAR SI CORRESPONDEN A ORTOCLASA, ALBITA (PLAGIOCLASA) O ANORTITA, QUE SON LOS FELDESPATOS QUE SE ENCUENTRAN EN LAS ROCAS ÍGNEAS RICAS EN SÍLICE, AUNQUE PROBABLEMENTE SE TRATE DE MEZCLAS DE TODOS LOS FELDESPATOS. SE IDENTIFICÓ TAMBIÉN UN "PICO" A 3.78Å MISMO QUE CORRESPONDE A PARAGONITA. EL "PICO" A 3.33Å CORRESPONDE A UNA HALOISITA HIDRATADA, AUNQUE TAMBIÉN ESTE PICO SE CONFUNDE CON UNA MUSCOVITA NO EXPANDIBLE. TAMBIÉN EN LA SEGUNDA PROFUNDIDAD SE PRESENTÓ UN "PICO" A 4.05Å MISMO QUE CORRESPONDE A CRISTOBALITA.

DE LOS MINERALES PRESENTES EN LAS MUESTRAS ESTUDIADAS LA METAHALOISITA ES EL MÁS ABUNDANTE TAL COMO SE PUEDE APRECIAR EN EL CUADRO NÚM. 4.5, SIGUIÉNDOLE EN ABUNDANCIA EL MINERAL CAOLINITA. SE DETERMINÓ TAMBIÉN LA PRESENCIA DE UNA CAOLINITA DE SORDENADA, POR LO QUE SE PUEDE DEDUCIR QUE ESTOS MINERALES SON PARTE DE UNA CADENA EVOLUTIVA QUE EMPIEZA A FORMARSE CON MINERALES AMORFOS, COMO ES EL ALOFAN, EL CUAL CON EL PASO DEL TIEMPO Y CIERTAS CONDICIONES ECOLÓGICAS VA OBTENIENDO UN GRADO DE CRISTALIZACIÓN CADA VEZ MÁS PERFECTO. LOS FELDESPATOS ENCONTRADOS EN LA FRACCIÓN COLOIDAL PROBABLEMENTE NO HAN TENIDO UN INTEMPERISMO ACENTUADO QUE LES PROVOQUE CAMBIOS ESTRUCTURALES, SINO QUE SOLAMENTE HAN DISMINUIDO CONSIDERABLEMENTE SU TAMAÑO CONSERVANDO SU ARREGLO ESTRUCTURAL. EL MISMO CASO OCURRE CON EL CUARZO EL CUAL AL IGUAL QUE EL MINERAL CRISTOBALITA SON FORMAS CRISTALINAS DE LA SÍLICE ( $SiO_2$ ), LA QUE CONTIENE EN ABUNDANCIA LA TOBA VOLCÁNICA, POR LO QUE SEGURAMENTE PROCEDEN DE ELLA ESTOS MINERALES. DEBIDO A QUE EL MINERAL SIDERITA ENCONTRADO ES MUY POCO COMÚN EN SUELOS, SU PRESENCIA EN ESTE PERFIL (NÚM. 3) ES DUDOSA.

## VI CONCLUSIONES

LOS SUELOS DE LA EXLAGUNA DE MAGDALENA JALISCO, ESTÁN EVOLUCIONANDO A PARTIR DE SEDIMENTOS RICOS EN FELDESPATOS CONTENIDOS TANTO EN ROCAS ÍGNEAS -COMO BASALTOS-, ASÍ COMO TAMBIÉN EN LAS CENIZAS VOLCÁNICAS. ESTAS ÚLTIMAS TAMBIÉN SON RICAS EN CUARZO Y VIDRIOS VOLCÁNICOS.

ESTOS MINERALES HAN FORMADO SUELOS RICOS EN MINERALES ARCILLOSOS A TRAVÉS DE LA INTEMPERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE ELLOS (FENÓMENOS DE DEGRADACIÓN Y AGRADACIÓN). LOS SUELOS PRESENTAN CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DEBIDO A LAS ALTAS PROPORCIONES DE ARCILLA EN RELACIÓN A LAS OTRAS PARTÍCULAS DEL SUELO, PERO SIN LLEGAR A PRESENTAR LOS PROBLEMAS TÍPICOS DE LOS VERTISOLES (ACCIONES DE EXPANSIÓN-CONTRACCIÓN, DIFICULTAD PARA LA LABRANZA, ENTRE OTRAS); ESTOS SUELOS SE CLASIFICARON COMO ARGIUSTOLES, TAMBIÉN DEBIDO A LA PRESENCIA DE LAS CENIZAS VOLCÁNICAS Y A SU INTEMPERIZACIÓN SE PRESENTAN SUELOS DE ANDO (ANDEPTS), AUNQUE EN MENOR PROPORCIÓN QUE LOS ARGIUSTOLES MENCIONADOS.

EN LA GÉNESIS DE LAS ARCILLAS PRESENTES, PARECEN HABERSE SEGUIDO LOS SIGUIENTES PROCESOS Y MECANISMOS DE EVOLUCIÓN:

- 1) ALTERACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS MINERALES PRIMARIOS (FELDESPATOS, VIDRIOS VOLCÁNICOS), POR EL FENÓMENO DE SUSTITUCIONES ISOMÓRFICAS, LA DISOLUCIÓN DE IONES INTERLAMINARES, PÉRDIDA DE IONES CENTRALES EN LOS TETRAEDROS Y OCTAEDROS Y DESINTEGRACIÓN CONSECUENTE DE LOS MINERALES A PARTÍCULAS DE TAMAÑO COLOIDAL.
- 2) DESCOMPOSICIÓN DE LOS MINERALES PRIMARIOS HASTA SUS COMPONENTES IÓNICOS CON UNA RECRISTALIZACIÓN SUBSECUENTE.

