



00369
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA³
DE MÉXICO 21

FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

LA CIENCIA DEL SUELO Y SU APLICACION EN
LA INVESTIGACION ARQUEOLOGICA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS (EDAFOLOGIA)

P R E S E N T A
JOSE LUIS VILLALPANDO GONZALEZ

DIR. DE TESIS PROF. EMERITO NICOLAS AGUILERA HERRERA +
DR. JORGE E. GAMA CASTRO



MEXICO, D. F.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE GENERAL

PROLOGO	i
RESUMEN	ii

CONTENIDO

I.- INTRODUCCIÓN	1
1.1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2.- JUSTIFICACIÓN	6
1.3.- HIPÓTESIS	8
1.4.- OBJETIVOS	8
II.- ANTECEDENTES	10
III.- MARCO HISTÓRICO	15
IV. MEDIO AMBIENTE	21
IV.1.- LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	21
IV.2.- CLIMA	24
V.-MARCO TEORICO	31
V.1.- CONCEPTOS EDAFICOS	31
V.2.- LA ARCILLA	34
V.3 LA CERAMICA	43
VI.- METODOLOGÍA	49
VI.1.-ANÁLISIS FÍSICOS.....	50
VI.2.-ANÁLISIS QUÍMICOS.....	50

VI.3-ANÁLISIS DE LA CERÁMICA	51
VII.- DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	56
VIII.- RESULTADOS E INTERPRETACIÓN	60
IX.- ANÁLISIS DEL MATERIAL CERÁMICO Y CONSTRUCTIVO	81
X.- APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS EDÁFICAS EN LA INVESTIGACIÓN ARQUEOLÓGICA	94
XI.- CONCLUSIONES	104
XII.- BIBLIOGRAFÍA	108
ANEXO I.- Conceptos edáficos	115
ANEXO II.- Arqueología	151
ANEXO III Tabla de análisis físicos, químicos, difracción de Rayos X, deferración y paleomagnetismo	157



A la memoria del Profesor Emérito Nicolás Aguilera Herrera. (1996 ⇄)

Agradecimientos:

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de continuar con mi preparación académica.

A la Facultad de Ciencias por brindarme un lugar en sus aulas. En especial al Laboratorio de Edafología.

Al CONACyT por el apoyo económico para la realización de mis estudios de maestría.

Al Instituto de Geología por permitirme la realización de muchos de los análisis necesarios. Al Dr. Dante Moran Zenteno, Director del instituto. Al M. en C. Sergio Mayorga, jefe del Departamento de Edafología.

Al Departamento de Edafología del Instituto de Geología.

A la Dirección de Salvamento Arqueológico, por permitirme el material empleado. Al Director Arqlo. Luis Alberto López Wario.

Al M. en C. Victor M. Dávila Alcocer por su invaluable ayuda y orientación.

Al Dr. Octavio Cano Corona y la M. en C. Angélica Arias H.

A la M. en C. Arelia González del departamento de química por su apoyo. A la M. en C. Ernestina Vallejo por su apoyo y orientación.

Al los doctores Emily McClung de Tapia, Jorge Enrique Gama Castro, Román Piña Chán integrantes de mi comité tutorial por su amistad y apoyo.

A los sinodales por su tiempo y dedicación a las correcciones y acertadas sugerencias para el mejor desarrollo de la tesis:

Dra. Norma Eugenia García Calderón.

Dr. David Flores Román.

Dr. Jorge Enrique Gama Castro.

Dra. Emily McClung de Tapia

Dr. Román Piña Chán.

Dra. Teresa de Jesús Reyna Trujillo.

M. en C. Miguel Ángel Valera Pérez.

Al Instituto de Investigaciones Antropológicas, al Laboratorio de Paleoambiente y Paleobotánica. Al Centro de cómputo, especialmente a Paty.

A amigos y compañeros de Ciencias, Geología y Antropológicas. A Carolina.

Con todo cariño y respeto para el siempre maestro y amigo, el Profesor Emérito Nicolás Aguilera Herrera. +

**Imáni éngi sési
jimbó andántapka.**

**Mentuk juchiti tsitsiti
ka juchiti joskuecha.**

**A mi mamá y hermanos, por su apoyo y cariño.
A aquellas personas que me apoyaron desinteresadamente.
Por sobrelevar mis malos momentos.
A Carmen, Jacqueline, Monga, Paty y Rebeca.**

PROLOGO:

Esta investigación se plantea como la etapa de transición entre los procesos naturales del suelo y los culturales que se generan durante la investigación arqueológica. Es decir, los procesos culturales que los investigadores de la ciencia del suelo no estudian y a su vez, los naturales que los investigadores sociales no consideran.

Como casi toda nueva propuesta, esta tiene muchas limitantes pero, es una primera aproximación que, con futuras investigaciones puede constituir una herramienta para los que quieran conocer las sociedades prehispánicas.

Cada capítulo introduce nuevos conceptos para que el investigador social conozca y aplique otras técnicas en su investigación. Así el Marco Teórico proporciona conceptos edáficos para su aplicación en la arqueología.

En la metodología se presentan técnicas para suelos que pueden aplicarse en la arqueología aportando nuevos puntos de vista en la solución de problemas arqueológicos y estos pueden ser útiles a la misma edafología.

La caracterización de las capas del "subsuelo" de la Ciudad de México es un aporte en el estudio estratigráfico de suelos antrópicos, que cada vez son más, y ver el desarrollo de los mismos a través no solo del tiempo sino de factores sociales como es el crecimiento demográfico y factores naturales como los son los suelos inundados, en los cuales predominan procesos de gleyización y reducción.

La aplicación de las técnicas descritas en el capítulo VI, aportan ideas nuevas en la interpretación del material arqueológico, no solo cerámico, ya que se pueden aplicar para todo tipo de material cultural.

RESUMEN

Este trabajo surge como respuesta a la necesidad de interpretar más adecuadamente los datos obtenidos durante las investigaciones arqueológicas.

Su motivo principal es el plantear el alcance que se puede tener al aplicar técnicas edáficas en el quehacer arqueológico.

Para esto es necesario conocer las características físicas, químicas y bacteriológicas del suelo (esta última no se trata en este trabajo), para ver cómo y en qué grado altera a el material arqueológico de diverso origen. En esta primera aproximación se utiliza el material cerámico, el cual es más común en casi todas las investigaciones, por tal razón se plantean técnicas como la difracción de Rayos X, la técnica de deferración de óxidos secundarios, susceptibilidad magnética y la mineralogía por medio de la lámina delgada.

Así mismo las técnicas edáficas tales como: el color, pH, densidad, porosidad, materia orgánica, textura, CIC, cationes y aniones intercambiables nos indican las características físicas y químicas del suelo.

Se pudo observar que el suelo y el material arqueológico interactúan para provocar un intemperismo diferencial en este último.

Por lo que se pudo observar es posible aplicar estas técnicas con gran beneficio en el conocimiento del material y su conservación. Además de que amplía los recursos técnicos en la arqueología para lograr una mejor recuperación de datos de gran importancia en la reconstrucción de sociedades pasadas.

I.- INTRODUCCIÓN

Para el arqueólogo el suelo constituye un receptáculo de los materiales culturales de las sociedades pasadas, es decir, constituye un registro arqueológico, el cual con los conocimientos previos le permite hacer una reconstrucción de las actividades en que intervenían y su papel dentro de esas comunidades.

El principal objetivo del presente trabajo es adecuar parte de la metodología de edafología en la investigación arqueológica, observar cómo el suelo altera al material arqueológico depositado en él durante un tiempo relativamente largo, y así mismo, determinar cómo la actividad humana transforma las depositaciones naturales y cómo se modifican sus propiedades físicas y químicas.

Para realizar una correcta interpretación y por consiguiente una reconstrucción veraz de las actividades productivas en el pasado, es indispensable conocer realmente a los objetos arqueológicos que permiten al investigador tener elementos de juicio para discernir esas actividades.

El clima y el material parental condicionan el tipo de suelo existente en un área; son varios y de origen múltiple los factores que intervienen en el desarrollo y transformación del suelo.

Se realizaron registros de diferentes perfiles del suelo localizados en excavaciones arqueológicas, esto con el fin de tener representatividad del sitio en donde ahora se ubica la Ciudad de México.

En las técnicas a emplear está la microscopía, gracias a ella es posible observar las alteraciones en el material arqueológico. En la investigación arqueológica se obtiene una gran cantidad y variedad de información por lo cual el investigador al encontrar dificultades para utilizar una

técnica, opta por no utilizarla o también, cuando son pocos los lugares que realizan esos análisis tiene que esperar un largo tiempo para poder tener los resultados, como es el caso del fechamiento por carbono.

Lo que se pretende, es implementar una serie de técnicas edáficas que permitan obtener una nueva y mejor información de la investigación arqueológica, y como las características del suelo afectan al material cultural, la cerámica se toma como un ejemplo de la aplicación de esta metodología que permite hacer una interpretación más veraz del material; por lo cual se utilizan las técnicas que se mencionan en la metodología. Así pues, se menciona el pH, la Capacidad de Intercambio Cationico, etc. para entender los principios en que se sustenta y su consecuente injerencia en procesos biofísicoquímicos que los hacen importantes para determinar las posibles transformaciones del material arqueológico en general y la cerámica en particular.

Es una metodología apta para aplicarse a cualquier investigación, partiendo de que se conoce qué clase de suelo este presente y en las condiciones en que posiblemente se efectuaron las depositaciones (entierros, ofrendas, etc.), los desechos (basureros, etc.) del material cultural.

Para ejemplificar el uso de esta metodología se hace una descripción de la estructura de las arcillas que se utilizan para la fabricación cerámica, con la finalidad de que el arqueólogo u otro especialista que no tenga conocimiento en edafología sepa cómo interactúan la arcilla y los minerales utilizados en su decoración. Se pueden hacer estudios mineralógicos, pero, es tan amplia la variedad de combinaciones de arcillas usadas para la fabricación de la cerámica que sería necesario hacer este estudio para casi un 30 o 40 % de la cerámica, lo que imposibilitaría ir más allá, por cuestión de tiempo y recursos con los que un proyecto de investigación arqueológica puede encausar para este tipo de investigación, salvo en casos

excepcionales y para los cuales, estas facetas de investigación no se consideran.

I.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La arqueología se ha definido a partir del objetivo que ha tenido, así pues, ha pasado de ser una manera de obtener material para coleccionistas y posteriormente para museos, ahora, se acepta como una disciplina de la antropología, estatus que comparte con otras disciplinas como la antropología social, etnología, etc., en donde el objetivo de todas estas disciplinas es el estudio del hombre en sociedad, diferenciándose de éstas por los métodos usados.

El suelo interviene en todas las actividades humanas, es el que sustenta las actividades económicas básicas o no del hombre, la agricultura, la construcción de sus viviendas y centros religiosos, canalización y almacenaje de agua.

Tiene estructura y propiedades que lo distinguen del material del que se origina. Tiene un sistema ecológico dinámico que provee a las plantas de soporte, agua, nutrimentos, oxígeno y sostiene una gran población de microorganismos que reciclan la materia orgánica.

El suelo tiene dos tipos de componentes sólidos: uno mineral, derivado de las rocas y su intemperismo, y otro orgánico proveniente de la descomposición de las plantas y actividades de organismos micro y macroscópicos y sus compuestos de descomposición.

El conocimiento y uso de técnicas edáficas permite la recuperación de más información para la reconstrucción de actividades de las sociedades pasadas, así mismo permite distinguir en los elaborados los efectos intencionales y los que son producto de la relación de éstos con el suelo. Como se puede ver en la figura 1, el material arqueológico que se encuentra en el contexto suelo está intercambiando parte de su naturaleza mineralógica y

química debido a los procesos de intemperismo que se presentan. Es decir, está actuando como un material sujeto a alteración, similar a cualquier material edáfico que se encuentre en este perfil.

Sin embargo, actualmente se conoce muy poco de las características y propiedades específicas de esta interacción. Este desconocimiento sobre el suelo y el material cerámico, ha propiciado que se imposibilite en muchos casos su restauración. Para ello es necesario en principio estudiar al suelo, su naturaleza y dinámica, y así mismo conocer la naturaleza del propio material arqueológico.

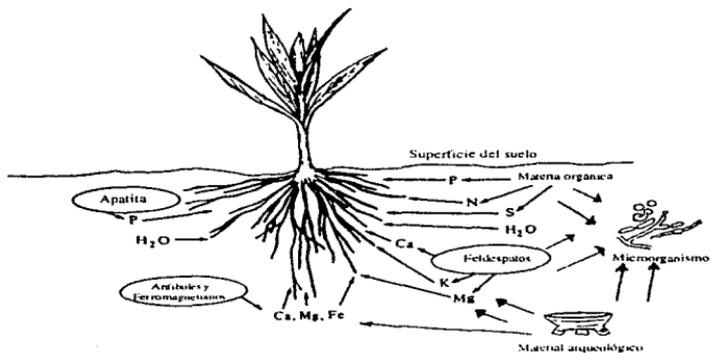


Figura 1 Reacciones que ocurren entre el suelo, la planta, los microorganismos y el material arqueológico.

I.2.- JUSTIFICACIÓN

El material arqueológico se conserva en la mayoría de las veces cubierto por suelo, en ocasiones formado por deposición natural, sin embargo en los sitios arqueológicos los depósitos en la mayoría de los casos son debidos a las actividades humanas realizadas en ese lugar. De aquí se desprende la importancia que tiene el conocer las propiedades que poseen los diferentes suelos para poder considerar las modificaciones postdeposicionales, y así tomarlas en cuenta cuando se interprete ese material.

La correcta interpretación de los elementos encontrados en los suelos durante las excavaciones arqueológicas permite hacer una reconstrucción cada vez más acertada de la sociedad que los produjo.

El material al estar en contacto con el suelo durante mucho tiempo y generalmente, en condiciones, de oxidación-reducción, lentamente va alterando sus propiedades químicas, mineralógicas y físicas que lo diferencian del material que originalmente produjo el hombre.

En la arqueología se investigan objetos presentes, hechos en el pasado, como una forma de acercamiento a las sociedades pasadas. Se conoce cómo son esos objetos en el presente, pero no se tiene la certeza de cómo fueron en el pasado. Por eso, es importante saber qué transformaciones pudieron sufrir desde que se fabricaron y el tiempo en que estuvieron sepultados en el suelo hasta el presente, cuando se realiza un análisis e interpretación de ellos.

Técnicamente el suelo es un sistema polidisperso que sufre transformaciones de manera gradual o brusca, según sean las condiciones en

que se desarrolla, al igual que un objeto en él depositado puede sufrir transformaciones físico-químicas como puede ser el caso de la cerámica.

Es común en las investigaciones arqueológicas suponer que el material mientras más profundo se localice sea más antiguo, lo cual si bien pudiera ser esto un supuesto muy difundido, no es totalmente cierto. Considerando las diferentes características y propiedades del suelo esta premisa no se da de manera directa.

Así mismo, el arqueólogo (en la mayor parte) y el restaurador (cuando se cuenta con él) en su intención de conservar y restaurar el material arqueológico, pero sin considerar las condiciones de alteración sufridas en el sustrato, pueden poner a este material en condiciones de mayor deterioro, como pudiera ser, por ejemplo, el caso de utilizar soluciones ácidas para limpiar material que estuvo en el suelo en condiciones alcalinas con las cuales mantenía un equilibrio el cual reducía, en lo posible, su deterioro. De igual manera, otro ejemplo es el de utilizar, soluciones polares (como el agua) para limpiar objetos con pigmentos que se pueden diluir en estas. En fin, sería interminable hacer un recuento de lo que pasa antes, durante y después de la excavación y que pudiera evitarse si se tienen algunas consideraciones sobre el suelo, su naturaleza y la naturaleza cerámica, para realizar mejor el quehacer arqueológico.

Este trabajo pretende dar solución a algunos de los problemas mencionados tomando, como base la interrelación que es posible establecer entre la ciencia del suelo y la arqueología. También se espera que, sirva como una pequeña contribución para un mejor desarrollo de la arqueología de manera general y un avance en el desarrollo de los profesionistas de esta disciplina.

1.3.- HIPÓTESIS

El suelo, sus procesos de intemperismo y las características mineralógicas del material arqueológico interactúan para dar como resultado alteraciones diferenciales en los diversos bienes culturales. Las condiciones edáficas determinan la futura conservación o destrucción del material cerámico, el cual a su vez puede o no influir activamente en algunas propiedades del suelo.

Con base en esta hipótesis y los antecedentes previamente discutidos se plantean los siguientes objetivos:

1.4.- OBJETIVOS

Objetivo General:

-Implementar y adecuar parte de la metodología edáfica para aplicarla en la investigación arqueológica, ya sea en su fase de prospección, excavación, conservación y análisis del material, y como un apoyo en su interpretación.

-Analizar y desarrollar la aplicación de los criterios edáficos, tales como los resultados del intemperismo en transformación de minerales primarios y secundarios, en la investigación arqueológica, con el fin de profundizar la información obtenida del material por sí mismo.

Objetivos particulares:

1.- Utilizar los datos obtenidos de los análisis físicos, químicos y mineralógicos del suelo para una mejor interpretación del material arqueológico depositado en él.

2.-Evaluar el efecto de las propiedades y procesos físicos y químicos del suelo en el deterioro y/o conservación del material arqueológico.

3.- Aplicar esos conceptos y características en el estudio de la cerámica, a partir del conocimiento de la materia prima (arcilla) y sus transformaciones postdeposicionales en el suelo de la Ciudad de México.

Objetivos metodológicos:

1.-Determinar las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

2.-Determinar las características mineralógicas y petrográficas de la cerámica.

3.-Determinar a través del análisis de deferración y paleomagnetismo el grado de alteración ocurrido en la cerámica en su contexto de enterramiento.

II.- ANTECEDENTES

La región de interés es la conocida actualmente como el Centro Histórico de la ciudad de México, ubicado en lo que fueran las Islas de Tenochtitlan y de Tlatelolco en la época prehispánica y donde después se constituyó la Primera Traza al inicio de La Colonia. Se eligió este lugar, primero por haber trabajado en él y tener un conocimiento previo del área y de la problemática que se enfrenta el arqueólogo durante su investigación.

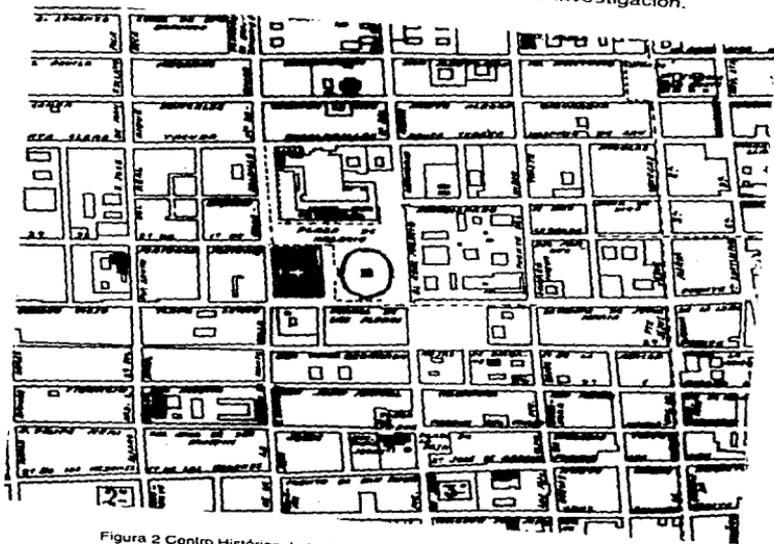


Figura 2 Centro Histórico de la Ciudad de México.

II.1- ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

Las aplicaciones de la edafología en la investigación arqueológica se han dado de manera parcial. Primeramente se aplicó en la estratigrafía de capas y horizontes del suelo. En la excavación, por una parte se aplica para determinar una cronología relativa, aunque no siempre es de algún modo determinante, pues se parte de que, lo que está más abajo es más antiguo, lo que no siempre es así. Otra aplicación es la excavación en sí misma, ya que se puede excavar por "capas" métricas o "capas" de depositación usando las diferencias de color o textura del suelo.

Desde la época prehispánica los diferentes grupos étnicos tenían clasificado al suelo según sus características y usos que tenía. Cada etnia desarrolló su propia clasificación, así pues, los mexicas tuvieron su nomenclatura del medio que los rodeaba, Sahagún (1982: 701-702) habla de ello, a continuación se reproduce parte del texto, debido a que las definiciones que se comentan permiten la identificación de varias unidades de suelos las cuales se discuten en el capítulo de resultados.

"DE DIVERSAS CALIDADES DE TIERRA

A la tierra fértil, para sembrar, y donde se hace mucho lo que se siembra en ella, llaman **atoctli**, que quiere decir tierra que el agua la ha traído; es tierra donde se hace mucho maíz o trigo.

Hay otra manera de tierra fértil donde se hace muy bien el maíz y el trigo, llamanla **quauhtlalli**, quiere decir, tierra que está estercolada con maderos podridos; es tierra suelta, amarilla y hueca.

Hay otra tierra también fértil que se llama **tlalcoztli**, que quiere decir, tierra amarilla, el cual color de tierra significa fertilidad.

Hay otra manera de tierra fértil que llaman **xalatoclli**, porque es tierra arenosa, que el agua la trae de los altos; es tierra suave de labrar.

Hay otra manera de tierra fértil que se llama **tlazotlalli**, que es tierra donde las hierbas se vuelven estiércol, y sirven de estiércol, enterrándolas en ella.

A la tierra arenisca y escasa y que da poco fruto la llaman **xallalli**, que quiere decir, tierra arenosa y estéril.

Hay una tierra pegajosa buena para hacer barro de paredes y suelos para los tlapancos, y es fértil y donde se hace bien el maíz y trigo. Hay otra manera de tierra fértil que se llama **callali**, que quiere decir tierra donde ha estado edificada alguna casa, y después que se cava y se siembra es fértil.