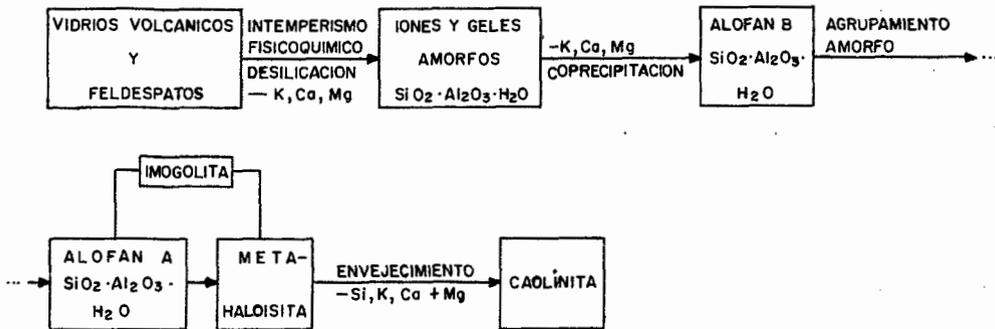
ESTE SEGUNDO PROCESO ES EL QUE PARECE HABER DOMINADO EN LOS SUELOS DE LA SERIE No. 1, ES DECIR LA MÁS EXTENSA EN CUANTO A SUPERFICIE. ESTO PUEDE CONCLUIRSE POR LOS MINERALES IDENTIFICADOS EN LOS DIFRACTOGRAMAS DE RAYOS X, DE TAL MANERA QUE LA GÉNESIS DE LAS ARCILLAS ENCONTRADAS FUE A PARTIR DE LOS VIDRIOS VOLCÁNICOS. ESTOS VIDRIOS VOLCÁNICOS PORCEDEN CON SEGURIDAD DE LAS CENIZAS VOLCÁNICAS DE AMPLIA DISTRIBUCIÓN EN LOS ALREDEDORES DE LA ZONA DE ESTUDIO.

AL DISOLVERSE LOS VIDRIOS VOLCÁNICOS, POR EFECTO DEL INTEMPERISMO FÍSICOQUÍMICO EL CUAL PROVOCA LA PÉRDIDA DE POTASIO, CALCIO, MAGNESIO Y SILICIO, SE FORMAN EN PRIMER LUGAR IONES QUE SE AGRUPAN EN GELES DE CARÁCTER AMORFO, EN LOS CUALES HAY REMOSIÓN GRADUAL DE  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  Y UNA ACUMULACIÓN DE IONES SILICATO Y ALUMINATO, LOS CUALES AL DISMINUIR EL PH HASTA EL PUNTO ISOELÉCTRICO (PH ENTRE 5 Y 6) COPRECIPITAN EN UN NUEVO MINERAL ARCILLOSO DENOMINADO ALOFAN\*, EL CUAL PRESENTA UNA FÓRMULA  $nSiO_2 \cdot nAl_2O_3$  Y  $H_2O$ . SE CONSIDERA QUE EN UN COMIENZO EL ALOFAN ESTARÍA FORMADO POR FASES DISCRETAS DE SÍLICE Y ALÚMINA (ALOFAN B). DE ACUERDO CON FASSBENDER (1975) UN TÉRMINO INTERMEDIO, EL ALOFAN AB, PODRÍA EXISTIR ENTRE LAS FORMAS A Y B. SIGUIENDO LA SECUENCIA DE EVOLUCIÓN SE FORMA LA IMOGOLITA QUE ES UN MINERAL DERIVADO DEL ALOFAN Y QUE CRISTALIZA EN FORMA DE LANCETAS MUY FINAS, AUNQUE ES CONVENIENTE ACLARAR QUE NO NECESARIAMENTE SE FORMA ESTE MINERAL, SINO QUE EL ALOFAN POR REORDENACIÓN MOLECULAR Y CRISTALIZACIÓN PUÉDE FORMAR LA HALOISITA O METAHALOISITA. ASÍ PUES LA IMOGOLITA ES UNA ETAPA TRANSICIONAL EN LA SECUENCIA EVOLUTIVA.

LA EVOLUCIÓN POR PÉRDIDA DE  $Si^{++++}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{++}$  Y AGREGACIÓN DE  $Mg^{++}$  ASOCIADOS CON EL ENVEJECIMIENTO PODRÍA DAR LUGAR A LA FORMACIÓN DE CAOLINITA.

\* Se decidió tomar este nombre a sugerencia de Angel Hoyos de de Castro y José García Vicente para evitar caer en discusiones, ya que algunos autores lo denominan alófenó y otros lo llaman alófana.

EN RESUMEN EL PROCESO DE GÉNESIS Y EVOLUCIÓN DE LAS ARCILLAS EN LA MAYORÍA DE ESTOS SUELOS ES EL SIGUIENTE:



EN RELACIÓN CON LAS ANTERIORES AFIRMACIONES ES CONVENIENTE TENER EN CUENTA LAS SIGUIENTES OBSERVACIONES:

LA INTEMPERIZACIÓN DE LAS CENIZAS VOLCÁNICAS PUEDE CONDUCIR A LA FORMACIÓN DE DIVERSOS MINERALES SECUNDARIOS, YA QUE SON LAS CONDICIONES AMBIENTALES LAS QUE PRINCIPALMENTE DECIDEN EL TIPO PARTICULAR DE MINERAL DE LA ARCILLA O COMBINACIÓN DE MINERALES QUE SE PRODUCEN DE UN TIPO PARTICULAR DE ROCA MADRE POR EFECTO DE LA METEORIZACIÓN HIDROLÍTICA. LA FORMACIÓN DE MINERAL DE LA ARCILLA, ES POR LO TANTO, UN PROCESO ECOLÓGICO Y SUSCEPTIBLE DE INVESTIGACIÓN POR EL MÉTODO EMPLEADO EN LAS INVESTIGACIONES ECOLÓGICAS. POR REGLA GENERAL EN LOS SUELOS JÓVENES PREDOMINAN LOS MINERALES AMORFOS: EL ALOFAN Y LA HALOISITA (METAHALOSITIA EN SUELOS MÁS MADUROS), (FASSBENDER 1975).

ALGUNOS AUTORES HAN CONSIDERADO QUE EL ALOFAN PUEDE FORMARSE DIRECTAMENTE A PARTIR DE VIDRIOS Y FELDESPATOS DESORDENADOS, Y SE ESTIMA POSIBLE QUE ARCILLAS PROVENIENTES DE LA TRANSFORMACIÓN DIRECTA DE VIDRIOS VOLCÁNICOS PUEDAN TENER UNA ESTRUCTURA AL AZAR, SIMILAR AL DEL ALOFAN, E INDEPENDIENTEMENTE DE PROCESOS QUE IMPLIQUEN DISOLUCIÓN O REPRECIPITACIÓN.

LA IMOGOLITA SE ASOCIA CON UNA ORDENACIÓN DE ALOFAN Y PRESENTA

POR LO TANTO, UNA ESTRUCTURA MÁS ORDENADA QUE ÉSTE. LA IMOGOLITA HA SIDO AISLADA EN ALGUNAS ZONAS DE CENIZAS VOLCÁNICAS POR BESOAIN (1969), Y CORTÉS (1972).

LA HALOISITA Y METAHALOISITA PUDIERON HABERSE FORMADO DE ALGUNA DE LAS SIGUIENTES FORMAS: 1) DIRECTAMENTE A PARTIR DEL ALOFAN POR REORDENACIÓN MOLECULAR EN EL CURSO DEL TIEMPO; 2) POR TRANSFORMACIÓN DIRECTA DEL VIDRIO SIN PASAR POR UNA FASE AMORFA; 3) A PARTIR DE IMOGOLITA, VÍA FASE ALOFAN POR REACCIONES DE CONDENSACIÓN Y DESHIDROXILACIÓN; 4) POR UNIÓN DIRECTA DE LA SÍLICE Y ALÚMINA HIDRATADA A PARTIR DE VIDRIOS ÁCIDOS, FELDESPATOS Y MINERALES DE SILICATOS BÁSICOS.

EN LA SECUENCIA DE EVOLUCIÓN PRESENTADA, LA CAOLINITA FUE INCLUIDA MÁS BIEN COMO UNA PROBABILIDAD TEÓRICA LÓGICA, YA QUE GENERALMENTE LAS ARCILLAS DE LOS SUELOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS, AÚN AQUELLAS MUY ANTIGUAS, NO SOBREPASAN EL ESTADO HALOISITICO. LOS EJEMPLOS DISPONIBLES DE LA EXISTENCIA DE LA CAOLINITA SON, EN TODO CASO, MUY ESCASOS Y MUCHAS VECES DUDOSOS. EVIDENTEMENTE LA FORMACIÓN DE LA CAOLINITA EN LAS CONDICIONES DE INTEMPERIZACIÓN DEL SUELO DEBE PROCEDER COMO UN PROCESO MUY LENTO. SIN EMBARGO, LA CAOLINITA DEBE SER EL "PUNTO FINAL" LÓGICO DE ESTA SECUENCIA, POR LA TENDENCIA NATURAL DE TODA ESPECIE A CONSTITUIR EL SISTEMA MÁS ESTABLE Y MÁS LIBRE DE DEFECTOS Y LA CAOLINITA ES DENTRO DE ESTA SERIE, EL TÉRMINO MÁS PERFECTO (FASSBENDER 1975). EN VIRTUD DE ÉSTO LA CAOLINITA IDENTIFICADA DEBIÓ HABER TENIDO UNA GÉNESIS MÁS RÁPIDA DE TAL MANERA QUE LOS FELDESPATOS MEDIANTE PROCESOS DE LAVADO INTENSO DE LAS BASES  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  Y ACUMULACIÓN DE  $\text{Al}^{+++}$  DIERON LUGAR A LA CAOLINITA. O PUDO SER HEREDADA DEL MATERIAL GEOLÓGICO BASAL.