A la tierra estercolada la llaman **tlalauíac**, quiere decir tierra suave, porque la han adobado con estiércol. Hay también tierras de riego que las llaman **atlalli**, que quiere decir de agua o tierra que se puede regar. A la ladera o repecho, o falda de algún monte o collado, llaman **tepetlalli**, quiere decir tierra de cuesta; en los repechos de las cuevas hay unas tierras pedregosas, o cascajosas, y ásperas y secas. llámanlas **tetlalli**, quiere decir tierra pedregosa o cascajosas; hácese en ellas bien el maíz.

Hay unas tierras que tienen mucho en sí la humedad del agua, y por esto son fértiles; hay una manera de tierras que son húmedas de su natural, por ser bajas, y aunque no llueva tienen humedad y son fértiles, y cuando llueve mucho se pierde lo que en ellas se sembró. Hay otras tierras como en la letra está bien explicado.

DE LAS MANERAS DE RUIN TIERRA.

La tierra salitrosa que se llama **tequizquitlalli**, quiere decir, tierra donde se hace el salitre, (y) es tierra estéril por razón del salitre que es de mala condición; también la tierra donde se hace sal es infructífera. Hay otra tierra blanquecina, estéril en que no se hace cosa alguna.

Hay otra tierra blanca que es como la cal, y sin provecho; hay una manera de tierra que llaman **tlaltenextli**, quiere decir, tierra de cal, no por porque es blanca ni tiene que ver con cal, mas ella cocida y molida y envuelta con la cal la hace muy fuerte y aumentala; es tierra negra como de adobes.

Hay una tierra bien conocida que se llama **tezontali**, que es y se usa para mezclar con la cal y hácela muy fuerte, véndese mucho aquí en México, para los edificios.

A la tierra seca donde no se da nada, por ser ella naturalmente la llaman **teuhtlalli**, quiere decir, tierra seca, o tierra de polvo. Al polvo que se levanta de la tierra llaman **teuhtli**.

Hay una tierra que se llama **atizatl**, que es blanca o blanquecina, que tiene greda mezclada; por tiempo se vuelve greda. Hacen de ella adobes y no es buena para otra cosa.

DE OTRAS MANERAS DE TIERRA PARA HACER TINAJAS.

Hay un barro en esta tierra para hacer loza y vasijas; es muy bueno y muy pegajoso, amásanlo con aquellos pelos de los tallos de las espadañas; llámase tezóquilt y contlalli. De este barro se hacen comales, escudillas y platos, y toda manera de loza.

Hay una tierra de que hacen sal que llaman iztatlalli; conócenla los que hacen sal.

Hay una manera de tierra amarilla con que enjalbegan las paredes.

Hay una tierra que es como almagre, colorada, (y) llámamla tlachichilli; embarnizan con ella la loza de platos y jarros, etc., porque da un lustre muy bueno.

Hay una tierra muy pegajosa que es negra, mézclanla con cal para edificar.

Hay un cieno en esta tierra, en los caminos de las canoas, que se llama azóquilt, con que hacen muchas cosas, y trasponen el maíz con ello.

Hay una tierra que se llama palli, para teñir de negro; hay minas de este barro o tierra (que) es preciosa; con esto también tiñen los cabellos las mujeres para hacerlos muy negros."

A nivel mundial se han realizado trabajos que establecen una relación suelo-arqueología: Harris, (1977) **Units of Archaeological Stratification**; Fuentes, (1971) **Interpretación y análisis de suelos**; Biek, (1982) **Siluetas de suelos**; Cornwall, (1982) **El suelo, la estratificación y el medio**; Vita-Finzi, (1982) **Geología fluvial**; Schmid, (1982) **Sedimentos en cuevas en los estudios prehistóricos**; Martín, (1991) **Archaeological Sites Soils and Climate**; entre otros.

En fechas más recientes se ha generalizado una serie de técnicas utilizadas en la ciencia del suelo, como son la determinación de fosfatos, lípidos, albúminas entre otras, sin embargo estas técnicas han sido diseñadas para otras situaciones geográficas y con otras unidades de suelo diferentes a las de México. Así por ejemplo el análisis de fosfatos se usa para determinar la presencia del ser humano en alguna área en específico. Esta técnica se desarrolló en Europa donde la tradición agrícola tiene muchos milenios y el uso de abonos y fertilizantes es común; estos son fuentes de fosfato al suelo, ya

sea en su forma orgánica o inorgánica. La presencia de fosfatos permite determinar sitios arqueológicos con actividad agrícola. Sin embargo en México los sitios fueron ocupados de manera continua hasta la llegada de los españoles y aún hasta fechas recientes, por lo que esta técnica no sería determinante para localizar ocupaciones en la mayoría de los sitios, convirtiéndose en algo con poca relevancia.

III. MARCO HISTÓRICO

Poco antes de 1521 la capital mexicana estaba asentada sobre por lo menos dos centros o islotes naturales de tierra, rodeados por una serie de chinampas que se habían ido adhiriendo a lo largo de doscientos años de ocupación continua, durante los cuales la población había crecido sensiblemente gracias al bienestar producido por una serie de victorias militares, alianzas políticas y, por el hecho de hallarse situada en el corazón de una zona extremadamente rica, de alta productividad agrícola y con abundancia de recursos naturales. Todo lo anterior había redundado en el surgimiento de una metrópoli densamente poblada y con características urbanas definidas.

La historia de la ciudad prehispánica se puede dividir en dos etapas. La primera abarca desde la fundación y ascenso de Acamapichtli (1375-1395), época crítica, de cambio, de economía precaria basada en la explotación de productos lacustres, de vida difícil y recursos escasos, con una organización de corte tribal. La segunda, comenzaría con el reinado de Izcóatl en 1433 y abarca hasta la caída de México en 1521. Durante estos 88 años se lleva a cabo el verdadero apogeo del pueblo mexicano; éste experimenta una fuerte consolidación, un vigor y pujanza que dan como resultado la hegemonía de Tenochtitlan sobre un vasto territorio.

Axayácatl (1468-1481) somete a la otrora separada Tlatelolco, dando lugar al surgimiento de una unidad con mayor fuerza y solidez tanto política como económica. Tizoc (1481-1486) empieza la construcción del nuevo teocalli y Ahuizotl (1486-1502) la concluye y, ya en plan de poderío y de refinamiento reedifica y vuelve a trazar por completo la ciudad tras la severa inundación ocurrida en 1499. En esta época la especialización artesanal tanto

como el intercambio entre las diferentes provincias, parecen estar presentes definitivamente. Los chalcas por ejemplo, debían servir a los mexicanos con materiales de construcción (madera, piedra y tierra), canoas labradas, terrasgueros y peones para sus obras. Según Durán (&&) andaban en las obras gente de todas las provincias "casi como hormigas". De Texcoco, Tacuba, Coyoacán, Azcapotzalco, Chalco y Xochimilco venían especialmente canteros y albañiles; cada región aportaba determinados materiales.

La isla original sobre la que se fundó Tenochtitlan pudo haber tenido una extensión aproximada de 180 hectáreas, misma que fue creciendo poco a poco mediante la construcción de chinampas (del náhuatl *chināmitl*, seto o cerco de cañas; cercado hecho de palos o varas entretrejidas).

De hecho, hubo varios modos de construir suelo artificial, tanto para el poblamiento como para uso agrícola; uno de ellos lo describe Vargas Machuca¹ en el siglo XVI de la siguiente manera:

Dentro de esta laguna vive gran cantidad de indios de esta manera, que hacen sus estacadas y las hinchén de tierra, hasta que sube del húmedo del agua buen pedazo encima forman y hacen sus casas.

El hecho de construir suelo artificial fue uno de los resultados más espectaculares logrados por la civilización mesoamericana. Estas parcelas hechas verdaderamente "a mano", provocaron una transformación del ecosistema local de forma tan radical, que permitió un incremento demográfico de gran importancia, mismo que dió lugar posteriormente a la expansión imperialista azteca y al florecimiento general de la cultura mexicana.

Hacia 1519, aquello que originalmente había sido un pequeño archipiélago formado por cinco islas menores (Mixiuca, Tultenco, Zoquiapan, Temascatitlan e Iliac) y dos grandes (Tenochtitlan y Tlatelolco) se había

¹ Citado por Rojas R. 1984.

convertido a través de doscientos años en un solo conjunto urbano fraccionado por canales y acequias, rodeado totalmente de agua; estaba a su vez unido a tierra firme por medio de tres calzadas hechas de pilotes de madera, piedra y tierra aplanada. Hacia el Norte salía una calzada hacia el Tepeyacac, al Poniente una hacia Tlacopan y al Sur otra hacia Iztapalapa.

Tlatelolco llegaba por el lado norte hasta la actual calle de Manuel González que es la prolongación al poniente del Canal del Norte y por esta misma más o menos, con la Avenida del Trabajo. Al oriente llegaba desde la Avenida del Trabajo hasta su entronque con Héroe de Granaditas; al sur por Héroe de Granaditas y Organo, continuando el límite por una ciénega que es en la actualidad la calle de Mosqueta.

Tenochtitlan, por su parte, se extendía al sur hasta la calle de Doctor Lavista, probablemente hasta Doctor Liceaga y la calle de Lucas Alamán, que era la orilla de la isla, continuando por la calzada de Chabacano y la calle de Morelos; al Poniente por las calles de Abraham González o Versailles y una línea quebrada que iba más o menos por las calles de Arista, Violeta, Guerrero, Pedro Moreno, Zarco, Moctezuma y Lerdo, uniéndose aquí con la calle de Mosqueta que era el lindero de Tlatelolco. Se ve con esto que tanto Tenochtitlan como Tlatelolco duplicaron su superficie original mediante la construcción de chinampas usadas como tierra urbana, es decir para habitar allí y no para sembrar como sería el caso de las chinampas de la ribera del lago.

Antes de la conquista la ciudad tenía una forma alargada en dirección norte-sur, con una penetración por el lado norte paralela a la avenida Peralvillo que formaba una lagunilla en el lugar conocido hasta hoy con ese nombre.

Según Domingo García Ramos, en el momento del contacto pudo haber tenido la isla en una área de 750 hectáreas, es decir, aproximadamente cuatro veces mayor que la isla original.

Sobre las ruinas cubiertas de lo que fue la ciudad de México-Tenochtitlan se cimentaron los palacios y templos del nuevo gobierno y las recientes casas de sus conquistadores. El resultado fue una de las ciudades lacustres más originales del mundo. La ciudad colonial aparece, pues, a la luz de la investigación histórica, con los destellos de un ente novedoso y no como simple remendo de la metrópoli; como cosa peregrina digna de verse y no como cualquier otra consabida urbe occidental. (Vargas, 1975:15)

Lo más peculiar de la nueva ciudad fue su traza, obra de Alonso García Bravo, la ciudad española en el centro del islote y la población indígena en la periferia sin un orden.

Para fines del siglo XVI se contaban unos treinta y cinco edificios importantes entre ellos el Palacio Real, el Palacio de Cortés, y la vieja catedral, etc.

Los albores del siglo XVII sorprendieron a la población empeñada aún en intensa actividad constructiva para solucionar diferentes tareas edilicias, que parecían no tener fin. Como consta en las Actas de Cabildo, se seguía luchando casi sin interrupción con las cañerías; los puentes que continuamente se caían; la limpieza de las calles y acequias, el cuidado de los empedrados y la construcción de pilas públicas para el agua.

Al inventario de arquitectura religiosa se añadieron diez parroquias, cuatro para criollos y seis para indios y castas. Para 1602 se terminaba la Alameda con tres portadas de piedra, para el año siguiente se comenzó el acueducto de Santa Fe, terminado 17 años después con sus mil arcos que terminaba en la fuente de la Mariscalá y destruido el siglo pasado. Con motivo

de la segunda gran inundación, se iniciaron las importantes obras del desagüe por Enrico Martínez. Cuatro inundaciones sufrió la ciudad en el siglo XVII, pero la de 1629 duró cinco años, durante los cuales la ciudad quedó convertida en:

cadáver de piedra hundido en cristalino sepulcro. García Ramos, p.

19

Para el siglo XVIII con el auge económico, debido a la minería y el comercio, el cambio urbano fue muy notable, no tanto en lo que respecta a la extensión de la ciudad. Tenía la ciudad para su desahogo, cincuenta y siete plazas. La de Santo Domingo- una de las de formación más antigua- es quizá la única que ha llegado a nuestro siglo casi intacta; su ámbito aún puede proporcionar una sensación aproximada de la atmósfera urbana de la época virreinal.

Con más de ciento cinco mil habitantes, México tenía, doce hospitales, seis colegios para hombres, ventidos conventos para monjas, venticinco monasterios, catorce parroquias, treinta y ocho fuentes públicas, cincuenta y siete plazas públicas y por sus canales navegaban más de diez mil canoas. (García Ramos, p. 22)

La ciudad de México en el siglo XIX empieza a desparramarse sobre la cuenca, primero siguiendo las extensiones marcadas desde la época colonial, hacia el occidente, más allá de la Alameda; hacia el norte, más allá de Peralvillo. A mediados del siglo se planean los primeros barrios, Santa María la Ribera, Guerrero, Juárez y San Rafael; los Doctores y Roma. Surge entonces la costumbre de llamar a estas extensiones citadinas "colonias", que para nosotros ha llegado a ser sinónimo de barrio. Estos barrios son favorecidos por las nuevas clases pudientes.

Con la llegada del Segundo Imperio se traza el Paseo Imperial, después Paseo de la Reforma, que sería el eje del desarrollo urbano hacia el occidente.

Aparte de las ampliaciones, la ciudad también llegó a verse afectada en su interior. Se abrieron nuevas calles, no con sentido práctico, sino con uno eminentemente político: el de abatir los monumentos religiosos.

La segunda mitad del siglo es, de todas formas, el inicio de la diáspora. Como las clases sociales se fueron sustituyendo, los viejos palacios fueron paulatinamente abandonados y derivaron en vecindades o en el mejor de los casos en hoteles

IV.1.- MEDIO AMBIENTE

La Ciudad de México se localiza en lo alto de la Meseta Mexicana, entre los paralelos 20°09'12" y 19°01'18" latitud norte, y los meridianos 99°30'52" y 98°31'58" longitud oeste de Greenwich, en una depresión de forma irregular (Beltrán 1958:13).

Esta en una cuenca endorreica que recibe agua de las cadenas que la delimitan, la Sierra Nevada por el oriente en donde se destacan el Popocatepetl *montaña que humea* de 5438 metros sobre el nivel del mar (msnm) y el Iztaccihuatl *mujer blanca* de 5286 msnm; hacia el sur con la Sierra del Ajusco o Chichinahuzin, donde se localiza el Xitle cuya erupción formó lo que conocemos como el Pedregal de San Angel. Por el poniente la Sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, y finalmente por el norte las sierras de Tezontlapan y Tolcayuca.

Diversas corrientes se originan de las sierras circundantes, entre ellas están: el río de Cuautitlan, que se origina en la Sierra de las Cruces y cuyo desagüe natural lo constituía el Lago de Zumpango, también al norte el río de las Avenidas de Pachuca, por el sur el río de la Magdalena, de Tenango y Tlalmanalco.

Falto de salida natural que condujera el agua fuera del anfiteatro montañoso, lo que se acumulaba durante la temporada de lluvias sufría merma en la de secas por tres causas principales: una parte se evaporaba por acción de los rayos solares, otra era transpirada por la vegetación que cubría la zona, y el resto se infiltraba en la tierra.

Con el correr del tiempo, el subsuelo cubierto por los lagos se saturó de agua originándose el material que hoy designamos con el nombre de "jaboncillo", formado por limos sedimentarios y cenizas volcánicas empapadas de agua. Una especie de esponja, cuyo volumen retiene el líquido y permite un

En la parte no cubierta por los lagos se desarrollaba vegetación primordialmente esteparia de chaparral y pastizales. Los nopales (*Opuntia*), órganos y candelabros; los magueyes (*Agave*), las yucas de diversas especies, en las partes secas. Cerca del nivel del agua se desarrollaron ahuehuetes, sauces, juncos, carrizos y en el agua lirios acuáticos.

Conforme se asciende predominaban los encinos, pinos, ocote, oyameles y por encima de los 4000 msnm, los juníperos llamados vulgarmente cedros o sabinos.

IV.2 CLIMA

Para la descripción del clima en la ciudad de México tomamos como parte principal el trabajo efectuado por Jáuregui (sin fecha).

Por la latitud en que se encuentra la Ciudad de México ($19^{\circ}30'$), su clima es esencialmente tropical, aunque el calor característico de los trópicos está atemperado por la elevada altitud de la Cuenca de México. El área en donde se localiza al Sur de la Altiplanicie Mexicana, se encuentra al Oeste del anticiclón del Atlántico Norte (Bermuda-Azores) cuyos desplazamientos estacionales determinan en gran medida el clima de la ciudad y, en general, de casi todo el país.

Durante la época de lluvias, de mediados de mayo a mediados de octubre, sobre la región prevalece, en general, una circulación anticiclónica: en el invierno la corriente de chorro, del Oeste, a 200 mb, se desplaza hacia el sur, pasando algo al Norte de la Ciudad de México, por lo que en la troposfera alta, los vientos, sobre la ciudad, soplan del Oeste o SW con fuerte intensidad. Es en esta época cuando descienden de Norteamérica las masas de aire polar que en ocasiones dan origen a fuertes descensos de temperatura en la Cuenca de México.

En plena época invernal el eje del área de alta presión localizada sobre los Estados Unidos se desplaza hacia el Sur lo que resulta en una intensificación del flujo del Oeste sobre México. La subsidencia del aire, asociada a la circulación anticiclónica, origina en la Ciudad de México gran frecuencia de cielos despejados y de inversiones de temperatura, superficiales y en la altura. Las perturbaciones que en forma de vaguadas viajan en el seno de la corriente de vientos del Oeste ocasionan variaciones en la presión, y el cambio correspondiente en la dirección del viento sobre la Cuenca de México.

La intensificación del viento al paso de estas vaguadas origina la formación de tolvaneras, principalmente en la región vecina del antiguo Lago de Texcoco. En la segunda mitad de la estación, seca el paso de las mismas vaguadas en la corriente de vientos del Oeste produce las llamadas "tormentas secas; cuando la corriente retrocede un poco hacia el Norte del país, al mismo tiempo que penetra en los niveles inferiores, aire relativamente húmedo de la corriente de los alisios. El calentamiento convectivo originado por la fuerte insolación produce entonces, en la caldeada planicie de la cuenca, aisladas nubes de desarrollo vertical que alcanzan su mayor altura por la tarde. Una vez que los cúmulonimbos llegan a su etapa de madurez, las corrientes descendentes de aire frío, originadas por la caída de las gotas de lluvia, chocan contra el suelo seco de la planicie estableciéndose un microfrente frío. Como la base de estas nubes es relativamente alta (unos 3000 m), debido a la escasa humedad, gran parte de las gotas de lluvia se evaporan antes de llegar al suelo y la precipitación no alcanza a mojar el suelo de la planicie al Este y Norte de la capital, pero el impacto de la corriente de aire frío contra el terreno levanta enormes cortinas de polvo que avanza luego sobre la ciudad.

En plena época invernal, el paso de una vaguada elevada de la corriente de los vientos del Oeste, da lugar a las mayores fluctuaciones de temperatura que se observan en la Ciudad de México. La llegada de uno de estos frentes origina una discontinuidad bien marcada de la temperatura, debido a la advección de aire frío.

Según un estudio sobre el clima invernal de México, realizado por Hill (1969), que comprende 5 años de registro, el 75 % de las ondas frías tuvo una duración de sólo 12 hrs y durante este tiempo se registró el 96 % de los descensos de temperatura asociados al frente frío. Esta disminución de la

temperatura al paso de un frente frío fue, de 3°C, por promedio, para la Ciudad de México.

De las invasiones de aire polar que en la estación fría tienen lugar en la planicie costera del Golfo, sólo una parte (un 20 % según el estudio de Hill) son suficientemente profundas para afectar la cuenca de México; este tipo de tiempo invernal, descrito por López (1921) y Domínguez (1940), está asociado, a veces, con una lluvia fina proveniente de nubes estratiformes, que pueden persistir por varios días; pero lo más frecuente es que las masas de aire polar continental que penetran a la Cuenca de México sean bastante secas, produciendo tiempo frío y ventoso en la capital, con escasas nubes.

A partir del mes de abril la circulación de invierno comienza a cambiar. Como resultado del calentamiento del continente norteamericano se debilita el gradiente de presión meridional en los niveles medios de la troposfera, por lo que los vientos del Oeste pierden intensidad sobre la Cuenca de México. Simultáneamente se observa, a fines de la época de secas, un desplazamiento hacia el Norte, del anticiclón semi-permanente del Atlántico Norte. En estas condiciones comienza a disminuir la influencia del flujo anticiclónico, y la corriente de los alisios, a manifestarse.

Durante la estación de lluvia en la Ciudad de México prevalecen condiciones que contrastan con las de la época de secas. Al desplazarse hacia el Norte y al Oeste la celda anticiclónica Bermuda-Azores, los vientos invernales del Oeste son remplazados por los vientos húmedos de los alisios, que se profundizan en la región hasta la alta troposfera; entonces prevalecen, en México, los movimientos ascendentes y convergentes hasta los 300 mb, compensados por flujo divergente en los niveles altos de la tropósfera (Hastenrath, 1967). Es en este tiempo, cuando la Zona Intertropical de Convergencia (ZIC) del Pacífico Oriental, que se localiza hacia el Norte en los

meses de mayo y junio, retrocede al Sur en julio y agosto, para volver hacia el Norte en septiembre y parte de octubre. Esta marcha estacional de la ZIC rige en cierta medida las variaciones que en esta estación húmeda se observan en la precipitación registrada en la Ciudad de México. Simultáneamente con el desplazamiento de la ZIC hacia el Sur, en los meses de julio y agosto, en la región se observa una tendencia del aire a subsidir, lo que resulta generalmente en una disminución de la lluvia en esos meses; es la llamada canícula, observada en Centroamérica, o sequía intraestival (Mosiño y García, 1968) características de una gran parte de México. En la Ciudad de México los años con un mínimo secundario de lluvia en agosto tuvieron una frecuencia de una vez cada 4.5 años, como se consigna en un trabajo anterior (Jáuregui, 1959), pero la frecuencia relativa subió a una cada 1.9 años, al considerar todos los años con un mínimo intermedio en el periodo de lluvia.