LA SÍNTESIS ARCILLOSA SE RELACIONA CON EL FACTOR PH, ASOCIADO ÍNTIMAMENTE CON EL CONTENIDO IÓNICO DEL SUELO, YA QUE PARA ESTABLECER LA COORDINACIÓN 6 EN EL ALUMINIO Y CONSECUENTEMENTE CONSTITUIR LAS FUTURAS CAPAS OCTAÉDRICAS SE NECESITAN CONDICIONES ÁCIDAS (CONDICIONES DE DESATURACIÓN). EN CASO CONTRARIO

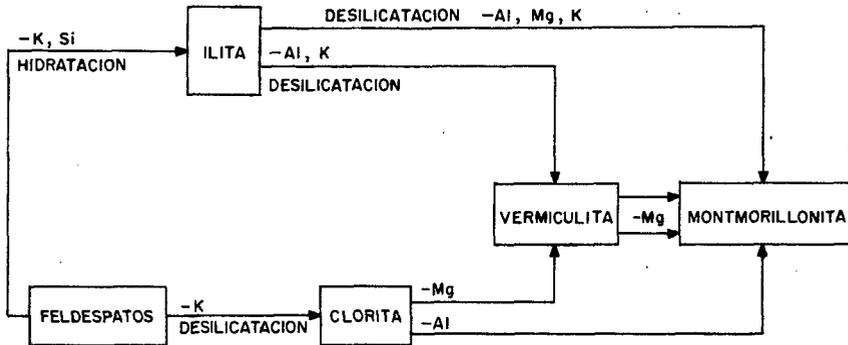
LOS VALORES ALTOS DE PH, ASOCIADOS CON SATURACIONES ALTAS DE BASES, DETERMINAN UNA COORDINACIÓN DE 4 PARA EL ALUMINIO (COORDINACIÓN TETRAÉDRICA); EL ALUMINIO EN ESTA COORDINACIÓN ORIGINA CARGAS ELÉCTRICAS, MIENTRAS QUE NO LO HACE A PARTIR DE LA COORDINACIÓN 6. EN EL PRIMER CASO (AL<sup>+++</sup> EN COORDINACIÓN 6) SE PRESENTARÁN ARCILLAS DE RELACIÓN 1:1 Y EN EL SEGUNDO CASO (AL<sup>+++</sup> EN COORDINACIÓN 4) SE PRESENTARÁN ARCILLAS DE RELACIÓN 2:1.

POR OTRA PARTE LA OPINIÓN GENERAL ESTABLECE QUE NO HAY TRANSICIÓN DIRECTA MORFOLÓGICA ENTRE CAOLINITA Y HALOISITA O METAHALOISITA; NO OBSTANTE, EL TEMA PUEDE SER MOTIVO DE INVESTIGACIONES ADICIONALES Y ESTE CONCEPTO PUEDE REVALUARSE, YA QUE TEÓRICAMENTE SON CONCEBIBLES DICHAS RELACIONES POR DEPENDER DEL GRADO DE HIDRATACIÓN DEL MINERAL.

TAMBIÉN ES IMPORTANTE MENCIONAR QUE DURANTE LOS RECORRIDOS DE CAMPO QUE SE REALIZARON, SE PUDO OBSERVAR EN ALGUNAS ZONAS FENÓMENOS DE EXPANSIÓN-CONTRACCIÓN EN EL SUELO, LO QUE NOS HIZO PENSAR EN LA EXISTENCIA DE ARCILLAS ESMECTÍICAS, SIN EMBARGO EL ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X NO MOSTRÓ A ESTOS MINERALES. COMO ES UN HECHO QUE EXISTEN ZONAS CON DRENAJE RESTRINGIDO NO SE DESCARTA LA POSIBILIDAD DE FORMACIÓN DE ARCILLAS EXPANDIBLES (RELACIÓN 2:1) POR LO QUE SE DECIDIÓ INCLUIR EN LAS CONCLUSIONES LA POSIBLE GÉNESIS Y EVOLUCIÓN DE ESTAS ARCILLAS A PARTIR DE LOS FELDESPATOS DE LOS BASALTOS.

LA PÉRDIDA DE POTASIO Y SILICIO CONDUCE A LA FORMACIÓN DE CLORITAS; BAJO CONDICIONES DE HIDRATACIÓN SE FORMAN ILITAS; UNA PÉRDIDA RÁPIDA DE BASES ACOMPAÑADA DE UNA DESILICATACIÓN LLEVA A LA FORMACIÓN DE VERMICULITAS. DE PROCESOS DE LAVADO DEL AL, K Y SI DE LAS ILITAS SE DERIVAN VERMICULITAS. IGUALMENTE UNA PÉRDIDA DE Mg<sup>++</sup> Y AL DE LAS CLORITAS LLEVA A VERMICULITAS. LA MONTMORILLONITA SE FORMÓ ENTONCES A PARTIR DE LA ILITA, LA CLORITA Y LA VERMICULITA Y EL PROCESO DE SU FORMACIÓN DEPENDE ESPECIALMENTE DE LA VELOCIDAD DE REMOSIÓN DE DIVERSOS ELEMENTOS COMO Mg, K, AL Y SI. ESTOS PROCESOS DE FORMACIÓN DE ARCI-

LLAS SON A VECES REVERSIBLES. ESQUEMÁTICAMENTE LA GÉNESIS Y EVOLUCIÓN DE ESTE TIPO DE ARCILLAS PODRÍA PRESENTARSE DE LA SIGUIENTE MANERA (DE ACUERDO CON FASSBENDER 1975):