EL MESOCLIMA

I.- Zonificación por la precipitación

Según el sistema de W. Koeppen (1936) el clima de gran parte de la Ciudad de México es templado sub-húmedo (Cw), sin embargo, debido al crecimiento de las lluvias hacia el centro de la cuenca, el clima en los suburbios del Este de la capital (al Norte de Iztapalapa) tiene ya, características semiáridas; es decir, entra en la categoría de clima seco BS, según la mencionada clasificación que se basa tanto en la precipitación como en la temperatura. Esta área seca del Oriente de la Ciudad recibe un promedio menor de 600 mm anuales, que es el límite entre los climas Cw y BS cuando la temperatura media anual es de 16°C. En realidad, el límite entre los dos climas es, más bien, una franja de transición en la que en años lluviosos el borde Este de la Ciudad adquiere características de clima templado sub-húmedo, Cw,

mientras en años de lluvias escasas prevalecen los rasgos del clima seco BS, el menos seco de los BS según la clasificación de García (1970). El área urbana de la Capital participaría de tres climas en cuanto a la humedad ambiente.

a) Zona Poniente-Sur

La zona de lomeríos del borde Poniente y Sur de la ciudad se caracteriza por precipitación abundante en la estación lluviosa; de 700 a 1100 mm. en esta zona quedan comprendidas: Tlalnepantla, Azcapotzalco, Naucalpan, Satélite, Chapultepec, Tacubaya, Mixcoac, Villa Obregón, San Jerónimo, Coyoacán, Tlalpan y Xochimilco.

b) Zona Norte-centro

Es una zona de transición entre la seca del Oriente y la húmeda del Poniente y Sur. Ahí la precipitación media anual varía de 600 a 700 mm. comprende los sectores del Politécnico, Lindavista, Vallejo, y el área central de la Ciudad, entre Nonoalco y la avenida Río Churubusco.

c) Zona Nororiente

Se caracteriza por precipitaciones menos abundantes que las otras dos zonas. Aquí la lluvia anual fluctúa entre 400 y 600 mm, es decir, sólo menos de la mitad de la lluvia que recibe la zona del Sur y Poniente. Al mismo tiempo, las cantidades anuales de lluvia en esta zona tienen una variabilidad mayor debido a su menor cuantía. Esto significa que, en algunos años las precipitaciones en esta zona serán muy por arriba del valor medio, mientras que en otras se caracterizarán por cantidades muy por abajo de la normal. Dentro de esta zona quedan comprendidas la zona industrial de Santa Clara,

Villa de Guadalupe, San Juan de Aragón, Peralvillo, el área entre el Zócalo y el borde Norte de Ixtapalapa, así como ciudad Netzahualcóyotl.

II. Zonificación por temperatura.

Dentro del área urbana se registran variaciones de temperatura inducidas por:

a) La mayor capacidad térmica de los materiales de la ciudad (piedra, concreto, tabique, pavimento, etc.); b) la nube de impurezas que emite la capital (ver Jáuregui, 1971); c) las fuentes de calor del área urbana (vehículos y fábricas).

La mayor área de captación de la radiación solar de las construcciones urbanas respecto a las superficies rurales circundantes resulta en mayor temperatura del centro de la ciudad respecto a los suburbios. Al mismo tiempo, casi toda la energía solar absorbida por la superficie urbana se emplea en el alza de su temperatura, mientras que en las áreas rurales una parte considerable se utiliza en la evaporación que tiene lugar en la cubierta vegetal. La emisión de calor debida a los vehículos y a la actividad fabril incrementa los contrastes térmicos ciudad/campo. Finalmente, la capa de humo que se cieme sobre la ciudad elevando las temperaturas mínimas y, en menor medida, durante el día reduce las temperaturas máximas al dispersar o absorber parte de la radiación solar incidente. En resumen, el efecto de la ciudad es, por una parte, una elevación térmica (el llamado efecto de isla de calor) y, por otra, una reducción de la amplitud térmica debido, principalmente, a una elevación de las temperaturas mínimas y ha sido tan marcada en el centro de la ciudad que en ella ya no se registran heladas, es decir,

temperaturas inferiores a cero grados, en tanto que en la periferia rural tienen una frecuencia de 40 a 60 días al año.

V.- MARCO TEORICO

V.1.- CONCEPTOS EDAFICOS

Los conceptos del suelo y sus propiedades son útiles en la investigación arqueológica. Así pues, es importante definirlos para que su interpretación sea más fácil de entender por personas no especialistas en suelo y plantear posteriormente su aplicación en la arqueología. Gran parte de estos conceptos se encuentran en los anexos de esta tesis.

SUELO

El suelo es un complejo biogeoquímico de materiales. Tiene estructura y propiedades que lo distinguen del material del que se origina. Tiene un sistema ecológico dinámico que provee a las plantas de soporte, agua, nutrimento y oxígeno y sostiene una gran población de microorganismos que reciclan la materia orgánica.

El suelo tiene dos tipos de componentes sólidos: minerales derivados del intemperismo de las rocas y otro orgánico que proviene de los restos de seres vivos. Las rocas, al igual que la cerámica contenida en el suelo, sufren cambios al estar expuestas al agua, aire y organismos, estos cambios se conocen como intemperismo y se refieren a la disgregación de partículas minerales de la roca, o cerámica, y sus alteraciones o destrucción y resíntesis de nuevos minerales.

En él viven una gran variedad de organismos: plantas, hongos, actinomicetos, bacterias, algas, micro y macroanimales. Las plantas, bacterias y hongos son especialmente importantes en los procesos edáficos incluyendo la formación del suelo y probablemente la alteración de la cerámica. Las

plantas superiores fotosintéticas, fabrican compuestos orgánicos; las bacterias y hongos son los destructores y descomponedores de la materia orgánica; formando moléculas complejas que son más resistentes a la descomposición. Este coloide orgánico, el humus, es responsable del color pardo y negro en el suelo.

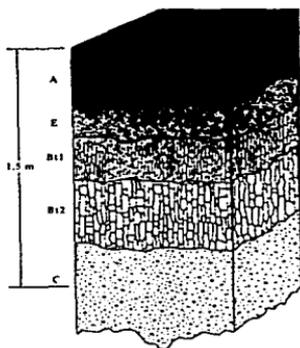


Figura 4. Perfil de un suelo típico con diferentes horizontes. (Singer, 1992:8)

Muchos suelos, al igual que la cerámica, consisten de partículas minerales de diferente tamaño: partículas grandes llamadas arenas y otras aún más pequeñas llamadas limos y submicroscópicas: las arcillas.

Las partículas minerales y la fracción orgánica constituyen el esqueleto del suelo. Los vacíos entre ellos son los poros que controlan la circulación del aire, la infiltración del agua y el drenaje del suelo.

El suelo esta constituido por tres fases: sólido, líquido y gas, que interactúan; la fase gaseosa es el canal para el movimiento (difusión) del oxígeno y otros gases, es la conexión del suelo con la atmósfera terrestre. La fase líquida del suelo o la solución del suelo, es el solvente en el que ocurren muchas reacciones y se disuelven nutrimentos para las plantas y microorganismos (Singer 1992: 5)

El suelo puede inmovilizar nutrimentos y posteriormente puede ponerlos en solución mediante la desorción. Otras reacciones son el intercambio de gases entre el aire del suelo y la solución del suelo y la disolución de los minerales del suelo y con frecuencia la cerámica.

El suelo es un ecosistema, las raíces remueven el suelo, modificando el movimiento del agua; los microorganismos con las reacciones que utilizan para obtener nutrimentos participan en gran manera no solo en la mineralización de la materia orgánica sino también en la fracción mineral.

No hay una propiedad que claramente distinga todos los suelos de todas las rocas. El suelo es natural, tridimensional, verticalmente diferenciable, pero las rocas tienen esta mismas propiedades, sin embargo, el suelo es más suave, menos denso, y menos consolidado. Algunas rocas suaves y suelos duros son excepcionales. Lo que realmente diferencia al suelo de la roca son los procesos y factores que se producen en el suelo. (Singer 1992: 8)

Las plantas utilizan al suelo como soporte, sus raíces penetran en él, tanto de manera horizontal como vertical. La composición o naturaleza de la fábrica del suelo, particularmente la densidad (mayor de 1.3 gr/cm³) dificulta el crecimiento de las raíces, pues con una alta densidad, la porosidad es muy

baja lo que dificulta la penetración de las raíces y demás nutrientes para desarrollarse, entre ellos el Carbono, Oxígeno e Hidrógeno, que forman parte del aire y agua, pero la mayoría de los nutrientes provienen de la fase sólida del suelo.

La arcilla:

En este tema se da prioridad a las características de las arcillas dado que estas constituyen el material primordial de la cerámica, que a su vez se maneja como un elemento de primer orden en la investigación arqueológica.

Además de constituir el principal factor mineralógico en la dinámica de cualquier unidad de suelo, por lo que es importante conocer sus características, distribución y clasificación.

La mayoría de las arcillas son aluminosilicatos, los principales elementos en su estructura son: el oxígeno, silicio y aluminio. Los átomos de silicio están en la capa tetraédrica y los del aluminio en la octaédrica.

El aluminio es el tercer elemento más abundante en la Tierra (8.13%) después del oxígeno y del silicio.

Así, los tetraedros del sílice y los octaedros del aluminio son las partes básicas para la formación de arcillas.

Las arcillas aluminosilicatadas se dividen en grupos que se basan en el número de láminas de sílice tetraédrico y aluminio octahédrico en sus capas. Por ejemplo:

Kanditas Las kanditas son un grupo o una familia de arcillas que incluye a la nacrita, dickita, haloisita y a la caolinita. Cuando las arcillas poseen en su estructura hierro y magnesio u otros cationes que estén sustituyendo al aluminio en la capa octahédrica, se forma un nuevo mineral que

estructuralmente parece caolinita. El aluminio puede ser sustituido por silicio y el hierro y magnesio que lo sustituyen por su radio atómico similar (Singer 1992: 48).

La caolinita es uno de los miembros más conocidos de esta familia. Esta arcilla está constituida por una capa de aluminio y una de sílice, con oxígenos e hidróxilos, estos últimos son necesarios para el balance de la estructura. La fórmula $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ representa la celda unitaria que constituye la caolinita, que se puede repetir millones de veces de manera ordenada horizontal o verticalmente. Una capa simple de caolinita es de solamente 0,71 nm de espesor, pero, puede tener muchos nanómetros de longitud. Los hidrógenos no permiten que el agua y los cationes entren en los espacios de la intercapa.

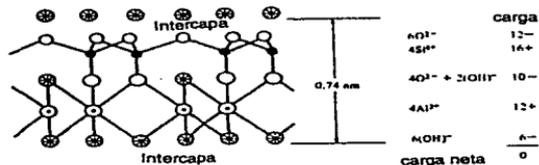


Figura 5 Estructura de la caolinita. $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ (Singer, 1992, 46)

La sustitución de un elemento por otro en la estructura de una arcilla tiene severas consecuencias (Singer, 1992; 50):

- 1.- Crea una gama de tipos de arcillas.
- 2.- Esta sustitución genera una carga en las arcillas.

La sustitución isomórfica resulta en una carga neta negativa que se balancea con cationes accesorios que pueden ser remplazados fácilmente por otros cationes, proceso conocido con intercambio cationico.

Esmectitas Las esmectitas son arcillas 2 : 1, constituidas de una capa octaédrica de aluminio entre dos tetraédricas de silicio. La montmorillonita es el miembro más importante de este grupo, otras arcillas pertenecientes a este grupo son la nontronita, saponita, hectorita y saucanita (Singer 1992:49).

La estructura y el número de sustituciones isomórficas de esta familia son responsables del gran número de miembros en este grupo.

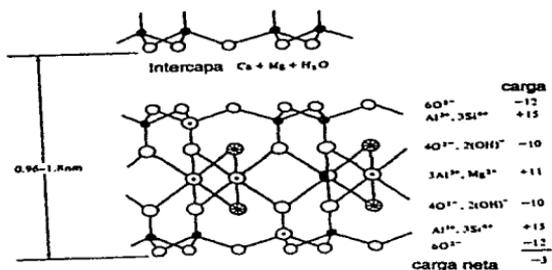


Figura 6. Esmectita. $(Al_3Mg)Si_6O_{20}(OH)_4$. (Montmorillonita) (Singer, 1992: 49)

Comparadas con las kanditas, las esmectitas tienen el doble o más de átomos de silicio por lámina unitaria, lo doble o más de oxígenos y el mismo número de hidróxilos. Como la haloisita las esmectitas tienen moléculas de agua en la intercapa, pero, en las esmectitas el número de moléculas puede variar. Su tamaño también varía de 0.96 nm a 1.8 nm o más. Tienen un rango de composición química grande debido a la gran sustitución isomórfica. El aluminio puede sustituir al silicio en la capa tetraédrica y el Fe^{2+} , Fe^{3+} o Mg^{2+} pueden sustituir al aluminio en la capa octaédrica.

En estas arcillas su volumen puede variar, se contraen o se expanden según sea la cantidad de agua. Su carga es -3 debido a la sustitución de Al^{3+} en vez de Si^{4+} en la capa tetraédrica y la sustitución de Al^{3+} por Mg^{2+} en la capa octaédrica por lo que resulta una carga neta negativa (-3) por capa. Estas cargas son neutralizadas por los cationes que entran en la intercapa.

Vermiculitas. Las vermiculitas al igual que las esmectitas, son un mineral del grupo 2:1. La sustitución de Si^{4+} por Al^{3+} en la capa tetraédrica y del Fe^{3+} por Fe^{2+} y de Al^{3+} por Mg^{2+} en la capa octaédrica de manera extensiva. El espacio en la intercapa está ocupado por magnesio y moléculas de agua y mide de 1.0 a 1.5 nm o más. Sin embargo, la mayoría de las sustituciones ocurren en la capa tetraédrica. Las moléculas de agua y los diferentes cationes en la intercapa son más limitados que en las esmectitas. La expansión es menor que en las esmectitas, pues las capas están más estrechamente unidas (Singer 1992: 49).

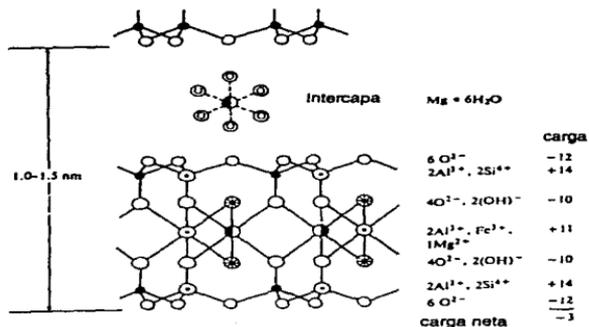


Figura 7. Vermiculita. $Mg (Al, Fe, Mg)_4 (Al_2 Si_6) O_{20} (OH)_4 \cdot nH_2 O$ (Singer, 1992;

49)

Cloritas. Son un mineral del grupo 2:1:1, no expandible. En donde una capa de hidróxido de magnesio ($Mg_6 (OH)_{12}$, brucita), ocupa el espacio intercapa entre las capas 2 : 1, la estructura 2 : 1 de silicio y aluminio es similar a la estructura 2 : 1 en las esmectitas y vermiculitas, la mayor diferencia es la existencia de la capa de brucita. El Mg^{2+} puede ser sustituido por Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} en la capa de brucita lo que le confiere una carga positiva, que le permite formar uniones fuertes entre las dos capas. La clorita tiene 1.4 nm de espesor (Singer 1992:38).

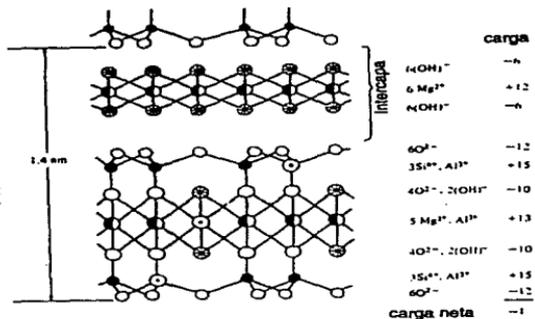


Figura 8. Clorita. $Mg_6(OH)_{12} \cdot (Al, Mg)_3(Al_2Si_6)O_{20}(OH)_4$. (Singer, 1992; 50)

Illita. Es otra variedad de arcilla 2:1, referida como mica hidratada, proviene del intemperismo de la mica. El nombre está en discusión, pero, es una arcilla con potasio en la intercapa, este potasio contribuye a la estabilidad y a la no expansión de la illita (Singer 1992: 39).

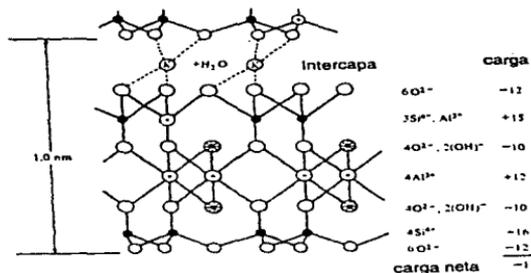


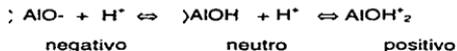
Figura 9. Illita, es igual a la clorita, vermiculita y esmectita, pero, con potasio en la intercapa. (Singer, 1992; 50)

Arcillas no silicatadas. Algunos suelos contienen abundantes minerales arcillosos que no contienen silicio como parte constituyente, sino sesquióxidos. Ellos pueden ser minerales cristalinos, ó amorfos poco cristalinos. Los tipos cristalinos tiene algunas propiedades en común con las arcillas silicatadas. Las variedades amorfas tienen alta capacidad de intercambio aniónico.

Los óxidos e hidróxidos de hierro cristalino (Fe₂O₃, hematita; FeOOH, goethita, ferrihidrita) y de aluminio (Al(OH)₃, gibbsite y AlOOH, bohemita) son comunes en suelos minerales. Los minerales de hierro como se mencionó anteriormente dan color al suelo pero, también forman celdas unitarias de la capa octaédrica con O²⁻ u OH⁻ coordinados al Fe³⁺ o Al³⁺. Los óxidos

contribuyen a la estabilidad de la estructura del suelo pero, sobre todo a su evolución.

Los óxidos e hidróxidos de red cristalina o amorfos no obtienen carga por sustitución isomórfica como los aluminosilicatos. Ellos obtienen su carga por medio de protonación y desprotonación. Los iones hidrógeno se adhieren a la estructura (protonación) o se separan de ella (desprotonación) dependiendo de la concentración de H^+ en la solución del suelo. Estos minerales tienen carga variable o una carga dependiente del pH, en donde el intercambio catiónico depende de la concentración de H^+ . (Singer, 1992; 39)



Origen de las cargas

A continuación se mencionan las causas de las cargas: (Singer, 1992; 39)

- 1.- Carga residual localizada al final de los cristales.
- 2.- Carga interna causada por sustitución isomórfica de un catión por otro en la estructura de una arcilla (también llamada fijación, permanente o capacidad de cambio).
- 3.- Carga variable debido a la protonación y desprotonación (carga dependiente del pH).

Las capas de aluminosilicatos tienen una pequeña proporción de carga variable debido a uniones de OH. Toda la carga negativa en el humus es variable. Los óxidos y el humus están positivamente cargados en algunos suelos y retienen aniones.

Dos propiedades de las arcillas les dan su importancia en el suelo: su carga y superficie específica.

En la superficie específica de la arcilla y de la materia orgánica ocurren la mayoría de las reacciones que suceden en el suelo. Esta superficie específica por unidad de peso se incrementa enormemente conforme el tamaño de la partícula disminuye.

Minerales no arcillosos. La estructura más simple de un mineral silicatado es un solo tetraedro y su cation accesorio. El olivino $(Mg, Fe) SiO_4$, es un mineral con esta estructura y puede variar de Fe_2SiO_4 puro a Mg_2SiO_4 puro, además de ser el mineral silicatado más fácilmente intemperizable. Por el contrario el zircón $(ZrSiO_4)$, es totalmente opuesto; tiene la misma estructura que el olivino, pero, su composición es diferente, lo hace uno de los minerales más resistentes al intemperismo químico.

Cuando el tetraedro de sílice en forma de cadena simple tiene átomos de oxígeno en los dos extremos, se forma una gran familia de minerales: los piroxenos, como la augita, con fórmula $Ca(Mg, Fe) Si_2O_6$. El Si_2O_6 es la unidad básica de la cadena, y el calcio, magnesio y fierro son cationes complementarios y hacen al mineral eléctricamente neutro.

Los minerales conocidos como anfíboles están formados por la unión de dos cadenas simples de silicio tetraédrico en una doble cadena. Los anfíboles son comunes en el suelo y contienen muchos de los nutrimentos esenciales.

Los minerales silicatados más complejos tienen una estructura tridimensional. El cuarzo y los feldspatos son los ejemplos más importantes de los minerales con estructura continua de silicato. El cuarzo es silicio y oxígeno, todas las uniones son Si-O y no necesita cationes complementarios para neutralizar la carga, sin embargo es duro y resistente. Mucha de la arena en el

mundo es cuarzo, al igual que muchos suelos lo contienen en cantidades considerables y son por ello importantes en la construcción.

La estructura básica del grupo de los feldespatos es tridimensional, de cuarzo, sin embargo, tienen unidos al silicio nutrientes como parte de su estructura. Los dos grupos más comunes de los feldespatos son: la ortoclasa y la plagioclasa. El sílice es muy poco impenetrable, no así el potasio, sodio, y calcio que necesitan balancear su carga, por lo que son una buena reserva de nutrientes para la planta.

Las sales más comunes en un suelo mineral son el sodio, calcio y magnesio. En zonas donde la evaporación es mayor que la precipitación se forman sales como: NaCl , Na_2SO_4 , CaSO_4 (yeso), CaCO_3 (calcita) o MgCO_3 , lo que puede afectar a las plantas. La calcita y el yeso son muy solubles en agua.

LA CERÁMICA

La arcilla es un actor importante en el proceso de intercambio catiónico. Con la elevación de la temperatura durante la cocción sufre transformaciones, a 900°C se desnaturaliza, pero a temperaturas menores se forman amorfos y es posible que todavía participe en el intercambio catiónico. La cerámica prehispánica no siempre fue cocida a temperaturas elevadas, generalmente de 600 a 700°C o menos por lo que puede estar como un participante activo dentro de la capacidad de cambio del suelo. Si a esto se le agrega la actividad que tienen los diferentes minerales usados como pigmentos en la decoración de la cerámica, se incrementa la capacidad de intercambio dependiendo de las condiciones de óxido-reducción existentes en el medio. Así pues la hematita (Fe_2O_3) se puede reducir pasando a formar Goethita, ($\text{FeO}(\text{OH})$) cambiando de color, pasando del rojo a naranja. Así ocurre también

con la calcita usada para elaborar la pigmentación blanca y el óxido de manganeso que da el color negro y que puede ser reducido por los microorganismos del suelo.

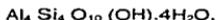
La atención a la cerámica se debe a que ejemplifica los procesos biosicoquímicos que ocurren en el suelo, por lo que es importante saber cual es el comportamiento de la arcilla utilizada en la fabricación cerámica.

Los constituyentes que integran a la cerámica son según Anton (1973:2):

- 1.- Arcillas (caolinita, montmorillonita, illita, cloritas, etc.)
- 2.- Silicio en forma de cuarzo, combinado con silicatos, o en estado libre.
- 3.- Metales en forma de óxido, ya sea de hierro, manganeso, titanio, etc.
- 4.- Sales de calcio y feldespatos, etc.

Conforme se calienta la arcilla, pierde agua de diferente origen, dependiendo del intervalo térmico que alcanza. Así, al alcanzar de 105 a 110°C el agua higroscópica que se retiene en las partículas arcillosas por adherencia, se pierde, sin que se modifique la red cristalina.

Formula ideal de una arcilla hidratada:



1).- El agua de constitución.

Viene indicada en la fórmula. Se forma por la pérdida de los hidróxilos de arcilla, cuando se calienta por encima de cierta temperatura, variable para cada tipo. La estructura se modifica considerablemente y la arcilla se vuelve amorfa. Este proceso es claramente endotérmico, la temperatura a la que se produce, contribuye a la caracterización de los diversos tipos de arcilla.

2).- El agua zeolítica.

No existe más que en cierta clase de arcilla y ocupa huecos simétricos que quedan entre los átomos. Solo se pierde a temperaturas superiores a los 120°C con ligera modificación del retículo cristalino. Se indica en la fórmula con nH_2O .

Al calentar una arcilla caolinítica a 110°C, se pierde el agua higroscópica, lo que provoca una contracción. Al seguir calentando y en virtud de una reacción endotérmica sufre una dilatación regular hasta una temperatura entre 450 y 600°C, correspondiente a la pérdida del agua de constitución de la caolinita, y una contracción rápida.

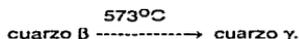
A partir de 600°C, hay una inflexión y la contracción es menos rápida; a esa temperatura, tenemos la descomposición de sulfatos. Se admite que hay primero una disociación de la caolinita, en SiO_2 (sílice) y Al_2O_3 (Corindón), con formación inmediata de un silicato anhidro o metacaolín $2SiO_2 \cdot Al_2O_3$ amorfo.

La sílice libre, que junto con la arcilla es la materia prima más importante de las pastas cerámicas, se presenta casi siempre en forma de cuarzo; además, existen sus formas cristalinas de tridimita y cristobalita.

Las tres formas cristalinas y sus estados polimórficos, se forman a diferentes intervalos de temperaturas.

Junto a las formas cristalinas y sus estados polimórficos, deben citarse la sílice amorfa y vítrea.

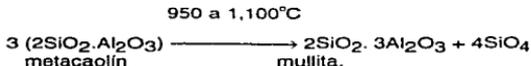
El cuarzo sólo es soluble hasta 870°C, y en este rango de temperatura, experimenta la siguiente transformación:



La tridimita, cristobalita y sílice vítrea son inestables por encima de 870°C.

Si se calienta el cuarzo por encima de esa temperatura, no pasa directamente a tridimita, sino que primero se forma un vidrio síliceo amorfo.

Cerca de los 800°C, el metacaolín antes mencionado, experimenta una contracción importante, con un punto de inflexión a 930°C, y entre 950°C y 1,000°C una débil contracción, con una reacción exotérmica brutal y de corta duración que para muchos supone la formación de mullita, y para otros la de alúmina γ , que reacciona en seguida para formar mullita:



El sílice liberado, queda en forma amorfa, pero la mayor parte formará con las impurezas (fundentes) un vidrio complejo que englobará a la mullita.

Los feldespatos se emplean como fundentes en los procesos cerámicos:

Feldespato potásico $\text{K}_2\text{OAl}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ (ortoclasa)
 Feldespato potásico férrico..... $\text{K}(\text{AlFe})\text{Si}_3\text{O}_8$ (ortoclasa férrica)
 Feldespato sódico $\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ (albita)
 Feldespato cálcico..... $\text{CaAl}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (anortita)
 (García, H. 1992; 234)

Los cuatro ejemplos presentan varios estados polimórficos y pueden formar cristales mixtos, por lo que su comportamiento frente al calor es intermedio respecto a los cristales puros.

Estos feldespatos generalmente inician su descomposición a 1160°C y la terminan a 1290°C.

En cuanto a los minerales micáceos, como la illita, pierden agua en el intervalo 200-600°C, manteniendo su carácter micáceo hasta su total destrucción a 850°C, con formación de una espinela, en virtud de su contenido en magnesio ($MgAl_2O_4$).

En resumen, es posible decir que los cambios que se producen en una arcilla cuando se calienta, se deben a:

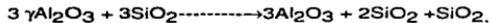
1. Reacciones de descomposición a temperaturas relativamente bajas: por una parte, se produce el desmoronamiento de los minerales de la arcilla por pérdida de sus grupos OH ; por otra, reacciones entre los componentes básicos, sílice y alúmina de la arcilla. Asimismo, inician su descomposición los carbonatos.

Además ocurren los procesos denominados de oxidación de la pasta, que hacen referencia a la combustión de los compuestos orgánicos que se carbonizan, dando otros volátiles y un residuo carbonoso difícil de quemar.

2. Cristalización primaria, en virtud de reacciones en estado sólido; es el período que comienza a partir de los 900°C. En general, tienen lugar reacciones de recombinación, fusión parcial y recristalización. Si la temperatura es suficientemente alta y prolongada, se produce algo de vidrio, mullita primaria y alúmina (γ), así como sílice amorfo, que se puede representar en la siguiente reacción:



3. Este último período, que ocurre entre 1200-1500°C de formación de líquido. El líquido al enfriarse origina vidrios y productos de cristalización secundaria, expresado en la reacción:



Estos son algunos de los procesos que ocurren durante la cocción de la arcilla los cuales permiten el intercambio entre la pieza cerámica y su entorno suelo.

VI.-METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo en varias etapas, las cuales se resumen a continuación:

Etapa I. Compilación de material documental y cartográfico básico, consistente en la revisión, análisis y selección de artículos, libros y trabajos cartográficos, así como búsquedas en RedUNAM e internet.

Etapa II. Conocimiento preliminar del área de estudio. Esto consiste en conocer físicamente los posibles sitios de interés arqueológico para determinar el muestreo de los suelos, capas del sustrato y cerámica.

Etapa III. Muestreo de suelos y cerámica en el área de estudio. El muestreo consistió en tomar ejemplos del suelo y capas del sustrato cada 10 cm de profundidad.

El muestreo de cerámica consistió en que los fragmentos obtenidos fueran representativos de las capas, es decir, se tomó la cerámica del sitio mismo de la toma de suelo a analizar, tomándose la cerámica decorada por ser la más utilizada por los arqueólogos.

Como es lógico imaginar, con el quehacer arqueológico y especialmente con la problemática que representa el trabajar en la Ciudad de México (en donde se incluyen problemas logísticos y de carácter administrativo), no fue ni es posible utilizar un diseño estadístico para el muestreo por la sencilla razón de que no es posible elegir el área a excavar. Se tomaron muestras de los sitios de interés arqueológico y que al mismo tiempo representaran los procesos edáficos que se dan en la ciudad.

Se tomaron las muestras durante los meses de mayo y junio de 1995. Al momento de la recolección se realizaron observaciones tales como textura al tacto y la presencia de material arqueológico en las capas descritas.

Etapa IV. Preparación de las muestras de suelo para su análisis y clasificación de los fragmentos de cerámica obtenidos.

En esta etapa se prepararon para su análisis un total de 82 muestras que fueron molidas, tamizadas y secadas al aire.

Etapa V. La clasificación de la cerámica se hizo con base a la tipología establecida por Vega y Reyes (1979).

Etapa VI. Análisis de laboratorio. Durante esta etapa a las muestras de suelo y capas del subsuelo se les determinaron sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas, en tanto que a las muestras de cerámica les fueron determinadas sus propiedades petrográficas, mineralógicas, químicas y paleomagnéticas. Las técnicas empleadas son las siguientes:

Análisis físicos:

- 1.- Color en seco y húmedo, comparándolo con las cartas de color Munsell (1992).
- 2.- Densidad aparente, por el método de probeta (Baver, 1958).
- 3.- Densidad real, por el método del picnómetro (Baver, 1956).
- 4.- Porcentaje de porosidad por relación de cociente de densidad aparente y densidad real.
- 5.- Textura, por el método del Hidrómetro de Bouyoucos (1961).

Análisis químicos:

- 1.- pH, por el método del potenciómetro, en relación (1:1.5 y 1:2.5) suelo-agua destilada y suelo-solución salina de KCl 1 N pH 7, con potenciómetro Corning, modelo 7.

2.- Materia orgánica, por el método de Walkley y Black (Jackson, 1982).

3.- Calcio y Magnesio intercambiables, por el método de extracción con acetato de amonio 1 N pH 7 y valoración con versenato (EDTA 0.02 N), (Jackson, 1982).

4.- Sodio y Potasio intercambiables, por el método de extracción con acetato de amonio 1 N pH 7 y determinación por fotómetro de llama Corning 400 (Jackson, 1982).

5.- C.I.C.T. saturado con cloruro de calcio 1 N, pH 7, lavado con etanol al 96% y eluyendo con cloruro de sodio 1 N pH 7. Valoración con Versenato (EDTA 0.02 N) y negro de ericromo T (Jackson, 1982).

6.- Análisis de Rayos X en fracción fina de suelo.

7.-Carbonatos

8.-Bicarbonatos

9.-Cloruros

10.-Sulfatos

Análisis de la cerámica.

1.-Mineralogía por Difracción de Rayos X.

2.-Petrografía en lámina delgada del material cerámico y constructivo.

3.-Medición de paleomagnetismo.

4.-Deferración.

Para poder probar la hipótesis respecto a la dinámica entre el suelo y el material arqueológico es necesario establecer qué reacciones se llevan a

cabo y cómo intervienen de manera directa e indirecta la alteración del material arqueológico en general y la cerámica en particular. El pH, la textura, la determinación de materia orgánica, los iones intercambiables, etc. nos indican las principales características del suelo y cómo puede relacionarse con la cerámica; otro mecanismo importante es la condición de óxido-reducción que ocurre en la proximidad del nivel freático y que puede cambiar las condiciones químicas de la cerámica, los óxidos se pueden reducir, se puede depositar calcio y puede ocurrir un intercambio de iones de sodio por calcio con el que se decoró originalmente la cerámica. En muchas ocasiones el sodio puede sustituir al calcio formando carbonato de sodio y se puede llevar a cabo en suelos salinos como lo es el de la Ciudad de México; de igual manera la hematita usada en el engobe rojo bruñido puede (y ocurre) sufrir transformaciones debido a las características del suelo. A las condiciones físicas y químicas del suelo se le agrega la gran actividad microbiana existente en el suelo de la Ciudad de México, que acelera algunos procesos como la reducción de los minerales.

Estas técnicas no son las únicas, sin embargo son las que nos permiten tener una idea general y a la vez confiable de las condiciones químicas y físicas del suelo, a partir de ellas se pueden inferir otras como pueden ser la actividad microbiana y la dinámica en que se verán inmiscuidos los materiales contenidos en esos suelos.

Hay técnicas más precisas y contundentes para poder explicar procesos muy puntuales que ocurren en el suelo pero, como esta tesis constituye una primera aproximación, dejaremos para posteriores investigaciones la explicación a procesos más detallados y trataremos de comprender de manera global los procesos en los que se ven inmersos los materiales arqueológicos en el suelo en general y en la Ciudad de México en

particular, es pues, una invitación para que el investigador que se interesa más en comprender las condiciones a las que se ve sometido su material de estudio.

Durante la elaboración de este trabajo casi siempre se mencionaba (entre los arqueólogos) que la microscopía electrónica puede constituir la panacea para descubrir lo que fuera posible de ser descubierto y el costo elevado que implica hacer estos estudios. A continuación se presenta una extensa cita que menciona las posibles utilidades, a lo que modestamente se añade que es importante hacerlo pues de manera indirecta es posible acercarse a los resultados a los que se llega con la microscopía.

Los métodos de análisis mineralógico, en general permiten recabar información acerca de los componentes cristalinos presentes en las cerámicas en forma de desgrasantes.

Análisis de Láminas Delgadas y Microscopía Petrográfica: Este método consiste en confeccionar una lámina de unos 0.03 milímetros de grosor a partir de un fragmento cerámico, con lo cual es necesario cortar una mínima parte del mismo, pulirla y posteriormente adherirla a un portamuestras por medio de unas resinas especiales. Esta lámina se analiza a través de un microscopio petrográfico provisto de un dispositivo que polariza la luz y permite identificar los minerales según sus propiedades ópticas. Los análisis sobre la lámina delgada pueden utilizarse en dos sentidos: 1) Para conocer los componentes minerales presentes en la pasta cerámica, ya sea en forma de desgrasantes añadidos intencionalmente o contenidos en la arcilla de forma natural. Los métodos que se emplean en este caso son los mismos que los utilizados por los geólogos para examinar rocas y minerales. 2) Para determinar las técnicas que se emplearon en la fabricación de la cerámica. En esta ocasión se combinan con las observaciones efectuadas con la lupa

binocular, resultando de gran interés en el estudio de acabados, decoraciones, aspectos de la cocción, formas de moldear, etc.

El objetivo final del análisis sobre lámina delgada es el de caracterizar mineralógicamente las cerámicas para con posteridad poderlas asociar en grupos tecnológicos o poder hacer referencia al origen de las arcillas utilizadas en la fabricación de las mismas. Este segundo punto se revela bastante complejo puesto que de todos los minerales presentes en las cerámicas solo algunos de ellos serán "indicadores" en relación con la geología del entorno. Para entendernos mejor, si en un yacimiento nos encontramos con cerámicas caracterizadas por la presencia de cuarzos, feldespatos y micas, estos resultados serán poco significativos si nos hallamos dentro de una región granítica de muchos km.², pero en cambio serán de gran valor los fragmentos de rocas volcánicas que puedan ser características, por ejemplo, de una zona volcánica determinada fuera de esta región. Todo esto hace que cuanto más "raros" sean los minerales presentes en la pasta más positivos serán los resultados. Esto hace también que el método sea menos útil cuanto más decantadas estén las pastas y sea más difícil identificar los desgrasantes, revelándose complementario para los análisis de cerámicas finas a tomo (Courtois, 1976)

Microscopía Electrónica (EM): Los microscopios electrónicos utilizan haces de electrones lanzados a gran velocidad, lo cual permite ver los objetos con gran aumento que puede llegar a ser del orden de 100.000x. Un aspecto tan importante como los aumentos que se logran, es el de la gran profundidad de campo que puede alcanzar. Esto permite estudiar ciertas microestructuras incluso con poca magnificación. Normalmente suelen tener acoplada una microsonda que puede realizar análisis de los elementos mostrados en la imagen. Este dispositivo ha posibilitado algunos trabajos de

gran interés (Kamilli y Lamberg-Karlosky, 1979; Freestone, 1982). Una de sus mayores ventajas consiste en poder observar la estructura de los microcristales de la arcilla si ésta no ha sido transformada del todo durante la cocción, pudiéndose identificar de esta forma el tipo del que se trata.

Hay dos tipos principales de microscopio electrónico: 1) El **Microscopio Electrónico de Transmisión (TEM)**, que se emplea sobre todo para el reconocimiento de los minerales mediante la difracción de los electrones dentro del área que se selecciona. 2) El **Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)**, utilizado generalmente para el reconocimiento morfológico de las pastas cerámicas, analizando su porosidad, textura y microestructura. (Citado por García H. y C. O. 1992; 274-27)

VII. Delimitación de la zona de estudio

La región de interés es la conocida actualmente como el Centro Histórico de la ciudad de México, cuyos límites ya se mencionaron; representa la superficie aproximada de la Isla de Tenochtitlan y la de Tlatelolco en la época prehispánica y después constituyó la Primera Traza en los primeros años de La Colonia. Se eligió este lugar, en primer lugar por que se estaban realizando investigaciones arqueológicas y la problemática ha que se enfrenta el arqueólogo durante su investigación. Además de la cercanía para poder obtener las muestras a analizar.



Figura 10 Centro Histórico de la Ciudad de México.

Cuando se tenía ya establecido el área de estudio, se planteó la disyuntiva de los sitios a muestrear y por que, aparte de muchos otros problemas. Comenzaremos con la selección de los puntos de muestreo que es más fácil de responder. Se muestreó en donde fue posible hacerlo, es decir, en donde se estaba construyendo o recimentando y que se llevara un control de la excavación, por aquello de como fueran tomadas la muestras y que tanto fueran alteradas por la misma actividad constructiva que se estaba realizando, esto reducía de manera significativa los lugares, pues habiendo sitios que se pudieran considerar más importantes (como puede ser los trabajos de recimentación efectuados en la Catedral Metropolitana y que continúan hasta el día de hoy), la manera de laborar no me permitiría obtener muestras que fueran consideradas confiables. Además, fueran representativas de lo que ocurre en el subsuelo de la Ciudad de México (no porque fuese el objetivo de esta investigación), sino porque esto se ve reflejado en los procesos que afectan al material en el depositado. Se eligió lo que fue la parte central de la isla de Tenochtitlan (Palacio Nacional) y su ribera norte, hacia Tlatelolco (la Plaza Garibaldi), que se pobló muy densamente en este siglo y refleja también las condiciones fluctuantes de humedad en esta parte de la ciudad, pues hasta el siglo pasado y principios de este estaba libre de grandes construcciones (como es posible verlo en los planos de la ciudad).

Se eligió en primer lugar La Biblioteca Mariana del Palacio Nacional dado que se estaban haciendo obras de recimentación y se aprovechó la excavación para obtener las muestras. Este sitio constituye lo que sería el núcleo central de la isla de Tenochtitlan y debe conservar a lo largo del perfil el suelo que se originó *in situ* o se acumuló de manera natural durante la formación de la misma. Además de poder observar los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo debido a la construcciones sobre el.

El otro lugar de muestreo fue lo que se conoce como La Plaza Garibaldi, que constituye parte de la ribera de la isla y que se fue cubriendo para unir las dos islas en la época prehispánica (Tenochtilan y Tlatelolco). En este lugar se pudo observar efectos por el nivel freático y las fluctuaciones que tiene tanto de manera vertical como horizontal debido a que aún se puede observar de manera directa como estaría el nivel del lago, este efecto se perderá por la construcción de la línea del Sistema Metropolitano de Transporte que pasa por el Eje 1 Norte y el que lo cruza por el Eje Central (se muestreo en junio de 1995) y por la ausencia de construcción inmediata sobre él.

Estos eventos se pueden ver claramente reflejados en los resultados de los análisis efectuados. Al igual que la presencia del sistema de drenaje que aporta material al suelo y modifica las propiedades del suelo.

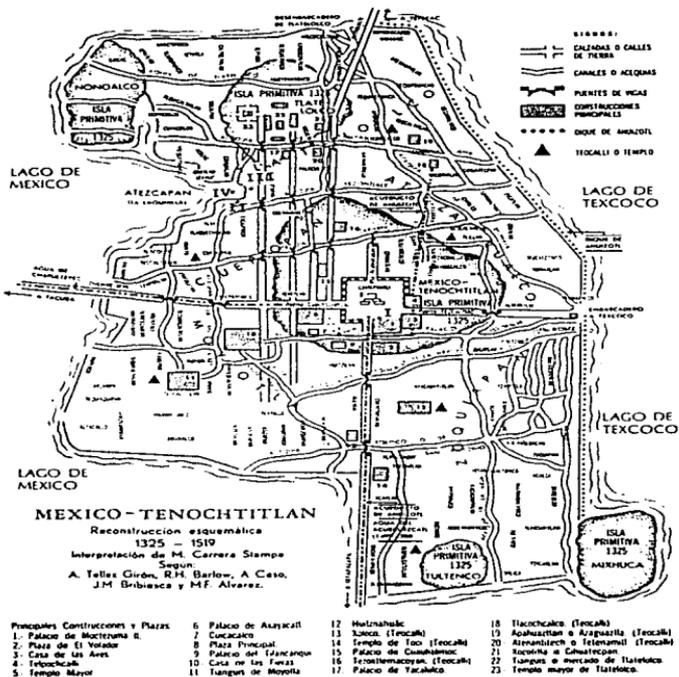


Fig 11. Ubicación de los perfiles en lo que fueron las islas de Tenochtitlan y Tlatelolco.