### CONCLUSION FINAL:

LA MINERALOGÍA DEL SUELO ES UN REFLEJO FIEL DE LOS PROCESOS QUE ACTUAN O HAN ACTUADO SOBRE ÉL, Y LOS MATERIALES DEL SUELO HEREDADOS DE LA ROCA MADRE Y PRESENTES EN LAS PRIMERAS ETAPAS DE DESARROLLO VAN CAMBIANDO DINÁMICAMENTE DE ACUERDO CON LAS FUERZAS DE ALTERACIÓN EN BUSCA SIEMPRE DEL EQUILIBRIO CON EL MEDIO. LUEGO ENTONCES SI NO SE ESTUDIA Y CONOCE SUFICIENTEMENTE LA MINÉRALOGÍA DE UN SUELO, NO SE PODRÁN ENTENDER SUS CARACTERÍSTICAS DERIVADAS, CARACTERÍSTICAS QUE, POR LO DEMÁS, DETERMINAN SU FERTILIDAD Y PRODUCTIVIDAD. DESAFORTUNADAMENTE EN LA ACTUALIDAD, ESTA RAMA DEL SABER AÚN NO ESTÁ BIEN ESTUDIADA, CONOCIDA Y VALORADA EN TODA SU EXTENSIÓN.

## VII RECOMENDACIONES

PARA CONCLUIR EL PRESENTE TRABAJO SE DARÁN UNA SERIE DE RECOMENDACIONES PARA EL MEJOR MANEJO Y CONSERVACIÓN DE ESTOS SUELOS ARCILLOSOS.

ESTAS RECOMENDACIONES ESTÁN DADAS CONSIDERANDO COMO GRUPO A ESTOS SUELOS ARCILLOSOS Y, TÓMANDO EN CUENTA SU COMPOSICIÓN MINERALÓGICA.

EL SISTEMA DE LABRANZA ACTUAL EN LA ZONA, A BASE DE INVERTIR EL SUELO COMPLETAMENTE Y DISTURBARLO LO MÁS POSIBLE, IMPLICA UN ACELERADO PROCESO DE DEGRADACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA LA CUAL ES MUY IMPORTANTE PARA EL MANTENIMIENTO DE UNA BUENA ESTRUCTURA DEL SUELO, ASÍ COMO PARA MANTENER NIVELES ALTOS DE FERTILIDAD, Y AL DEGRADARSE LA MATERIA ORGÁNICA SE OCASIONARÁN LAS DIFICULTADES QUE PRESENTAN EL GRUPO DE SUELOS ARCILLOSOS PARA LA LABRANZA, ES POR ÉSTO QUE SE RECOMIENDA UTILIZAR EL SISTEMA DE LA BRANZA MÍNIMA, EL CUAL ADEMÁS DE MANTENER LOS NIVELES DE MATERIA ORGÁNICA, EVITA LA COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS CON LOS CONSIGUIENTES PROBLEMAS PARA LAS RAÍCES DE LOS CULTIVOS.

SE RECOMIENDA TAMBIÉN PROMOVER EL USO DEL ARADO DE CINCELES PARA REALIZAR LA LABRANZA PRIMARIA PROFUNDA. ÉSTE ARADO ES UN EQUIPO DE BRAZOS RÍGIDOS EN CUYO EXTREMO LLEVAN PUNTAS O REJAS Y LOS BRAZOS TIENEN CIERTA CURVATURA CON LO QUE OBTIENEN CIERTO GRADO DE ELASTICIDAD QUE LES CONFIERE UN EFECTO VIBRATORIO. LAS VENTAJAS DE ESTE TIPO DE IMPLEMENTO ES QUE PREPARA EL SUELO SIN INVERTIRLO DEJANDO UNA CAPA DE RESIDUOS VEGETALES Y DE AGREGADOS DEL SUELO QUE PROVOCAN UNA CONDICIÓN DE RUGOSIDAD A LA CAPA SUPERFICIAL PROTEGIENDO AL SUELO DE LOS IMPACTOS DE LAS GOTAS DE LLUVIA Y DISMINUYE LA VELOCIDAD DEL ESCURRIMIENTO, DEJANDO MAYOR SUPERFICIE DE CAPTACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN, Y LO QUE ES MÁS IMPORTANTE NO PROVOCA COMPACTACIÓN EN EL SUELO, YA QUE

EL EFECTO DE SUS CINCELES ES "JALAR" HACIA ARRIBA EL SUELO, A DIFERENCIA DEL ARADO DE DISCOS QUE TIENE UN EFECTO DE ARRIBA HACIA ABAJO CON LOS FILOS DE LOS DISCOS.