VIII.-Resultados e interpretación

Los resultados obtenidos de este estudio indican que los estratos analizados por capas corresponden con cuatro perfiles estratigráficos cuyas características están en gran parte influenciadas por la posición geográfica en que se encuentran (fig 11), así como el efecto de presión demográfica prehispánica y colonial a que fueron sometidos. Se observa también en estos perfiles que los espesores de los rellenos úrbicos en la parte propiamente insular, oscilaban entre los 50 a 70 cm y que llegaba a espesores mayores de 300 cm en lo que constituía el cuerpo del lago propiamente, también se hace evidente en la misma figura que los espesores de la llamada "capa arqueológica" pueden oscilar desde 140 cm en el perfil 1 hasta un poco más de 330 cm como es el caso en el perfil 2. La ausencia de material cerámico o cualquier otro tipo de material arqueológico, con la presencia de capas lacustres bien caracterizadas, sirvió en este estudio para delimitar lo que se llamó "piso arqueológico".

Es necesario mencionar que la gleyización y los fenómenos asociados a condiciones reductomórficas tanto para casos edáficos como diagenéticos son predominantes sobre cualquier otro proceso tanto en suelos como en capas del suelo (fig 15). En este caso los procesos antes mencionados son evidentes en todos los perfiles y en casi todas las capas. Esto significa que si bien la cerámica que se encontró en estos "suelos" pudo estar sometida a una serie de otros procesos, es muy probable que las que más interactuaron con ella fueron la gleyización y las condiciones reductomórficas.

Además fue posible reconocer en las capas los siguientes procesos y/o propiedades, que sin duda también actuaron sobre la cerámica aunque en

menor grado: sodificación, salinización, una capacidad de intercambio catiónico con cambios abruptos, antropogenización, calcificación y sulfidización. Estos procesos son ampliamente estudiados y reconocidos por la ISSS, ISRIC y por la FAO. De hecho estas organizaciones hacen una propuesta formal sobre el reconocimiento de tales procesos durante la Reunión Internacional de la Ciencia del Suelo efectuada en Acapulco Gro. México, en julio de 1994.

Por otra parte la presencia de estos procesos en las diferentes capas ha sido sintetizado en la tabla 18 para lograr una mejor comprensión, aunque son discutidos en el texto de este documento.

Como ya se mencionó se han realizado algunos análisis de suelo de algunos sitios de la Ciudad de México. Los datos obtenidos en la presente investigación difieren con los resultados presentados por Franco en 1990.

La aparente discrepancia en los resultados estriba en que se ha confundido el término ácido o básico del suelo con el de las rocas y en el cual se utiliza el contenido de sílice, que fue el caso de Franco, afirma que:

Los suelos son ácidos si la roca madre tiene más del 60 % de sílice; contienen gran cantidad de material orgánico en descomposición que produce ácidos húmicos que descomponen el calcio. Este tipo de suelos se encuentran principalmente en regiones húmedas.

Los suelos son alcalinos si tienen menos del 40 % de sílice o si tienen carbonato de calcio (de sodio en el caso del Templo Mayor) como roca madre; contienen sales solubles muy fuertes. Este tipo de suelos se encuentra principalmente en regiones secas". (Franco 1990:57)

Se sabe, que la cantidad de sílice en la roca no esta relacionada con el pH, sino a su composición estructural. Además una roca ácida puede dar origen a un suelo básico y una roca básica a un suelo ácido (dependiendo de las condiciones medioambientales). El pH solo se puede medir en una solución y no en sólidos, además hay que recordar los factores que intervienen en la formación del suelo y cómo, debido a su dinámica sufrió alteraciones

posteriores a un estadio de formación; debido a que se confunden estos términos se ha propuesto que la nomenclatura para las rocas sean **félsicas** cuando el contenido de sílice sea mayor de 65 %, **básicas**, cuando el contenido está entre 65 y 45 % y **máficas** cuando el contenido de sílice es menor de 45 %. (Gama y Dávila, comunicación personal, 1996)

Para realizar una interpretación de estos resultados es necesario tener los antecedentes del sitio en el que se tomaron las muestras. El "suelo" de la Ciudad de México es de origen muy diverso. Para comenzar no se desarrolló *in situ*, sino de materiales transportados que existían en torno a los lagos durante las épocas prehispánica y colonial.

Para el momento de la Conquista ya había un corredor de tierra firme de grandes dimensiones (pues en él se habían construido casas y edificios dedicados al culto) que unía la isla de México-Tenochtilan y la de Tlatelolco. Esto indica que el "suelo" tiene cuando menos 500 años de acarreo, pero, con una dinámica propia y que permite desarrollar un suelo en todos sus aspectos. En los trabajos publicados por Vallejo *et al* (1997, fig 29) se observa una distribución estratigráfica de las capas de "suelo" y "subsuelo" (sustratum) de la Ciudad de México. En esta figura se aprecia que los primeros 50 a 200 cm se trata de un relleno antrópico que consiste principalmente de materiales úrbicos (de construcción) y de materiales de dragado. Subyaciendo a este "suelo" hasta una profundidad de 5 m se encuentra lo que podría denominarse como "suelo arqueológico" como se observa en la fig 29 (Vallejo *et al*, 1997: 6.), de los 5 a 40 m se dan una serie de eventos estratigráficos que se encuentran resumidos en dicha figura.

Uno de los principales procesos que se manifiestan en estas capas es el de las condiciones de hidromorfismo que predomina sobre los demás procesos. Este hidromorfismo da lugar a las condiciones reductomórficas que

llegan a constituir horizontes de Gley, varios de los cuales se observan en el "suelo". Este fenómeno de gleyización se manifiesta por la presencia en la matriz de las capas de colores gris brillante (5Y 7/1) hasta gris oliva brillante (5Y 6/2) (como en el perfil 2 localizado en La Plaza Garibaldi). Autores como Fanning (1989), Nordstrom (1982), Schlingting (1973), y Vepraskas (1976), coinciden al afirmar que los procesos de gleyización y los fenómenos reductomórficos no son privativos de suelos, sino que pueden encontrarse en capas y sustratos profundos. Los análisis efectuados por Vallejo *et al* (1997) muestran que el valor de rH en estos "suelos" dado por la formula $rH = \left(\frac{Eh(mV)}{29} \right) + 2$ pH, son menores al 9 y que los contenidos de Fe^{2+} son altos.

La ausencia de colores más rojos que 2.5 YR comprueba la presencia de propiedades reductomórficas. Sin embargo existen algunos suelos y capas estudiadas donde las condiciones de reducción-oxidación son alternantes. Lo que significa que estacionalmente el Fe^{2+} al igual que el y Mn^{2+} presentes en condiciones reducidas pasan a Fe^{3+} y Mn^{4+} en condiciones oxidantes. Este fenómeno se observa claramente en el perfil 1 (Tabla 4). En los cuatro perfiles que se analizaron se han observado indicios que permiten inferir que el "suelo" transportado ha tenido un desarrollo pedogenético, aunque débil, en ese sitio (es decir los procesos químicos, físicos y biológicos han tenido una evolución en la zona en que se ha depositado). Este débil desarrollo se observa en que todavía se conservan evidencias fuertes de estratificación. Las cuales se evidencian en los contenidos irregulares y caóticos de materia orgánica con respecto a la profundidad. Según el World Reference Base for Soil Resources 1994 y la International Society of Soil Science los contenidos irregulares de materia orgánica (Tablas 4-15) revelan el carácter estratificado de los sedimentos. Es necesario aclarar que también es probable que gran parte de esta distribución irregular de la materia orgánica se deba a que las

capas han sido, a través del tiempo, muy contaminadas por efectos de drenaje urbano (Fig15). De igual manera en los perfiles 2, 3 y 4 localizados en la Plaza Garibaldi, se puede observar la presencia de drenajes y canales (Fig. 15) para riego o para conducir el agua de escorrentía originada por las fluctuaciones en el nivel del lago, lo que puede estar indicándonos que son "suelos" transportados por el agua del lago y depositado en las riberas de la isla (propiedades flúvicas: FAO-Unesco-ISRIC 1990), y que posteriormente fueron utilizados en estos sitios para el cultivo limitado de plantas resistentes a las condiciones de alcalinidad y que son aptas para consumo humano.

Perfil 1, Biblioteca Mariana ubicada en el Palacio Nacional.

El perfil 1 se caracteriza por presentar un "suelo" de relleno que comprende un espesor de 0 a 50 cm, y un "suelo arqueológico" que va de 50 a 160 cm. El "suelo arqueológico" por sus características morfológicas y evidencias físicas y químicas, así como interpretaciones arqueológicas puede a su vez ser dividido en 7 capas.

Capa 1 (0 a 0.5 m)

Como se mencionó constituye el piso y su firme, desechos de material constructivo, por lo que no se muestreó.

Capa 2. (0.5 a 0.6

m)

Capa de color blanco rosáceo en seco a gris rosáceo en húmedo, muy alcalina (pH mayor que 9.8) aunque porosa y rica en materia orgánica (Tabla 4), de textura gruesa (migajón arenoso). La arcilla predominante según datos de laboratorio es de tipo illita. Los contenidos de bases

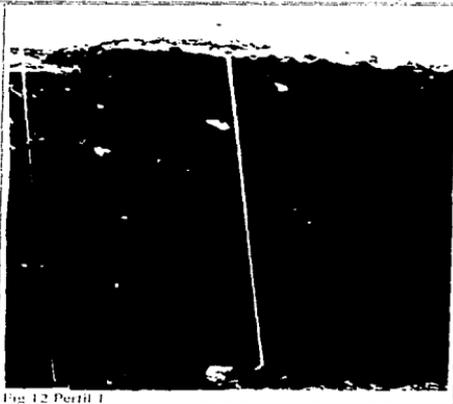


Fig. 12 Perfil 1

intercambiables son excesivos y sobrepasa a la capacidad de intercambio catiónico, la cual es moderada (tabla 5). Esta sobrepasación en bases se considera como un artificio de la técnica empleada para su determinación, de hecho muchos de los suelos antrópicos de Xochimilco también presentan este problema (comunicación personal, Prof. Emerito Nicolás Aguilera, 1995).

Capa 3. (0.6 a 0.7 m)

La capa 3 subyace con un contacto plano y abrupto en color a la capa 2 lo que indica claramente estratificación. Los colores en seco y húmedo son muy oscuros y el pH aunque alcalino presenta valores inferiores a los de la capa que le sobreyace. Se trata también de un material muy poroso, aunque su principal característica es la elevada presencia de materia orgánica, la cual como se mencionó anteriormente fue inicialmente revuelta con arena y depositada intencionalmente para proteger a las construcciones de los efectos de la salinidad. Consecuentemente la textura de esta capa es arena migajosa

(Tabla 5) y la alta capacidad que presenta se debe en gran parte a los altos contenidos de materia orgánica. Como en el caso anterior las bases intercambiables muestran contenidos muy altos, producto del artificio de la técnica empleada para determinarla.

Capa 4. (0.7a 0.8 m)

Es una capa de color gris rojizo en seco a pardo rojizo en húmedo, con un pH menos alcalino que el de las capas que le subyacen. Lo que se interpreta en gran parte como efecto de los lixiviados orgánicos provenientes de la capa que le suprayace. Se trata de un depósito prehispánico que muestra claramente una disminución en su porosidad aunque un incremento notable de arcilla que de acuerdo con el ISSS (1994) se debe denominar como cambio textural abrupto con relación a la capa que le subyace. La capacidad de intercambio catiónico es alta y esto se interpreta como efecto de los lixiviados. Como en el caso anterior, las bases intercambiables muestran una determinación cuantitativa que es exagerada.

Capa 5.(0.8 a 0.9 m)

Esta capa muestra evidencias de estratificación clara como es la de presentar una estructura laminar fina. Los colores en seco y en húmedo son muy similares pardo rojizo, y el pH de esta capa tiende a incrementarse nuevamente debido, probablemente a que los lixiviados de la materia orgánica se presentan en menor cantidad. La porosidad es alta para una textura mijagón-arenosa, sin embargo se observa que puede ser debida a los altos contenidos de materia orgánica que se presentan (Tabla 4). Las observaciones en el sitio permiten inferir que gran parte de la materia orgánica se debe a adiciones por efecto de drenaje urbano. Como en los casos anteriores la

capacidad de intercambio catiónico es alta y también se presenta la problemática de la sobrevaloración.

Capa 6.(0.9 a 1.2m)

Es una capa de un espesor de 30 cm, de color que oscila de pardo rojizo a gris rojizo y que tiende a incrementar con la profundidad sus valores de pH, así como sus porcentajes de porosidad. A diferencia de las otras capas esta no se encontraba fuertemente compactada y esto llega a explicar, junto con los contenidos de materia orgánica (Tabla 4), el porque de esta alta porosidad. La textura en esta capa es fina, predominantemente arcillosa. No obstante estas arcillas ni son muy adhesivas ni muy plásticas, y carecen según los datos de laboratorio de expansividad. Su coeficiente lineal de expansividad (COLE) es menor de 0.6 mm. Los análisis de Rayos X muestra a la arcilla como haloisita no bien cristalizada. La capacidad de intercambio catiónico en este caso resulta también típica para una arcilla de tipo haloisítica. Es notable en esta capa el descenso en los contenidos de bases intercambiables principalmente en calcio. Este descenso puede ser efecto del lavado por las fluctuaciones del manto freático del cual existen evidencias en el perfil estudiado.

Capa 7.(1.2 a 1.5 m)

Se trata de una capa donde predominan los colores pardo rojizo oscuros. los pH y la alta porosidad que en conjunto, son congruentes con los altos contenidos de materia orgánica (Tabla 4). La textura es predominantemente gruesa, aunque se observa una cierta redistribución en los porcentajes de arcilla (Tabla 5), esta distribución también da valores congruentes con la capacidad de intercambio catiónico, como en los casos anteriores los contenidos de bases intercambiables siguen presentando valores

exagerados. A criterio del Prof. Emérito Nicolás Aguilera estos valores se explican debido a que las técnicas empleadas no permiten separar adecuadamente los cationes intercambiables de los cationes solubles, al respecto se hicieron un total de cinco repeticiones para cada muestra.

Capa 8. (1.5 a 1.6m)

La capa 8 presenta un cambio textural abrupto por su contenido de arena con respecto a la capa que le sobreyace. En esta capa nuevamente se presentan los valores muy altos de pH, los cuales están indicando una acumulación relativa de sales por efecto de fluctuación en el manto freático. La porosidad es alta y así mismo los contenidos en materia orgánica, sin embargo debido a que esta materia no presenta un grado de descomposición tan alto como en las otras capas (aún se observan restos reconocibles de fragmentos de plantas). La capacidad de intercambio catiónico es moderada. Los valores de bases intercambiables muestran las características descritas en las otras capas.

Perfil 2 Plaza Garibaldi.

Este perfil de manera similar al perfil 1 presenta semejanza en los materiales que componen la capa de relleno, así como en los materiales que propiamente constituyen la "capa arqueológica". Según las características dadas por la ISSS-ISRIC y la FAO 1994, el término material antropogénico se refiere a material mineral u orgánico no consolidado que fue depositado por el hombre o como resultado indirecto de sus actividades. El material estudiado en este perfil dentro de los primeros 70 cm correspondería con lo que estas instituciones han denominado material úrbico, es decir un material en donde

más del 35 % de su volumen es ocupado por restos de artefactos elaborados por el hombre. Subyaciendo a esta capa y hasta una profundidad de aproximadamente 4 m se encuentra lo que se denomina "piso arqueológico". Desde el punto de vista edáfico este piso está constituido tanto por sedimentos fluviales como lacustres que al ser depositados reflejan evidencias claras de estratificación. Estas evidencias como se observa en la Fig 13 y Tablas 4-15 se hacen obvias en cuanto a cambios texturales, color y distribución caótica de la materia orgánica así como por contenidos de carbono orgánico mayores del 0.20 %. Estas propiedades según la ISSS (1994) son denominadas propiedades flúvicas y el contexto que las constituye se denomina material flúvico. En este contexto tan general quedan incluidos los restos de cerámica. Dentro de esta capa arqueológica, y de modo similar a lo que ocurre en el perfil 1, se han dado una serie de procesos edafogénicos y diagénéticos difíciles de separar claramente que serán discutidos a continuación.

Este perfil presenta seis capas (Fig. 13), y se ubica en la parte sur de la Plaza Garibaldi.

Capa 1. (0 a 0.7 m)

Corresponde a un relleno de 70 cm de espesor que se utilizó como firme del piso anterior a la construcción del estacionamiento subterráneo.

Capa 2. (0.7 a 1.4 m)

En esta capa se puede observar una coloración de gris brillante en seco a gris oliva oscuro



Fig. 13. Perfil 2

en húmedo. Presenta una alcalinidad alta (pH de 9.6), con un contenido de materia orgánica moderado, con una buena porosidad (Tabla 6), y una textura franco arenosa que permite un libre movimiento de agua y las sales disueltas en ella. Por lo que, a diferencia del perfil anterior las bases intercambiables están en cantidades muy por abajo del perfil 1. Sin embargo, el calcio y magnesio continúan por encima del sodio y potasio, éste se debe a el aporte del material constructivo empleado. No obstante, de acuerdo con la ISSS (1994) esta capa por presentar contenidos mayores del 8 % de arcilla y una saturación con sodio mayor del 15 % se considera como una capa nátrica. Además, como se observa en la Tabla 5, se caracteriza por presentar colores con croma de 5 Y en la matriz del suelo que son indicativos de condiciones reductomórficas, que muestran posibilidades de gleyización. Esta capa no muestra un cambio textural abrupto con la capa que la subyace (Tabla 5).

Capa 3.(140 a 240 cm)

Continúa predominando una coloración gris brillante en seco a gris oliva en húmedo, o sea, las propiedades reductomórficas y la gleyización también son evidentes. Predomina en todo el espesor de esta capa la alcalinidad alta (9.6) y contenidos de sodio mayores del 16 % hace que la capa se clasifique no solo como nátrica sino, además, con propiedades sálicas (ISSS 1994). Por otra parte el material que constituye esta capa se considera como un material calcárico ya que efervesce fuertemente con el HCl al 10 %. La porosidad de esta capa es menor que en la capa anterior. Presentando un ligero aumento en el contenido de materia orgánica (Tablas 6 y 8). Aquí disminuye el contenido de sodio y aumenta el del potasio con respecto a la capa que le sobreyace. Esta capa no muestra un contacto estructural abrupto con la capa que le subyace.

Capa 4. (240 a 290 cm)

La coloración varía de gris en seco a gris oscuro en húmedo, o sea también en esta capa están presentes condiciones reductomórficas y gleyización. Presenta una disminución en el pH (8.2), que de acuerdo con el ISSS indica pocas posibilidades para que esta capa sea considerada como sálica, ya que una capa sálica debe tener como mínimo un pH de 8.5. Aumenta ligeramente la porosidad y el contenido de materia orgánica (Tablas 6 y 8) que es característico de los sustratos estratificados (lo cual explica la disminución del pH), la textura cambia a franco arcillosa. Con el aumento de la materia orgánica aumenta la capacidad de intercambio. Así mismo, aumenta el contenido de sodio, potasio y calcio por lo que se presenta una capa nátrica, manteniéndose estable el de magnesio.

Capa 5. (290 a 325 cm)

Su coloración va de blanco en seco a oliva en húmedo, se incrementa ligeramente el pH, la porosidad disminuye al igual que el contenido de materia orgánica, lo cual explica en parte la coloración y sugiere la presencia de drenaje lateral y albificación (Tabla 9). Otro criterio importante es que presenta fluctuación del nivel freático, el cual puede interferir en la coloración.

En esta capa disminuye la capacidad de intercambio catiónico, lo mismo que las bases intercambiables (Tabla 7). Dadas estas características no se presentan propiedades nátricas.

Esta capa presenta de 300 a 310 cm, un depósito rico en vidrio volcánico que además de ser responsable del cambio de color, está actuando como una capa que permite el drenaje lateral. De acuerdo con la ISSS (1994) los colores que muestra son característicos para capas similares a un horizonte E álbico (albificación)

Capa 6. (325 a 400)

En esta capa los materiales que la constituyen presentan propiedades gleyicas muy importantes. Esto indica que la capa se encuentra completamente saturada durante la mayor parte del año, es decir, en condiciones de reducción las cuales se reflejan por un patrón de colores gleyicos en donde los valores de rH son menores que 19. Estos valores, junto con la presencia dominante de colores 5Y indican claramente la presencia de propiedades reductomórficas. Por otra parte los contenidos de hierro libre (Fe^{2+}) son altos y se hicieron evidentes de modo cualitativo después de aplicar a la muestra de la capa una solución de ferrocianuro de potasio al 1 %. En estas condiciones el hierro libre se manifiesta a través de coloraciones azules en la matriz del "suelo".

Por otra parte, la morfología capa varía de un color blanco en seco a oliva palido en húmedo, se mantienen los valores de pH, la porosidad es más fluctuante, lo que disminuye marcadamente es el contenido de materia orgánica (Tabla 8). La textura es franco arcillosa y la capacidad de intercambio va aumentando congruentemente con los contenidos de arcilla. De igual manera las bases intercambiables aumentan a excepción del magnesio que disminuye conforme se va a profundidad.

En este perfil se observan varias capas de fluctuación del manto freático lo que va alterando las propiedades del "suelo" de este sitio. En esta capa no se presentan condiciones sódicas, aunque las propiedades calcáricas son evidentes.

Perfil 3 Plaza Garibaldi.