OTRO PROBLEMA TÍPICO DE LOS SUELOS ARCILLOSOS ES EL RELATIVO AL CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMA PARA REALIZAR LA LABRANZA, YA QUE DEBIDO AL ALTO CONTENIDO QUE PRESENTAN EN MINERALES ACTIVOS DE ARCILLA, SON MUY DUROS CUANDO ESTÁN SECOS Y POR LA MISMA RAZÓN, PLÁSTICOS Y ADHERENTES CUANDO SE HUMEDECEN; SI SE LABRAN DEMASIADO SECOS, SE FORMAN GRANDES BLOQUES O TARRONES QUE NO SE DESHACEN DESPUÉS EN UNA MASA GRANULADA. EL MARGEN DE HUMEDAD ÓPTIMA PARA LA LABRANZA ES MUY PEQUEÑO, SOBRE TODO CUANDO LOS NIVELES DE MATERIA ORGÁNICA SON MUY BAJOS Y, ADEMÁS, LOS SUELOS SÓLO OFRECEN ESTE MARGEN DURANTE PERIODOS RELATIVAMENTE BREVES, POR CONSIGUIENTE MUCHOS DE ELLOS SE CULTIVAN CON UN GRADO DE HUMEDAD INFERIOR AL ÓPTIMO, CON MALOS RESULTADOS. CUANDO LOS SUELOS ESTÁN SECOS, HACE FALTA MUCHA ENERGÍA PARA LABRARLOS, Y EN CAMBIO CUANDO ESTÁN HÚMEDOS, LOS APEROS DE LABRANZA SE ATASCAN A CAUSA DE LA ADHERENCIA. ES POR ÉSTO QUE SE RECOMIENDA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS PRÁCTICOS PARA DETERMINAR EL RANGO DE HUMEDAD ÓPTIMO PARA LA CORRECTA PREPARACIÓN DE LOS SUELOS.

LA CALENDARIZACIÓN DE LOS TRABAJOS DE CAMPO ES UN ASPECTO MUY IMPORTANTE PARA PREPARAR LA CAMA DE SIEMBRA CUANDO EL SUELO ESTÁ EN SUS MEJORES CONDICIONES FÍSICAS.

LA LABRANZA SECUNDARIA (RASTREO) SE PUEDE REALIZAR UTILIZANDO DISCOS O CULTIVADORA DE CAMPO; ES MUY IMPORTANTE MENCIONAR QUE EL USO DE IMPLEMENTOS CON DISCOS DEBE LIMITARSE A UNA SOLA PASADA SOBRE EL TERRENO, YA QUE EL EFECTO DE LOS FILOS DE LOS DISCOS, JUNTO CON EL PROPIO PESO DEL IMPLEMENTO PRODUCE COMPACTACIÓN EN ESTOS SUELOS ARCILLOSOS, ADEMÁS DE DEJARLOS DESPROTEGIDOS CONTRA LA EROSIÓN. PARA ESTAS ACTIVIDADES LA CULTIVADORA DE CAMPO (CINCELES) ES MEJOR EN LA PREPARACIÓN DE LA CAMA DE SIEMBRA POR QUE AFLOJA EL SUELO SIN COMPACTARLO (UNA LIGERA

LABRANZA SUPERFICIAL ROMPERÁ LAS CAPAS SUPERFICIALES Y FACILITARA LA INFILTRACIÓN DEL AGUA).

CUANDO SE DETECTE COMPACTACIÓN PROFUNDA DEL SUELO SERÁ NECESARIO UTILIZAR EQUIPO DE LABRANZA PROFUNDA COMO ES EL SUBSOLEADOR; EL TIEMPO ADECUADO PARA UTILIZAR EL SUBSOLEADOR SERÁ CUANDO EL SUELO ESTÉ SECO, YA QUE CON ESTA OPERACIÓN SE DESEA PRODUCIR EL MÁXIMO NÚMERO DE GRIETAS O FRACTURAS Y SU MÁXIMO ANCHO, TAMBIÉN SE DESEA TENER LAS GRIETAS EL MÁXIMO TIEMPO POSIBLE PARA AIREAR EL SUELO, Y ESTOS EFECTOS SÓLO SE LOGRAN TENIENDO EL MÍNIMO DE HUMEDAD POSIBLE EN EL SUELO, DE LO CONTRARIO NO SE LOGRARÁ QUE LAS GRIETAS SEAN GRANDES DEBIDO A QUE LA MENOR PLASTICIDAD DEL SUELO COINCIDE CON EL PUNTO DE MARCHITAMIENTO PERMANENTE.

TAMBIÉN ES NECESARIO EL DRENAJE PARA LA ELIMINACIÓN DE LOS EXCESOS DE AGUA DE LOS SUELOS A FIN DE PROPORCIONAR A LOS CULTIVOS UN MEDIO ADECUADO PARA SU NORMAL DESARROLLO. LOS SUELOS PRESENTAN MEJORES CONDICIONES FÍSICAS CUANDO ESTÁN DRENADOS PERMITIENDO UNA LABRANZA MÁS ÓPTIMA Y LA SIEMBRA A BUEN TIEMPO. ES POR ELLO QUE SE RECOMIENDA EL DISEÑO DE UN BUEN SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL PARA ELIMINAR LOS EXCESOS DE AGUA SIN PELIGRO DE EROSIÓN.