Este perfil representa un medio integrado entre la isla de Tenochtitlan y el cuerpo lacustre del lago de Texcoco (Fig. 11). Las evidencias arqueológicas demuestran la necesidad de que los antiguos pobladores de esta isla tenían que incrementar su área de vivienda y de cultivo. Consecuentemente los continuos depositos de capas de "suelo" en el lago le permitió alcanzar un nivel por encima del espejo del mismo lago. También se reconoce que era frecuente la construcción

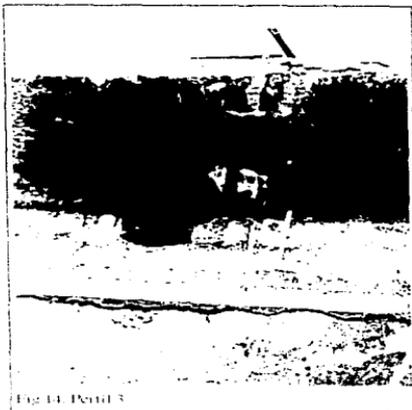


Fig. 11. Perfil 3.

de chinampas con métodos de ingeniería prehispánica muy avanzados. En terminos de los suelos esta acumulación de capas hechas por el hombre para los fines antes mencionados se denomina como "suelos de acumulación antropogénica" (Rozanov, 1990).

Como se puede observar en la Tabla 18 la distribución de la materia orgánica en las profundidades de 120, 190 y 250 cm resultan sumamente regulares. Se observa también que en estos tres casos el espesor de las capas que subyacen a las capas ricas en materia orgánica es regularmente de 40 y en ocasiones de 50 cm. Tal distribución sugiere fuertemente que ha sido hecha de modo artificial por el hombre. De acuerdo con Gong (1986) y Bronger (1989)

así como Kosse (1990) uno de los procesos antropogénicos más comunes en zonas peninsulares e insulares es el denominado como "adición" de materiales extraños. Este consiste en una continua aplicación de materiales terrígenos que además de aportar "adiciones" sustanciales de minerales y materia orgánica proporciona la emergencia por acumulación de estas capas. Así al rebasar el nivel del agua resultan útiles tanto para construir (antrosoles cumúlicos) como para cultivar (antrosoles órticos). Estos últimos se conocen genéricamente como *chinampas*.

Aunque no existen datos definitivos sobre las fluctuaciones que sufría en su nivel el lago de Texcoco. Los resultados que se muestran en la figura 14 parecen indicar que el nivel de lago se incremento al menos tres veces de modo importante durante la época de los aztecas. Sin embargo esta información requiere una mayor validación a través de estudios e investigaciones más detalladas. Fenómenos como el que se menciona han sido reportados por los autores citados.

Por otra parte el sustrato estudiado presenta siete capas, diferenciándose claramente por la textura y la distribución de la materia orgánica.

Capa 1. (0 a 70 cm)

Es una capa que se utilizó como firme para el piso existente, además de material constructivo de desecho. Por tal motivo no se muestreó.

Capa 2. (70 a 90 cm)

De color blanco en seco a gris muy oscuro en húmedo, con pH alcalino (8.2) mayor al que la subyace, elevada porosidad (Tabla 10). La capacidad de intercambio es menor lo que resulta congruente con la disminución de arcilla; presenta bajo contenido de sodio, pero con gran

cantidad de calcio proveniente, probablemente del material constructivo, al igual que el contenido de potasio que se libera por efecto de la contaminación sobre los minerales del suelo (Tabla 11).

Capa 3. (90 a 100 cm)

Con coloración pardo pálido en seco a pardo en húmedo, disminuye ligeramente el pH (8.1) al igual que la porosidad y aumenta el contenido de materia orgánica (Tabla 10), razón por lo cual se da esta coloración mencionada. La presencia de esta capa solamente se explica por su origen como un depósito que tendría probablemente la finalidad de mejorar el drenaje interno, dado los altos contenidos de arena que muestra (Tabla 11). La capacidad de intercambio catiónico aumenta debido al alto contenido de materia orgánica aunque decrece rápidamente, disminuyendo de manera generalizada las bases intercambiables, posiblemente por efecto de drenaje lateral (tabla 11).

Capa 4. (100 a 170 cm)

Presenta una coloración de blanco en seco a pardusco en húmedo, el pH se ve incrementado conforme se profundiza en la capa, así como la porosidad (Tabla 11), se observan los incrementos notablemente a los 140 cm y permanece estable hasta los 170 cm de profundidad donde tiende a decrecer. La textura es arcillosa y la capacidad de intercambio es ligeramente fluctuante, pero, el sodio tiende a incrementarse con la profundidad. Por lo mismo que el potasio y el calcio, lo que probablemente indica que estas capas pudieron permanecer estables a los efectos del drenaje lateral durante un tiempo aún no definido. Fenómenos similares se observan en las capas 5, 6 y 7. El magnesio es fluctuante (Tabla 11 y 13).

Capa 5. (170 a 220 cm)

Presenta una coloración blanca en seco y gris oliva oscuro en húmedo, el pH se incrementa ligeramente y la porosidad disminuye de manera considerable. El contenido de materia orgánica se incrementa notablemente a los 170 cm de profundidad y como se menciona anteriormente tiende a permanecer estable de los 200 a 240 cm (tabla 9 y 11). La capacidad de intercambio disminuye ligeramente (sin embargo en todos los casos se conserva alta) pero el sodio aumenta con la profundidad, sin embargo en esta capa tampoco se presenta una fase nátrica, el potasio disminuye ligeramente al igual que el calcio, pero, el magnesio se mantiene estable (tabla 11 y 13). Todas estas características se ven influenciadas por el movimiento constante del nivel freático, y el drenaje lateral, este último se manifiesta por un lavado de las capas que las decolora (Tablas 10 y 12).

Capa 6. (220 a 270 cm)

Va de blanco en seco a gris oscuro en húmedo presentando cambios evidentes en la coloración debidos tanto a efectos del drenaje lateral como a fluctuaciones del nivel freático, se eleva la porosidad. Como característica distintiva el contenido de materia orgánica se incrementa a 240 cm considerablemente, y como en el caso de las capas anteriores se mantiene estable (Tabla 12). El incremento en arcilla se refleja como un incremento en la capacidad de intercambio. El sodio y potasio aumentan, aunque el sodio en ningún caso llega a constituir una capa nátrica. Disminuye el calcio y el magnesio (Tabla 13).

Capa 7. (270 a 310 cm)

Con una coloración de blanco en seco a pardo oliva en húmedo, el pH se mantiene al igual que la porosidad, el contenido de materia orgánica

disminuye y se mantiene estable (Tabla 12). Los incrementos de arcilla se reflejan en un aumento en la capacidad de intercambio. El sodio se incrementa considerablemente al igual que el potasio y calcio, y el magnesio son más estables (Tabla 13). Pero como en los casos anteriores el sodio no llega a constituir capas natricas.

Perfil 4 Plaza Garibaldi.

Este perfil se encuentra localizado en lo que propiamente era la zona lacustre. Sin embargo existen evidencias como la presencia de restos vegetales, materiales arqueológicos, así como la presencia de capas horizontales discordantes que hacen suponer que en este punto se encontraba el contacto entre una antigua ribera y la zona del

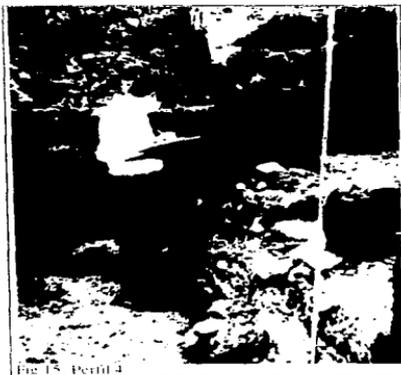


Fig. 15. Perfil 4

lago. Existen otras evidencias que indican que este perfil se localizaba sobre lo que podría denominarse tierra firme como son la regularidad en los valores de pH y materia orgánica a los 300 a 360 cm de profundidad (capa 3). Las evidencias de campo también indican que en los tres primeros metros (capa 1 y 2) existen restos de la infraestructura colonial como son varios de los sistemas de drenaje encontrados en estas capas, también representa un relleno urbano, básicamente colonial.

Como se observa en la figura. 15, la capa 3 esta constituida por materiales volcánicos ricos en vidrio según se observó al microscopio. Esta capa de materiales piroclásticos es responsable de la baja densidad aparente que se observa en las capas 4 y 5, del alto porcentaje de porosidad que presenta, así como del tipo textural limoso predominante y la alta capacidad de intercambio. El examen al microscopio de la fracción arena fina muestra que estas caspas no son depósitos piroclásticos de caída aérea, ya que, la redondez en los granos indica que fueron transportados por el agua. Esta capa según el ISSS (1994) cumple los requisitos para ser considerada como un aluvión vulcanogénico. Subyaciendo a esta capa se encuentra un estrato muy arcilloso (capa 5), rico en illitas. Esta capa muestra, como se mencionó anteriormente, evidencias de haber sido una ribera. Sus colores son predominantemente claros, diagnosticos de procesos reductomórficos y de gleyización. La ausencia de oxígeno preservó de manera notable los restos orgánicos contenidos en ella (restos de raíces). En esta capa se encontraron también restos de moluscos bastante bien conservados. Los incrementos en materia orgánica pueden ser debidos tanto a la presencia de los restos orgánicos como a las adiciones por transporte fluvial y lacustre. Se debe mencionar que ninguna de las capas muestra características sódicas ni nátricas, aunque sí propiedades calcáricas.

Subyaciéndola se encuentra la capa 7 constituida principalmente por material piroclástico retrabajado que como en las capas 3, 4 y 5 también le confieren propiedades particulares a este perfil estratigráfico como son la baja densidad aparente, alta porosidad, alta capacidad de intercambio y estabilidad en cuanto a los valores de pH. Las características físicas y químicas de cada capa se discuten a continuación.

Se detectan siete capas claramente diferenciables por medio del color y textura.

Capa 1. (0 a 120 cm).

Material úrbico de relleno.

Capa 2. (120 a 300 cm).

Constituye un ducto de drenaje de 180 cm de diámetro por lo cual no se muestreó.

Capa 3. (300 a 320 cm)

Presenta una coloración de blanco en seco a gris pálido en húmedo. El color blanco se debe a la presencia de vidrio volcánico. El pH es ligeramente alcalino, con una porosidad elevada y poca materia orgánica (Tabla 14). A esta profundidad la textura es limosa, pues en este sitio se ubicaba la ribera norte de la isla de Tenochtitlan. Presenta una capacidad de intercambio alta debido a la presencia de vidrio volcánico. Presenta poco sodio, pero, abundante calcio, potasio y magnesio (Tabla 15)

Capa 4. (320 a 330)

Presenta un color pardo pálido en seco y gris pálido en húmedo. El pH aumenta ligeramente respecto a la capa que la sobreyace, se conserva la porosidad al igual que el contenido de materia orgánica (Tabla 14). Se presenta la misma tendencia de la capacidad de de intercambio y de las bases intercambiables (Tabla 15).

Capa 5. (330 a 350 cm)

Presenta colores que varían del pardo muy pálido en seco a gris pálido en húmedo. El pH es alcalino y como en las otras capas de material

piroclástico le da una baja densidad aparente, una alta porosidad (Tabla 14) y una capacidad de intercambio muy alta (Tabla 15).

Capa 6. (360 a 400 cm)

Capa constituida por rellenos aluviales de colores muy claros en seco, aunque gris oliva en húmedo, lo cual demuestra la presencia de propiedades reductomórficas y gleyización. Como en las otras capas el pH es alcalino, con una densidad aparente generalmente mayor que 1, porosidad moderada alta, y contenidos desordenados de materia orgánica (Tabla 14). Muy arcillosa, con capacidad de intercambio moderadamente alta (Tabla 15). En esta capa tampoco se presenta la fase nátrica.

Capa 7. (400 a 440 cm)

Las coloraciones de gris oliva brillante en seco a gris oliva en húmedo que evidencian las propiedades reductomórficas que predominan. También está constituida en gran parte por vidrio volcánico por lo que al igual que las anteriores la densidad aparente es baja y la porosidad es alta (tabla 14). La capacidad de intercambio es igualmente elevada (Tabla 15).

IX.- ANALISIS DE MATERIAL CERAMICO Y CONSTRUCTIVO.

La aplicación de estas técnicas conjuntamente con el análisis de lámina delgada (petrografía) permite, establecer una secuencia de intemperismo del material cerámico. Una prueba por sí misma tiene un alcance limitado, sin embargo al combinar varias de ellas nos dan certeza de los resultados así obtenidos.

Se efectuaron los siguientes análisis sobre el material arqueológico para poder determinar el tipo y grado de alteración que en ellos se dió.

Se aplicó la difracción de Rayos X con el fin de identificar el material cerámico y especialmente que tipo de arcillas se usaron en su elaboración, dando como resultado la identificación de caolinita y haloisita (Tabla 19), las cuales se vieron afectadas por la temperatura de cocción de la cerámica.

Del mismo modo se utilizó la técnica de paleomagnetismo que sirve para determinar materiales magnéticos medibles a través de lecturas normalizadas que nos indican que material presenta más pérdida de elementos magnéticos, como se puede ver en la tabla al final de este capítulo.

También se recurrió a la deferración la cual nos permite, determinar los óxidos secundarios producto de la alteración.

Análisis**petrográfico:**

Muestra 1, Cajete Azteca III, pulido, negro sobre naranja; se trata de un fragmento del cuerpo, en la parte interna del mismo presenta decoración de tres líneas. Presenta un núcleo



Fig 16 Muestra 1

oscuro, con una mayor cantidad de poros esféricos. La parte interna presenta pocos poros, la externa tiende a un color naranja y disminuye la cantidad de poros. En la parte interna presenta líneas en espiral y otras que enmarcan la base de la pieza. Se pueden apreciar partículas ($\approx 0.5\text{mm}$) blancas en la pasta.

Megascópicamente la muestra exhibe color pardo rojizo sin colorear. En su parte interna presenta ralladuras en forma de V hasta de 2 mm de profundidad en dos direcciones casi perpendiculares.

Se le pueden diferenciar 3 zonas que de la parte externa de la vasija a la interna (rayada) se caracterizan por:

1.- zona de color pardo rojizo de 1 mm de espesor de grano muy fino con burbujas de aire muy pequeñas.

2.- Zona central de color pardo oscuro con abundantes burbujas la mayoría comprimidas en el sentido horizontal y de hasta 3 mm. de longitud. grano fino; su espesor es de 3 mm. (Fig. 16)

3.- Zona externa con ralladuras de color semejante a la externa con burbujas más pequeñas en su base que desaparecen rápidamente hacia su cima. Su espesor es de alrededor de 3 mm.

Al microscopio estas zonas se caracterizan como sigue:

La zona externa e interna se caracterizan por material rico en granos tamaño limo fino embebido en material del tamaño de arcilla, éste último material se encuentra fuertemente limonitizado.

De manera general los componentes principales son plagioclasa, fragmentos de roca volcánica, mica (biotita) y anfíboles. Diseminada existe algo de hematita o bien rodeando a ferromagnesianos, que por su tamaño no se pudo identificar; algunos de ellos aparecen como masas oscuras con tintes rojizos en tamaños de limo.

La fracción arena esta representada principalmente por plagioclasas (± 1 mm, escasas) en tamaños de arena fina a muy fina. Son comunes las plagioclasas zonificadas denotando su procedencia volcánica. Otro de los elementos presentes en esta fracción son los fragmentos de roca volcánica. los cuales están parcialmente hematizados (roca intemperizada).

La muestra es un limo fino arcillosos con aproximadamente un 1 ó 2% de material arenoso.

Muestra # 2 Molcajete

Azteca III, negro sobre naranja

Material limo arenoso (arena fina)

Presenta tres capas inferior media

y externa. La intermedia es de

coloraciones rojizas por la

presencia de óxido de hierro. La

interna y externa son parduscas y

tienden a presentar una ligera

disminución en el tamaño de grano.

Los clastos son:

Fragmentos de roca volcánica o pedernal, feldespatos rotos

subangulares y angulares, anfíboles (tremolita-actinolita) con bordes

hematizados. No están presentes

en las capas externas e internas.

Existen otros ferromagnesianos

fuertemente alterados a hematita.

Muestra 3, Cajete

Chalco rojo brunido de paredes

convergentes. de silueta

compuesta. Brunido por ambas



Fig. 17. Muestra 2

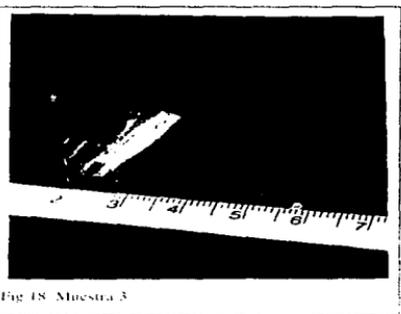


Fig. 18. Muestra 3

caras, en la externa presenta decoración zoomorfa, que consiste en un caracol seccionado transversalmente con líneas blancas que lo enmarcan. Con un núcleo de color negro; así mismo, tiene pocos poros en el núcleo (aproximadamente 3 por cm^2), pero son nulos en las superficies externas, presenta partículas muy pequeñas (0.2 mm) de color blanco en el núcleo.

Se pueden diferenciar 5 zonas, que son descritas desde la parte exterior a la interior de la manera siguiente:

Las dos primeras muy delgadas (< 1 mm.) de color rojo sangre (hematita) de superficie externa muy lisa y uniforme. Su superficie interna es irregular y puede ser una pasta de grano muy fino que se impregnó en ambas caras de la vasija. Cuando la pasta llega a penetrar cerca de granos gruesos estos quedaron embebidos en ella (solo un feldespato se observó en esta situación).

Le siguen dos capas de 1 a 1.3 mm. de espesor con bordes (externos e internos) irregulares de color amarillento, impartido por la matriz arcillosa en la que flotan clastos de feldespato y ferromagnesianos del tamaño de limos. Diseminada en ella hay algo de hematita.

La capa central (3 a 2 mm. de espesor) es de color gris oscuro moteado o laminado. El color es impartido por un material isotrópico, que con luz reflejada exhibe color negro que pudiera corresponder a materia orgánica.

Muestra 4,

Tecomate Texcoco bruñido.

también presenta tres capas bien diferenciadas, se pueden observar partículas de mica a través del engobe, la porosidad es más alta (15 poros por cm^2) aunque su diámetro es menor (0.1 a 0.8 mm). Estos poros en las

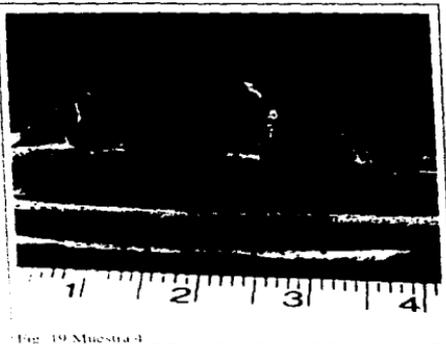


Fig. 19 Muestra 4

superficies externas disminuyen su cantidad y tamaño, los poros mayores se concentran en el núcleo. En donde se pueden observar, además, los puntos blancos. Su textura es más fina. Muy posiblemente esto se deba a la técnica de manufactura de la pieza.

Semejante a la muestra 3 (en las capas), se observa que el paso de la capa central negra es transicional hacia los exteriores. El material negro que forma la matriz pasa a material gris verdoso en la transición y a un verde amarillento oscuro hacia las capas intermedias. Las capas externas son delgadas con textura fina y uniforme y la superficie interna es irregular. Esta última se debe a la presencia de una superficie burda y ligeramente porosa.

El material negro podría corresponder a materia orgánica, que con el calor del cocido se oxidó y se modificó.

En una de las caras externas después de la capa delgada roja, se observaron remanentes de sedimento muy fino, posiblemente vidrio volcánico, que pudo haber rodeado a la vasija cuando estuvo sepultada.

Los clastos identificados corresponden a fragmentos de roca volcánica subangulares, en tamaños de arena media a fina; feldespatos (principalmente andesina) rotos y angulares. Ambos son el constituyente principal de la fracción limo y solo en raras ocasiones se les observó como partículas del tamaño arena. En esta misma fracción se observaron escasos anfíboles.

En la zona negra es común encontrar fragmentos de roca. En las otras capas no se les observó, en su lugar se observaron huecos del tamaño de arena. Esto puede ser un efecto de laminado como respuesta a una mayor dureza de la capa negra y una menor dureza de las capas intermedias que permitieron la pérdida de dichos clastos en el momento de elaborar la lámina.

Muestra 5,
Tecomate Texcoco
bruñido, alisado al interior
y bruñido en la parte

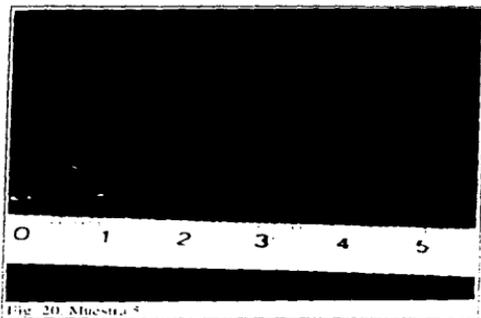


Fig. 30. Muestra 5.

superior externa, en tanto que pulido en la inferior. Presenta la tres capas mencionadas, las dos capas exteriores de color café separadas por un núcleo gris no continuo. La cantidad de poros es menor pero de mayor tamaño (2 y 1 mm cada cm^2), además de presentar una coloración

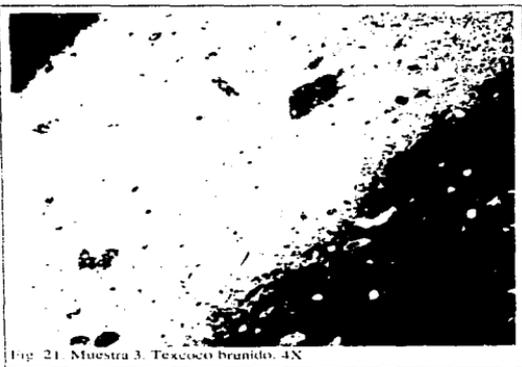


Fig. 21. Muestra 3. Texcoco bruñido. 4X

verdusca que no formaba parte de la cerámica sino más bien se debe a procesos de alteración, como pudiera ser la reducción de hierro. Tiene partículas fácilmente identificables. Esta característica de la porosidad se puede deber a que el pulido es menos vigoroso que el bruñido, lo que permite la formación de poros más grandes.