DEBIDO A QUE ESTOS SUELOS TIENEN UN ALTO CONTENIDO DE ARCILLAS Y TIENDEN A SER MUY COHESIVOS, LA MATERIA ORGÁNICA ES UN FACTOR MUY IMPORTANTE YA QUE AYUDARÁ A MANTENER UNA ESTRUCTURA GRANULAR NECESARIA PARA UNA CONVENIENTE LABRANZA, DRENAJE Y RESISTENCIA A LA EROSIÓN. EL REGRESO DE UN PORCENTAJE DE LOS RESIDUOS DE CULTIVOS ES MUY IMPORTANTE PARA MANTENER LOS NIVELES DE LA MATERIA ORGÁNICA. SE RECOMIENDA TAMBIÉN LA ADICIÓN DE ABONOS VERDES COMO LEGUMINOSAS, YA QUE ÉSTAS ENRIQUECEN AL SUELO EN NUTRIENTES, SOBRE TODO EL NITRÓGENO YA QUE TIENEN LA PROPIEDAD DE FIJARLO DE LA ATMÓSFERA, ASÍ COMO TAMBIÉN TIENEN UN DESARROLLO FOLIAR VIGOROSO CON LO QUE SE INCREMENTAN LOS CONTENIDOS DE MATERIALES ORGÁNICOS.

RESPECTO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO ES IMPORTANTE MANTENER LOS NIVELES DE MAGNESIO Y POTASIO EN LA RELACIÓN 2:1, YA QUE SI EXISTE MAYOR CANTIDAD DEL IÓN POTASIO ÉSTE DESPLAZARÁ AL IÓN MAGNESIO Y SI NO EXISTE ESTE ÚLTIMO EN LOS SITIOS DE INTERCAMBIO ENTONCES HABRÁ DEFICIENCIAS PARA LAS PLANTAS,

EN VIRTUD DE LOS PHs ALCALINOS QUE PRESENTAN ESTOS SUELOS SE RECOMIENDA QUE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SEA A BASE DE SULFATO DE AMONIO  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , YA QUE APARTE DE QUE BAJA EL PH, ALGUNOS ESTUDIOS REALIZADOS DEMUESTRAN QUE CUANDO EL SULFATO DE AMONIO SE MEZCLA CON UN FERTILIZANTE FOSFATADO HIDROSOLUBLE HAY UN INCREMENTO EN EL DESARROLLO DE RAÍCES Y UNA MAYOR ABSORCIÓN DEL FÓSFORO POR LA PLANTA. (CORTÉS 1972),

EN RELACIÓN A LOS TIPOS DE ARCILLA PRESENTE SE PUEDE INDICAR LO SIGUIENTE:

EXISTEN ARCILLAS DE RELACIÓN 1:1 (HALOISITA, METAHALOISITA, CAOLINITA), Y ESTOS TIPOS DE ARCILLA TIENEN BAJA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO DEBIDO A QUE EL FENÓMENO DE SUSTITUCIÓN ISOMÓRFICA RESPONSABLE DE LA APARICIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS NEGATIVAS ES MÍNIMO Y SÓLO OCURRE LA APARICIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS POR RUPTURA EN LOS BORDES DE LOS CRISTALES DE LAS ARCILLAS. DEBIDO A ÉSTO SE RECOMIENDA LA INCORPORACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN GRAN ESCALA PARA AUMENTAR LOS COLOIDES EN EL SUELO Y DE ESTA MANERA TENER MÁS SITIOS DISPONIBLES PARA EL INTERCAMBIO DE NUTRIENTES.

TAMBIÉN DEBIDO A LA PRESENCIA DE HALOISITA/METAHALOISITA EN ESTOS SUELOS ES MUY POSIBLE LA EXISTENCIA DE MINERALES AMORFOS LOS QUE TIENEN LA PARTICULARIDAD DE FIJAR EL FÓSFORO DISPONIBLE PARA LAS PLANTAS. ES POR ELLO QUE SE RECOMIENDA LA APLICACIÓN FOSFATADA EN BANDAS CONTÍNUAS CERCA DE LAS SEMILLAS (5 CMS. ABAJO Y 5 CMS. A UN LADO), PARA LOGRAR UN MEJOR APROVECHAMIENTO DE ESTE NUTRIENTE POR LAS PLANTAS.

## B I B L I O G R A F I A

1. AGUILERA, H.N. "ESTUDIO DE ARCILLAS Y ALGUNOS SUELOS DE MÉXICO EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO". TESIS ESC. NAL. DE C. BIOL., I.P.N. MÉXICO, 1949.
2. AGUILERA, H.N., HERNÁNDEZ CORZO R.; "ARCILLAS DEL VALLE DE MÉXICO, ESTUDIO MORFOLÓGICO EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO". REVISTA CHAPINGO No. 62 P.P. 2-12 MÉXICO, 1951.
3. AGUILERA, H.N., JACKSON, M.L.: "IRON OXIDE REMOVAL FROM SOILS AND CLAYS". SOIL SCI, SOC. AMER. PROC. 17: 359-364, - 18: 223-250. 1953.
4. AGUILERA, H.N. Y ARIAS V.C.: "ESTUDIO FÍSICOQUÍMICO DE LOS COLOIDES DE ALGUNOS SUELOS DE CHIHUAHUA". MEMORIA PRIMER CONGRESO NACIONAL DE LA CIENCIA DEL SUELO. MÉXICO 1963.
5. ALEXANDER, L.T. Y HENDRICKS, S.B.: "MINERALS PRESENT IN - SOIL COLLOIDS. I. DESCRIPTIONS AND METHODS FOR IDENTIFICATION". SOIL SCI 48: 351-371. 1939
6. AOMINE AND KOBASYASHY, Y: "EFFECT OF ALLOPHANE ON THE -- ENZYMATIC ACTIVITY OF A PROTEASE". SOIL SCI. AN PLANT NUTRITION. VOL 10 No. 1; 28-32. 1964
7. BESOAIN, M.E. "MINERALOGÍA DE LAS ARCILLAS DE LOS SUELOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS". IN PANEL SOBRE SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN AMÉRICA LATINA. TURRIALBA B.1.1-B.1.17. 1969
8. BORREGO R.R., "PROYECTO DE DESAGUE DE LA EX-LAGUNA DE MAGDALENA JALISCO". TESIS PROFESIONAL, E.N.A. CHAPINGO, MÉXICO. 1969.