En la sección delgada (Fig 21), se logra distinguir una banda central oscura y dos laterales de color pardo.

Al microscopio, se observaron restos de engobe hacia la parte convexa (interna) de la vasija. Esta capa es de grano ligeramente más grueso que las de las muestras anteriores. Esta pobremente preservado, presentando fracturamiento en diversos sitios.

La banda negra central visible al microscopio corresponde a material del tamaño de arcilla de color verde oscuro que paulatinamente cambia hacia el exterior a un color pardo rojizo.

Muestra 6,

Argamasa proveniente de la estructura del Templo Mayor en su etapa VI, en el cual se pueden observar fragmentos de tezontle negro y rojo de diferentes tamaños. El carbonato de calcio no está totalmente homogeneizado



Fig. 22. Muestra 6

con la arena pues se observan fragmentos de este material (de hasta 8 mm) sin mezclarse, lo cual al preparar la lámina se pierde fácilmente.

Dicha muestra está compuesta casi en su totalidad por fragmentos de roca. Entre ellos se diferencian fragmentos de roca volcánica porfírica de aspecto fresco

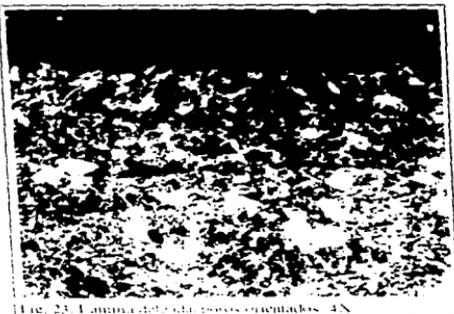


Fig. 23. Lámina del tezontle porfirítico orientados. 4X

(grandes cristales en una matriz más fina) con borde de intemperismo previo; fragmentos de roca sedimentaria de naturaleza limo arenosa; fragmentos de roca volcánica extremadamente intemperizada de grano fino, fragmentos vitreos pumiciticos. Todo en una pasta de feldspatos, ferromagnesianos, minerales arcillosos no identificables y algo de calcita.

En conclusion se pudo observar las implicaciones de la técnica de manufactura que se reflejan al observar la lámina delgada, así, los poros tienden a ser alargados por efecto de la presión al realizar el bruñido (ya que es más intensa esta acción que la realizada para el pulido).

Del mismo modo se pudieron constatar las posteriores oxidaciones en los materiales cerámicos después de su cocción. (Fig. 24)

Es posible concluir *a priori* que la



Fig 24. Muestra 1. Halo de oxidación. 10X

conservación de la cerámica está en función de la manufactura de la misma. La cerámica con engobe por ambas caras de la pieza impide la oxidación de la

pasta cerámica durante su cocción, por lo cual presenta un núcleo grisáceo o negro (muestras 3, 4 y 5). Se debe aclarar que el material empleado es más arcilloso, no así en las muestras 1 y 2, sin embargo, en éstas se presenta una fuerte oxidación durante su cocción. Y como no presenta una capa de engobe que lo proteja se pueden observar halos de una oxidación posterior a su manufactura debido a que se localizaba en una capa en donde se alternaban condiciones de inundación y sequía.

Aunque la mineralogía de las pastas es igual (Tabla 3) las muestras 1 y 2 presentan partículas de mayor tamaño y poros por donde se introdujo el oxígeno durante su cocción.

Se puede establecer los procesos de alteración de la cerámica en los sitios estudiados. Estos procesos se presentan de la siguiente manera:

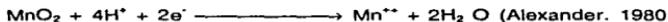
1.- Alteración por el uso. Así pues las sales al disolverse en los líquidos que



Fig 25. Muestra 1. Tamaño de granos 4X

contenían alteraron el acabado de superficie de las piezas con engobe. Se da una sustitución de sales (de calcio o sodio) por el óxido de hierro de la hematita presente en las caras de la cerámica.

2.- Por otra parte las condiciones de pH alteran los compuestos de la decoración como es el caso del óxido de manganeso que se utilizó para la decoración negra este compuesto se forma en condiciones de un pH ácido al cambiarlo a uno alcalino se vuelve inestable por sus diferentes estados de oxidación y se precipita fácilmente. Por ejemplo, en el caso de la decoración "al negativo".



410)

De manera general bajo condiciones de reducción los óxidos tienden a reducirse por acción de los microorganismos, que ocupan los electrones de estos compuestos para su metabolismo, con lo que cambia su radio atómico y por ende fisuran la matriz en donde se localizan.



402)

Por otra parte, las sales de calcio se disuelven al estar el material cerámico en condiciones de inundación por lo que este proceso da algunos efectos interesante como puede ser el caso de la decoración conocida como "blanco fugaz" (Fig 26).

Lo que nos indican los valores obtenidos en los análisis de deferración y paleomagnetismo es que en las muestras 1 y 2 el intemperismo

de la cerámica es mayor por carecer de la capa de engobe que restringe la entrada de compuestos al interior de la cerámica y regula la cantidad de humedad en la misma.

Por su parte, el material constructivo se ve sometido a intemperismo y resíntesis de carbonatos, los cuales se pueden ver a través de la lámina delgada, por lo que aumenta la



Fig 26. "Blanco fugar"

cementación del material. Al estar mezcados los carbonatos con tezontle se obtiene una buena cohesión y una baja densidad por lo que las construcciones hechas así no ejerce una presión muy alta en el "subsuelo" de la ciudad.

XI.-Aplicación de las técnicas edáficas en la investigación arqueológica

Las aplicaciones de las técnicas edáficas mencionadas en el texto dependerán de los objetivos de cada investigación y de las condiciones en que se desarrollen. Hay técnicas específicas que podrían contribuir a la comprensión de algún proceso de interés arqueológico y sus implicaciones.

De manera general las posibles aplicaciones aquí expuestas y sirvan de como una primera aproximación para investigaciones posteriores que puedan mejorar y refutar lo aquí expuesto. Esto, como se menciona, solo es una primera aproximación de las utilidades que se pueden tener en arqueología.

A continuación se describen las principales técnicas empleadas en edafología y se citan algunas de sus posibles aplicaciones.

Color: El color se determina de manera común en las excavaciones, y se debe vincular con los procesos o materiales que lo originan. Como se menciona sus causas, en el anexo # 2 aquí se verán algunas de las implicaciones en las investigaciones arqueológicas, ya sea para el estudio del material, así como para determinar los problemas agrícolas, constructivos, etc, a los que se enfrentaron las sociedades allí presentes y como lo resolvieron en su vida diaria.

Una coloración blanca puede estar indicando la presencia de sales, que se puede confirmar con la determinación de iones intercambiables. Si se determina que su presencia no es de fechas recientes, puede indicar la productividad del área y como se pudo minimizar ese problema, así mismo, se puede reflejar en la conservación de las estructuras del lugar y de lo que en ellas se pueda localizar, como pueden ser los murales.

Una coloración oscura puede indicar la presencia de materia orgánica y está permite desarrollar un gran actividad microbiana, que combinada con la textura y la humedad, pueden afectar no solo los bienes muebles, sino los inmuebles también. Este aspecto se puede evaluar por medio de la técnica para determinar materia orgánica.

Coloraciones verde-azulosas indican condiciones de reducción lo que, generalmente, permite una buena conservación del material orgánico. Esto debería indicar al arqueólogo la posibilidad de implementar técnicas adecuadas para el manejo del material en esas condiciones, pues la actividad microbiana se ve reducida en estas circunstancias y cuando se extrae el material comienza nuevamente la oxidación del material lo cual coadyuvaría a su destrucción si no se tienen en cuenta cuestiones tan simples como esta.

En cambio, coloraciones rojizas indican una alta oxidación, lo que evitaría una buena conservación del material orgánico, o de aquellos altos contenidos de hierro.

El problema aún mayor, es que el material empleado para la restauración y conservación del material se aplica con mucha frecuencia sin tener en cuenta las condiciones a las que se vio sometido el material en el suelo, por lo que se podría por ejemplo, estar acelerando los procesos de destrucción al emplear soluciones ácidas en material que estuvo en condiciones alcalinas, o viceversa.

pH: Como se mencionó, todos los aspectos están correlacionados, por lo que es imposible mencionar un aspecto sin tocar los otros puntos, pues el suelo tiene una dinámica propia que integra todas sus características para dar una respuesta particular de ese suelo en determinadas condiciones. Este

valor proporciona mucha información pues, esta condición afecta o condiciona a otras características del suelo y del material contenido en él.

Una manera fácil de saber si hay sales en el suelo es la observación a simple vista de la acumulación de sales en las partes superficiales del terreno o en las construcciones, o incluso sobre el bien cultural.

Otros ejemplos:

Muchos de los colorantes usados en la época prehispánica, como pudieran ser los empleados en la decoración de la cerámica son minerales del suelo, carbonato de calcio, óxido de hierro y de manganeso son los más conocidos. Estos minerales se desarrollan en condiciones de pH específico, el carbonato en condiciones alcalinas y los otros dos en condiciones ácidas. Por lo que al estar en condiciones opuestas a las que le dieron origen se vuelven inestables y poco a poco se van desintegrando.

Así pues, los colores rojo y negro de la cerámica se comienzan a perder desde el contacto con el suelo (y agua) de la Ciudad de México. El negro, debido al óxido de manganeso es más inestable ya que este compuesto presenta varios estados de oxidación (por las valencias de manganeso), lo que provoca la pérdida de color de manera diferencial, pudiera ser que la llamada decoración al negativo sea debido a este proceso.

El color rojo se debe al óxido de hierro (hematita), compuesto más estable que el de manganeso, pero en condiciones de reducción, el hierro pasa de color rojo a pardo-verduzco debido, en gran parte, a la actividad microbiana. A esto se debe la presencia de coloraciones verdes y azules, en las capas de los perfiles ubicados en La Plaza Garibaldi. Aparte de que ocurren procesos de sustitución de un compuesto por otro, así ocurre con cerámica que contiene engobe. Este es desprendido por las sales que viajan de la parte interna de la vasija a la externa, depositándose en el lugar del engobe (óxido de hierro).

Se puede establecer que ocurre un intemperismo durante la vida útil de la pieza cerámica (por lo que es importante conocer la naturaleza del mismo).

Así mismo se ha mencionado la importancia del factor pH, para la conservación del material orgánico, dependiendo de la sal presente en el suelo se manifiestan diferentes mecanismos de conservación, así pues, una abundancia en sodio inhibe la actividad microbiana por lo que la mineralización de compuestos se detiene. También ocurre que cuando el calcio es más abundante no hay una gran inhibición, resultando en su acumulación en el material orgánico formando una película protectora. El mismo proceso puede ocurrir en el caso del sodio (dependiendo de su concentración), y el magnesio tiene también un carácter inhibitorio.

Al entrar en contacto con el suelo el material busca establecer un equilibrio con las nuevas condiciones ahí presentes, cuando se extrae se ve sometido a otras condiciones a las cuales debe adaptarse, llevándolo en la mayoría de los casos a su deterioro. Si a esto se le agregan métodos de limpieza, que quitan las sales superficiales, la descomposición se acelera. Si está en condiciones de anaerobiosis la sola extracción establece una fuerte condición de oxidación con su correspondiente deterioro.

La materia orgánica: La cuantificación de la materia orgánica presente en el suelo, sin importar su forma ni el tiempo que tiene depositada en el suelo, es un indicador indirecto de la fertilidad del suelo, pues, a partir de ella los organismos edáficos realizan su metabolismo. Como ya se vió el origen de esta materia es diverso, los factores medioambientales propician su

mineralización, ya sea primaria o secundaria, y la humificación del material. En condiciones naturales la humificación se realiza en el horizonte superficial del suelo, debido a la acumulación de la materia en esa parte y la presencia de oxígeno; pero también puede realizarse en horizontes subsuperficiales, siempre y cuando cuente con oxígeno y estén presentes microorganismos que realicen estos procesos.

En la arqueología, se ha estado utilizando la determinación de ciertos compuestos como pudieran ser las proteínas, lípidos, fosfatos (en su forma orgánica), sin considerar la vida promedio de estos compuestos en el suelo: Si estos no son acomplejados por el humus y las arcillas su vida es de meses a años (esto depende de las condiciones climáticas del área), pero, "acomplejados" su vida es muy larga (mayor de 10^3). Por lo que se deben utilizar técnicas adecuadas y conocer el alcance de los resultados así obtenidos.

Debemos considerar que cada compuesto orgánico tiene un periodo promedio en el suelo (Cuadro 3), con base en esto podemos implementar las estrategias a seguir para realizar los análisis que sean adecuados y nos permitan obtener información veraz.

Cuando se forma un quelato o se acompleja la materia orgánica su permanencia en el suelo es más larga pero, muchas veces no se puede determinar de que compuesto se trata ni su posible origen.

Sin embargo, es necesario enfrentarse a un problema que hay que solucionar antes de utilizar estas técnicas, y consiste en que es primordial conocer el suelo, como se comporta y que puede obtener de los posibles análisis.

La **Textura**, se infiere a partir de la cuantificación de las proporciones de arcilla, limo y arena en el suelo. Se determina a partir de la separación con base en el tamaño de las partículas minerales del suelo, pues de acuerdo al tamaño de la partícula presenta diferente comportamiento químico y físico. Con respecto a la partícula de arcilla por ser las más pequeñas (menos de 0.002 mm), la superficie específica es mucho mayor por lo que es más activa en el aspecto fisicoquímico y biológico, y por consiguiente es la que participa más en todos los procesos edáficos. El limo y arena son menos activos por su mayor tamaño.

Las arcillas retienen la humedad de acuerdo a su composición, como ya se vio con anterioridad, lo que permite los procesos de oxidación, cuando hay oxígeno, y de reducción, cuando la humedad es demasiada y carece de oxígeno. Bajo estas condiciones la afectación es distinta. Aparte del proceso de expansión-contracción de algunas arcillas (esmeclitas), que afecta a estructuras, como los basamentos piramidales, de igual manera provoca rupturas del material depositado en el suelo por poseer un diferente coeficiente de dilatación y contracción.

Durante el trabajo de restauración y conservación de las estructuras, por lo general se recurre a consolidar su parte externa, olvidándose de la dinámica propia del montículo de suelo.

Desde un punto de vista particular, para la restauración y consolidación de estas estructuras sería conveniente conocer la estratigrafía de la misma, desde el punto de vista granulométrico o textural, pues se podría determinar la técnica constructiva lo que a su vez permitirá hacer la consolidación integral de la estructura.

Con respecto a la forma de la estructura se plantea una posible hipótesis de convivir con el medio físico, ya que en las zonas tropicales o de

fuerte precipitación de Mesoamérica las estructuras tienden a ser más altas que anchas y en las zonas templadas son más bien bajas y anchas. Si partimos de que la parte útil, desde el punto de vista ceremonial, es la superior, que en condiciones de fuerte precipitación constituye la entrada del agua más importante a la estructura, se comprende que esto incrementaría la inestabilidad dados los procesos de contracción-dilatación. Desarrollando como una estrategia reducir esta área, pero elevando su nivel para de alguna manera mantener su importancia en las ceremonias. Sus inclinados taludes evitan en lo posible la filtración del agua hacia el interior de la estructura.

En condiciones templadas este fenómeno se ve reducido, por la menor precipitación, por lo que la parte superior es más amplia, lo que permite, al igual que sus prolongados taludes, la entrada de agua, que le den cohesión a sus estructuras, manteniendo al montículo de suelo aglutinado e interactuando con las rocas que lo recubren.

Con el paso del tiempo la mayoría de las estructuras han sufrido el deterioro realizado por el hombre y el medioambiente, muchas de ellas han visto que parte de su recubrimiento de rocas ha sido utilizado para construcciones posteriores, lo que ha permitido el paso continuo del agua hacia el centro del montículo, desarrollándose el proceso de expansión-contracción, que aumentan a su vez la rapidez de deterioro.

De igual manera el conocer cual fue la técnica constructiva del montículo, permitirá un mejor manejo durante la restauración y consolidación, pues un simple apisonado constituye una barrera al paso del agua. Considerando que el montículo no se formó a partir de una simple acumulación (natural o cultural) sino de una depositación ordenada y con apisonamientos a intervalos regulares; conociendo estos patrones se pueden realizar mejores trabajos de restauración y consolidación.

Cuando se plantea desarrollar un proyecto de restauración y consolidación por parte de alguna institución, no se plantea el conocer como se formó el montículo, sino solo mantener la parte externa del mismo de una manera que consideren adecuada para los recorridos turísticos. Se recubre con las rocas que le dan el acabado a la estructura y como éstas se desprenden fácilmente se utiliza mortero y en ocasiones concreto armado (Como en el Tajín Nuevo). Esto en vez de resolver el problema lo incrementa pues se introducen nuevos elementos que tienen coeficientes de dilatación y contracción diferentes. Es como si tratásemos de mantener una barra de mantequilla en una malla metálica en un día soleado, al inicio se mantiene dentro de la malla, pero, termina por salirse a través de los espacios dejados por esta.

Así mismo, la actividad biológica se ve incrementada, pues los microorganismos se fijan a la periferia de las partículas de materia orgánica y a las arcillas, de ellas obtienen nutrimentos y anclaje y a su vez aceleran el intemperismo de los materiales, ya sean orgánicos e inorgánicos.

La **densidad**, que es el resultado de la relación peso/volumen, tiene su aplicación en el movimiento que tiene el material en el suelo (asociada con la textura). Mientras un suelo sea más poroso el material depositado en él puede moverse o mantenerse en ese lugar. En el suelo de la Ciudad de México, el material arqueológico puede moverse hacia abajo, lo que nos llevaría a pensar que es un material más antiguo, lo que no es necesariamente cierto, ya que fenómenos como el de contracción-dilatación permiten el transporte del material, o en una condición de plasma (como lo es el suelo aquí estudiado) el material más denso tiende a bajar y no solo se trata de elementos muebles sino también inmuebles, es decir estructuras, por lo cual podría

explicarse el afloramiento de estructuras prehispánicas (el proceso conocido como "bufamiento").

De igual manera esta técnica permite determinar la porosidad lo que nos indica la facilidad que tiene el aire para circular entre las partículas sólidas, si hay oxígeno se desarrollan ciertas clases de organismos que a través de sus mecanismos metabólicos intemperizan al suelo y lo que contiene. De igual manera la condición de anáobiosis permite el desarrollo de otras clases de microorganismos que desencadenan otras formas de intemperismo, en la Ciudad de México se debe al elevado nivel freático.

La **Capacidad de intercambio catiónico total** hace referencia al contenido de cationes en la solución del suelo. Sirve de índice en referencia a los iones intercambiables.

A través de la determinación de los cationes intercambiables en la solución del suelo, se detecta cual es la sal que contribuye en el pH. El sodio, potasio, calcio y magnesio son las sales que comúnmente se asocian a este fenómeno, se pueden considerar carbonatos y bicarbonatos.

Como ya se mencionó, la predominancia de uno de estos iones permite la mejor conservación del material orgánico: el calcio, en cantidades elevadas (como es el caso aquí mencionado) inhibe la actividad biológica y constituye una capa externa que protege al material de una mineralización total. El sodio actúa de manera parecida, pero, por sus características propias deshidrata el material por lo que se requiere otra técnica de limpieza del material para evitar su fraccionamiento. El potasio y magnesio no participan mucho en este proceso, pero, también inhiben la actividad biológica cuando su concentración es elevada.

Finalmente el **contenido de humedad**, el cual reporta Mazari (1991) de hasta 500 % en el subsuelo de la Ciudad de México. En los muestreos realizados se pudo observar el elevado nivel freático que fluctúa de 1 hasta los 3 m en el primer perfil 5.60 m en los de La Plaza Garibaldi. En éstos últimos los procesos de reducción afectaban al material arqueológico; esto puede ayudar a conservar la materia orgánica, no obstante, con la introducción de drenaje esta condición va desapareciendo poco a poco lo que activará procesos de oxidación que continuarán con el intemperismo del material.

CONCLUSIONES:

1.- En los perfiles estudiados la secuencia estratigráfica evidencia la presencia de capas lacustres. Esto se observa principalmente en los perfiles 2, 3 y 4, los cuales se ubican en La Plaza Garibaldi (Fig. 11).

2.- Las cantidades de cationes intercambiables en las capas se ven fuertemente alteradas por el continuo aporte de carbonato de calcio, por medio del material constructivo, lo que modifica las condiciones del suelo.

3.- Se puede observar que a pesar de estar cubierta la superficie de el "suelo" continua un aporte constante de las sales que el agua arrastra de las laderas circundantes por lo que los niveles de ellas en general son altos.

4.- En las capas estudiadas donde se presenta alguna cantidad de oxígeno (perfil 1, capas oxidantes) se hacen evidentes tanto en los minerales de las capas como en la cerámica cuatro reacciones químicas fundamentales: Hidrólisis, oxidación, hidratación y disolución.

5.- En las capas que carecen de oxígeno (perfiles 2, 3 y 4, capas reductomórficas) las reacciones químicas que se presentan son: La alcalinización, reducción, deshidratación y precipitación.

6.- La alcalinización en las capas estudiadas se caracteriza por la acumulación de Na^+ en los sitios de intercambio de las arcillas presentes.

7.- En todos los perfiles los análisis realizados para las capas muestran una acumulación significativa de sales. Sus porcentajes dependen

directamente de su índice de solubilidad. Esto explica la presencia muy significativa de carbonatos, cloruros y sulfatos principalmente de potasio, calcio, magnesio y sodio. Los sulfatos y los cloruros son las sales predominantes.