9. BRADLEY, W.F.: "DIAGNOSTIC CRITERIA FOR CLAY MINERALS". AM MINERALS 30: 704-713. 1945
10. BRINDLEY, G.W.: "X-RAY IDENTIFICATION AND CRISTAL STRUCTURE OF CLAY MINERALS". THE MINERALOGICAL SOCIETY OF GREAT --- BREITAIN. LONDON. 1951
11. COLIMENT-DAAGE, F. "NATURALEZA DE LA FRACCIÓN ARCILLOSA DE ALGUNOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS DE LAS ANTI-LLAS, ECUADOR Y NICARAGUA". IN PANEL SOBRE SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN AMÉRICA LATINA. TURRIALBA. -- B.21-B.2.12. 1969
12. CORRENS, W.C.: "EXPERIMENTS ON THE DESCOMPOSITIONS OF SILICATES AND DISCUSION OF CHEMICAL WEATHERING. CLAY AN CLAYS - MINERALS. MONOGRAPH 12 P.P. 443-459. 1963
13. FIELDS, M, SWINDALE L.D.: "CHEMICAL WEATHERING OF SILICATES IN SOIL FORMATION. J. SCI. TECH 56: 140-154. 1954
14. GARAVITO, N.F. Y ANDREUX F.: "QUÍMICA DE SUELOS". CURSO INST. GEOG. A. CODAZZI BOGOTÁ, COLOMBIA 1974.
15. GRIM, R.E.: "CLAY MINERALOGY". MC. GRAW HILL BOOK CO. INC. NEWYORK P.P. 84-105, 190-249, 315-347. 1953
16. JACKSON, M.L.: "ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS". ED. OMEGA BARCELONA P.P. 410-439, 1965
17. JACKSON, M.L.: "CHEMICAL COMPOSITION OF SOILS". IN CHEMISTRY OF THE SOIL ED. F.E. BEAR ED. REINHOLD. P. 71-141
18. LOUGHNAN,: "CHEMICAL WEATHERING OF THE SILICATE MINERALS". ED AMERICAN ELSEVIER P. 154. 1969

19. MALAGÓN, C.D.: "MINERALOGÍA DE SUELOS, SUS RELACIONES CON GÉNESIS, FERTILIDAD Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS", INSTITUTO GEOGRÁFICO A. CODAZZI. BOGOTÁ D.E. 1975
20. MARSHALL, C.E.: "THE PHYSICAL CHEMISTRY AND MINERALOGY OF SOILS". VOL. I: SOILS MATERIALS. JOHN WILEY AND SONS, NEW YORK P. 5-7. 1964
21. MILLOT, G.: "LA ARCILLA". REVISTA CIENTIFIC AMERICAN. 1979
22. PETTIJOHN, K.J.: "PERSISTENCY OF HEAVY MINERALS AND GEOLOGIC AGE". JOUR. GEOL. 49 : 610-625. 1941
23. RANKAHAMA, K. Y SAHAMA TH.: "GEOQUÍMICA" ED. AGUILAR S.A. MADRID ESPAÑA. 1954
24. REICHE, P.: "GRAPHIC REPRESENTATION OF CHEMICAL WEATHERING". JOUR. SED. PETROL. 13 : 58-68. 1973
25. RIVERA DÍAZ, J.M.: "ESTUDIO DE LA PROPIEDADES MINERALÓGICAS Y TERMODINÁMICAS DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL EX-LAGO DE TEXCOCO". TESIS MAESTRÍA EN CIENCIAS. COLEGIO DE -- POSTGRADUADOS CHAPINGO, MÉXICO 1979.
26. S.A.R.H., SUBDIRECCIÓN DE AGROLOGÍA. "ESTUDIO AGROLÓGICO SEMIDETALLADO DE LA EX-LAGUNA DE MAGDALENA", MÉXICO. 1977
27. S.A.R.H., SUBDIRECCIÓN DE AGROLOGÍA. "ESTUDIO AGROLÓGICO ESPECIAL DE SALINIDAD Y DRENAJE, DE LA EX-LAGUNA DE MAGDALENA, JALISCO". MÉXICO 1982 (EN PRENSA).
28. SEGALÉN P.: "SUELOS DE LA ZONA INTERTROPICAL". E.N.A. SERIE DE APUNTES No. 4, CHAPINGO, MÉXICO. 1964

29. VAN OLPHEN, H.: "CLAY COLLOID CHEMISTRY". JHON WILEY AND SONS. NEW YORK P.P. 146-152. 1963
30. YÚFERA, P.E. Y CARRASCO, D.J.M.: "QUÍMICA AGRÍCOLA". VOL. I. SUELOS Y FERTILIZANTES. ED. ALHAMBRA. MADRID, ESPAÑA 1973