8.- Las capas se caracterizan por presentar altos contenidos de vidrio volcánico muy alterado, este vidrio también forma parte de la cerámica estudiada y como en el caso anterior se observa una devitrificación y una desilización. Los contenidos de sílice en el suelo (ppm) son indicativos de la presencia de sílice amorfo que se altera en un régimen de temperatura isotérmico con un promedio de 25 a 30 ° C (Escala de Hudgaman).

Material arqueológico. Para este material se puede concluir que:

9.- La presencia dominante de películas de carbonato de calcio y magnesio depositadas sobre las paredes de la cerámica se debe a que ambos elementos en las condiciones del "subsuelo" precipitaron antes que el sodio y esto es posible debido a que el carbonato de sodio es significativamente más soluble que los carbonatos de calcio o magnesio.

10.- La precipitación de calcio o magnesio en la cerámica en forma de carbonatos, probablemente se produjo durante fases de desecación del "subsuelo". Durante este fenómeno el sodio debió ligarse a los sitios de intercambio de las arcillas y de la materia orgánica presente en el "suelo" contextual.

La conservación y el grado de alteración de la cerámica están principalmente determinados por:

- 1.- La mineralogía del material cerámico.
- 2.- Las técnicas de manufacturas de las piezas cerámicas.
- 3.- El uso que se les dió y los productos que contenía.
- 4.- Las condiciones edáficas imperantes en el sitio en que se encuentran.

En este caso en particular se puede establecer que solamente en las muestras 1 y 2 (ambas son cerámica Azteca III pulido, negro sobre naranja, Fig. 27) se dió una oxidación secundaria o posterior a su cocción por encontrarse en las capas de oxido-reducción (capa 3 y 4, perfil 1).

Se pueden aplicar técnicas edáficas en la investigación arqueológica con buenos resultados, como ya se vio en el capítulo IX a este respecto.

Estas aplicaciones pueden ayudar a los arqueólogos a establecer desde condiciones ambientales hasta conductas sociales, y a los restauradores proponer estrategias adecuadas de restauración y conservación de construcciones y bienes muebles entre los cuales están la cerámica, textiles y restos óseos, entre otros.



Fig. 27. Oxidación secundaria

Por lo que indiscutiblemente es necesario que estos profesionistas recurran a investigadores del área de la ciencia del suelo para así llegar a propuestas interdisciplinarias con relación a problemas complejos.

BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilera H., N. 1989. Tratado de Edafología de México. Tomo I. UNAM. México, 222 p.
- Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. AGT Editor S.A. México, 491 p.
- Alvarado. T., H. 1994. Crónica Mexicana. Biblioteca del Estudiante Universitario. # 41. UNAM. México, 202 p.
- Alvarez de la Cadena, L; F. Franco; S. Escobar. 1967. Análisis Químico de Cerámicas Arqueológicas. Depto. de Prehistoria, INAH. México, 35 p.
- Anton B. G. 1973. Análisis por difracción de rayos X de cerámicas valencianas. Servicio de Investigación Prehistórica. Diputación Provincial de Valencia. Serie de trabajos varios; N 45. 25 p.
- Baver, L. y Gavander, W. R. 1980. Física del suelo. UTEHA. México. 529 p.
- Biek, L. 1982. Siluetas de suelos. *En* Ciencia en arqueología. F.C.E. México. 118-124 pp.
1993. Soil Color. SSSA Special Publication Number 31 Soil Science Society of America, Inc Madison, Wisconsin, USA. 158 p.
- Brothwell, D.R. 1987. Desenterrando huesos. La excavación, tratamiento y estudio de restos del esqueleto humano. F.C.E. 218p.
- Brothwell, D.R y Higgs (Editores) 1982 Ciencia en arqueología. F.C.E. México. 767 p.
- Cabrero G., M.T. 1980. Entre chinampas y bosques. IIA, Serie Antropología: 33 UNAM.
- Castro L., M. 1986. Tzintzuntzan capital de los tarascos. Comité Editorial del Gobierno de Michoacán. México, 246 p.
- Clavijero, F.J. 1987. Historia antigua de México. Col Sepan Cuantos. Ed. Porrúa. México.
- Coleman, D. C. 1984. Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems. NIFTAL. Honolulu, Hawaii, 249 p.
- Cottiere, A. F. 1987. La cerámica. Ed. R. Torres, Barcelona, España. 134 p.
- Cornwall, W. 1958. Soils for the archaeologist. Phoenix House. LTD London. 230 p.

- 1982 El suelo, la estratificación y el medio. *En* Ciencia en arqueología. F.C.E. México. 125-134 pp.
- Courty, M.A.; P. Goldberg; R. Macphail. 1989. Soils and micromorphology in archaeology. Cambridge Manuals in archaeology. Cambridge University Press. 344 p.
- Chalmers, A.F. 1982. ¿Qué es esa cosa llamada ciencia?. Ed. Siglo XXI. 128 p.
- De Paepé, P.; C. S. M. 1990. Resultados de un estudio petrológico de cerámicas del periodo Herrera, provenientes de la sabana de Bogota y sus implicaciones arqueológicas. *En* Rev. Museo del Oro. 20-35 pp.
- Del Llano M. 1955. La ciencia del suelo al servicio de la arqueología. *En* Boletín de Antropología, vol 1, N° 3. Universidad de Antioquia, Medellín. Colombia, 130-155 pp.
- Dell, R.M. 1965. Physics and Chemistry of ceramic surfaces. *In* Nature a weekly Journal of Science Vol 206.
- Domínguez, E. 1940. Elementos de previsión a corto plazo en la República Mexicana. Esc. Náutica, Veracruz, México. 54 p.
- Domínguez R. Y, Aguilera H. N. 1993. Metodología de análisis físicos y químicos de suelos. UNAM. Fac. Ciencias 34 p.
- Ellis, S and A. Mellor. 1995. Soil and environment. Routledge. London and New York.
- Elser, H. 1959 A deser thunderstorm strikes El Paso, Tex. *Weather-wise* (43) 115-116 pp.
- Fanning, D. S. y Fanning, M. C. B. 1989. Soil Morphology, Genesis and Classification: John Wiley and Sons, USA, 395 p.
- FAO-UNESCO, 1990, soil map of the world, revised legend: Roma, Food and Agriculture Organization of The United Nations, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, and International Soil Reference and Information Center, World Soil Resource Report 60 119 p.
- Frøestone, Y. C. 1982. Applications and potential of electron probe micro-analysis in technological and provenance investigations of ancient ceramics *In* Archaeometry 24 99-116 pp.
- Fitzpatrick E. A. 1990. Micromorfología de suelos. CECSA. México, 476 p.
- Flores G. J. D. (Ed) 1995, Coloquio Cantos de Mesoamérica, I. A. y F C. UNAM. México, 388 p.
- Forsythe, W. 1980. Física de suelos. I.I.C.A. Costa Rica.

- Franco B., M.L. 1990 Conservación del Templo Mayor de Tenochtitlan. Col. Divulgación. INAH. Proyecto Templo Mayor. México, 120 p.
- Fuentes A., L. 1971. Interpretación y análisis de suelos. *En* Boletín del Instituto de Geología. vol 4 UNAM. México, 107-116 pp.
- García, E. 1970. Carta d climas 14 Q-V. Esc. 1: 500 000. CETENAL. Inst. de Geografía, UNAM, México.
- García, H. M. y Olaetxea. 1992 Métodos y análisis para la caracterización de cerámicas arqueológicas, estado actual de la investigación en España. Archivo Español de Arqueología, 65. Dpto de Historia Antigua y Arqueología C.E.H., C.S.I.C. España, 263 p.
- Gavande, J. A. 1972. Física de suelos. Ed. Limusa, México. 351 p.
- Gerasimova, M.I. *et al* 1996. Soils of Russia and adjacent countries: geography and micromorphology. Editor Midema. Holanda, 204 p.
- Goffer, Z. 1983. Archaeological Chemistry. A sourcebook on the Application of Chemistry to Archaeology. John Wiley & Sons, USA 66p.
- Gong Zi-Tong. 1986. Origin, evolution and classification of paddy soils in China: Advances in Soil Science, Vol 5, 179-200 pp.
- González O., L. 1991. México Viejo. Alianza Editorial. México. 456 p.
- Handerson, J. (ed) 1989, Scientific analysis in archaeology and its interpretation. Los Angeles, California: UCLA, Institute of Archaeology. 98 p.
- Harris, E. C. 1975. The stratigraphic sequence: a question of time. *In* World Archaeology vol 7. 160-170 pp.
- 1977. Units of Archaeological stratification. Ed Bjørn Myhre vol. 10. 150 p
- 1987, Principles of Archaeological Stratigraphic. London: Academic, Studies in Archeological Sciencie. 355 p.
- Hastenrath, S. 1967. Rainfall distribution and regime in Central America *In* Arch. Meteor. Geolhys. Biokl. vol. 15 212-225 pp.
- Hill, J. 1969. Temperature variability and synoptic cold fronts in the winter climate of México. McGill Univ. Montreal. Climat. Series N 4 85-92 pp.
- Hodder, I. 1988. Interpretación en arqueología. Corrientes actuales, Ed. Crítica España. 230 p.
- Hole, F. R Heizer. 1983. Introducción a la arqueología prehistórica. F.C.E. México 174 p.

- Holliday, V. (Ed). 1992. Soils in archaeology. Landscape Evolution and human Occupation. Smithsonian Institution Press Washington and London. 253 p.
- 1992. Soil Formation, Time, and archaeology. *In* Soils in archaeology. Landscape Evolution and human Occupation. Smithsonian Institution Press Washington and London. 72-86 pp.
- Huang, P. M. y M. Schnitzer. 1986. Interactions of Soil. Minerals with Natural Organics and Microbes. SSSA Special Publication Number 17, Madison, Wisconsin. 2-34 pp.
- International Society of Soil Science, ISRIC; and FAO, 1994. World Reference Base for Soil Resources, Draft. Wagenigen/Roma, Compiled and edited by O. C. Spaaragaren 161 p.
- Jackson, M. L. 1964. Análisis químico de suelos. Omega, España. 17- 169 pp.
- Jáuregui O, E. s/f. Las zonas climáticas de la Ciudad de México. México, 58 p.
- 1959. Notas sobre la precipitación en Tacubaya para el periodo 1900-58. *En* Ing. Hidr. *En* México. vol. 13, México 29-36 pp.
- 1971. Mesomicroclima de la ciudad de México. Inst. de Geografía. Imprenta Universitaria, UNAM, México. 14-31 pp.
- Juárez B. E. y A. R. R. 1985. Mécanica de suelos. Tomo I Personal del laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos. 1985. Diagnóstico y Rehabilitación de suelos Salinos y Sódicos. Limusa, México.
- Kamilli, D.C. y Lamberg-Karlousky, C. C. 1979. Petrographic and electron microprobe analysis of ceramics form Tape Yahya Iran. *In* Archaeometry 21; 47-54 pp.
- Kosse, A. 1990. Diagnostic horizons in Anthrosols, *In*: Moscow, Soil Classification. Reports on the International Conference on Soil Classification, 12-16 pp.
- Krumm, W. R. 1954. On the causes of downdrafts from dry thunderstorms over the U.S. *In* Boll. Ame. Meteor. Soc. vol 35, 122-124 pp.
- Kumate, J. (Comp) 1991. Problemas de la Ciudad de México. El Colegio Nacional. México, 403 p.
- León-Portilla, M. 1976. México-Tenochtitlan: Metrópoli indígena. *In* México-Tenochtitlan 1325-1975 pasado, presente y futuro de una gran ciudad. Fomento Cultural Banamex. México. 159-180 pp.
- Litvak K, J. 1986. Todas las piedras tienen 2000 años. Ed Trillas, México. 186 p.

- López, E. 1922. Nueva nota sobre los nortes del Golfo. Talleres Gráficos de la Nación. México. 15 p.
- López L., L. 1993. Las ofrendas del Templo Mayor de Tenochtitlan. INAH, México. 210 p.
- Manzanilla, L; Barba, L. 1994. La arqueología: una visión científica del pasado del hombre. La ciencia desde México, # 123. FCE México, 106 p.
- Marquina, I. 1990. Arquitectura Prehispánica. INAH. México, 4-134 pp.
- Martin, A.M. 1991. Archaeological Sites-Soils and Climate. *In* Special Issue on Remote Sensing: Photogrammetric engineering Journal of the American Society of Photogrammetry. Vol. XXXVII. USA 205-216 pp.
- Matos. M., E. (coordinador). 1979. Trabajos arqueológicos en el centro de la Ciudad de México. (Antología). INAH. México, 342 p.
- Mazari M. 1991. El subsuelo de la Ciudad de México. *En* Problemas de la Ciudad de México, 15- 62 pp.
- McClung, E. 1984. Ecología y cultura en Mesoamérica. IIA Serie Antropológica: 30 UNAM. México, 110 p.
- Molina F.,D. 1980. Conservación y restauración de edificios arqueológicos, Cacaxtla y Yohualichan dos casos. Tesis. INAH. México, 210 p.
- Monjarás-Ruiz, J.; Limon E. (ed) 1992. Obras de Barlow, R.H. La extensión del imperio de los culhua mexicana. INAH-UDLA. México. 262 p.
- Mosioño, P., García, E. 1968. Evaluación de la sequía interestival en México. Esc. Nal. de Agricultura. Capingo, Serie 6 México. 15-26 pp.
- Motta, E. 1973. 1er. Seminario regional latinoamericano de conservación y restauración. Regiones tropicales problemas de conservación de bienes culturales. México. INAH. México, 132-143 pp.
- Munsell soil color charts. 1954. Munsell color Company, inc Baltimore, Maryland, USA.
- Nordstrom, D. K. 1982 Aqueous pyrite oxidation and the consequent formation of secondary iron minerals. 37-56 pp. *In* Acid Sulfate weathering. J. A. Kittrick, D. S. Fanning and L. R. Hossner (Eds) Soil Sci. Soc. Am, Spec. Pub. No. 10 Madison WI.
- Renfrew, C. y B. P. 1991, Archaeology: Theories, methods and practice. Thames and Hudson. New York. USA, 72-120 pp.
- Reyes, C. y J. García-Barcena. 1979. Estratigrafía en el área de la catedral *En* El recinto sagrado de México-Tenochtitlan. Excavaciones 1968-69 y 1975-76. INAH. Vega S. (Coord), México 10-25 pp.

- Reyes J., I. 1996 Fundamentos Teórico-prácticos de temas selectos de la ciencia del suelo. Parte I. UAM-I 180 p.
- Robinson, D. E. (ed), 1988, Experimentation and reconstruction in environmental archaeology: symposia of the Association for Environmental Archaeology No. 9 Roskilde, Denmark. 266 p.
- Rojas R., T. 1984. El tributo en la construcción de las obras públicas de México-Tenochtitlan. *En* El modo de producción tributaria en Mesoamérica. Mérida, Escuela de Ciencias Antropológicas. México, 36-45 pp.
- Sahagún, B. 1982. Historia general de las cosas de la Nueva España. Col. Sepan Cuantos Ed. Porrúa. México. 512 p.
- 1992. Suma Indiana. Biblioteca del Estudiante Universitario # 42. UNAM. México, 134 p.
- Sarmiento F., G. 1992. Las primeras sociedades jerárquicas. Col. Científica # 246. INAH. México, 135 p.
- Scott, D. A. 1991, Metallography and microstructure of ancient and historic metals Getty Museum, Singapore. 155 p.
- Schiffer, M. B. 1990. Contexto arqueológico y contexto sistémico. *En* Boletín de Antropología Americana. Diciembre de 1990, Instituto Panamericano de Geografía e Historia. México, 18-29.
- 1991. Los procesos de formación del registro arqueológico. *In* Boletín de Antropología Americana. Julio. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. México, 36- 52 pp.
- Schlichting, E. 1973. Pseudogleye and Gleye-Genese and Nutzung hydromorpher Böden. 1-6 pp *In* E. Schlichting and U. Schwertmann (Eds). Pseudogley and Gley. (Transactions of Commissions V and VI of the Int. Soc. Soil Sci.) Verlag Chemie, Weinheim, Was Germany.
- Schmid. 1982. Sedimentos en cuevas en los estudios prehistóricos. *En* Ciencia en arqueología. F.C.E. México. 152-168 pp.
- Schnitzer, M. y S. U. Khan (Ed). 1989. Soil organic matter. Developments in Soil Science 8. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York, 5-38 pp.
- Singer, M. J y Munns, D. N. 1992. Soils: An introduction. Maxwell Macmillan International editons. USA, 473 p.
- Skibo, J. M. 1992, Pottery function: a use alteration prespective. New York: Plenum (Interdisciplinary contributions to archaeology) USA, 205p.

- Stein, J: K: 1992. Organic Matter in archaeological Contexts. In Holliday, V. (Ed). 1992. Soils in archaeology. Landscape Evolution and human Occupation. Smithsonian Institution Press Washington and London, 87-105 pp.
- Torquemada, S. 1995. Monarquía Indiana. Biblioteca del Estudiante Universitario # 84. UNAM. México, 125 p.
- UNESCO, International Center for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property. Roma. 1968, The conservation of cultural property, with especial reference to tropical conditions. París: UNESCO, (Museums and Monuments 11). Francia, 341 p.
- Vallejo G., E., Gama C., J. E., Díaz, R. A. Y Dávila A., V. 1997. Génesis e interpretación de las capas del subsuelo de la Ciudad de México. en Congreso Internacional de Geología. Pachuca, Hidalgo. México.
- Vargas L. E. 1975. Breve visión de la Ciudad de México en la época virreinal. En México-Tenochtitlan 1325-1975 pasado, presente y futuro de una gran ciudad.150-169 pp..
- Vega S.; C. 1979. El recinto sagrado de México-Tenochtilan. Excavaciones 1968-69 y 1975-76. INAH. México
- Vega, S. y Reyes C. 1979. La cerámica: clasificación y cronología; análisis petrografico En El recinto sagrado de México-Tenochtilan. Excavaciones 1968-69 y 1975-76. INAH. México, 26-40 pp.
- Velde, B.1992, Introduction to clay minerals. Chapman & Hall, London. 198 p.
- Vepraskas, M. J. and J. Bouma. 1976 Model experiments on mottle formation simulating field condition. *Geoderma* 15 : 217-236 pp.
- Villalpando, G. J.L. 1993. La cerámica a través de la etnoarqueología en Huáncito, Michoacán. ENAH. Tesis. 185 p.
- Vita-Finzi, C. 1982. Geología fluvial. En Ciencia en arqueología. F.C.E. México.136-151 pp.
- Watson P.J. y Le Blanc, S.A. 1987. El método científico en arqueología. Alianza Editorial. España. 216 p.
- Wheeler M. 1978. Arqueología de campo. F.C.E. México, 270 p.
- Yáñez A. (Selección) 1993. Crónicas de La Conquista. Biblioteca del Estudiante Universitario # 2. UNAM. México, 167 p.

ANEXO I.- CONCEPTOS EDAFICOS

Los minerales del suelo

El silicio y el oxígeno son los elementos más abundantes en la tierra (47 y 27 % respectivamente). Estos elementos combinados con otros forman los minerales. Estos están en forma cristalina o amorfa. Si están en forma cristalina sus átomos están en un orden definido que se repiten extensamente en tres dimensiones. El sílice y el oxígeno en minerales silicatados cristalinos tienen un patrón definido, pero los amorfos o no cristalinos no.

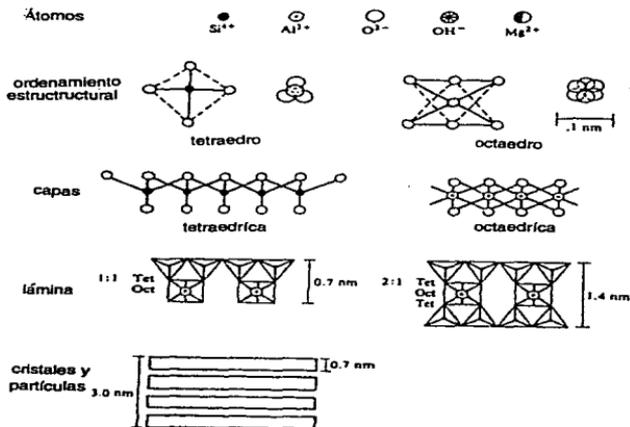


Figura 28 Ordenamiento atómico de la fracción mineral del suelo. (Singer, 1992: 23)

El ordenamiento atómico puede tener efectos interesantes en las propiedades de los minerales y en su estructura cristalina. Así mismo los minerales con diferente composición (combinaciones de elementos) tienen diferentes propiedades.

Los tipos de minerales tienen gran influencia en el suelo y en los tipos de nutrimentos que pueden utilizar las plantas.

Los minerales silicatados son los mayores constituyentes de las partículas del suelo

La parte sólida del suelo es en su mayor parte mineral y en menor cantidad orgánica, muchos de los suelos tienen 5 % de materia orgánica pero influye grandemente en las propiedades del suelo.

Humus

El término de sustancias húmicas es operacionalmente definido como una mezcla heterogénea de materiales orgánicos y se clasifican como ácidos húmicos, fúlvicos y huminas en base a su solubilidad en el agua como a una función del pH.

Uno de los mayores problemas que tiene es la carencia de una terminología clara, pues a veces el término de humus es utilizado como un sinónimo de materia orgánica en el suelo.

El término de materia orgánica del suelo generalmente ha sido utilizado como representativo de los constituyentes orgánicos, excluyendo los restos de plantas y animales, sus productos de descomposición parcial y la biomasa del suelo. Pero, incluye 1.- Moléculas de alto peso molecular, material orgánico como polisacáridos y proteínas, 2.- Sustancias simples como azúcares, aminoácidos y otras moléculas pequeñas, y 3.- Las sustancias húmicas, estas son las que constituyen la materia orgánica del suelo.

Las sustancias no húmicas son todos aquellos materiales que pueden ubicarse en una de las categorías de compuestos discretos como pueden ser los polisacáridos, azúcares, proteínas y aminoácidos, ácidos orgánicos simples. Como parte de las sustancias húmicas, están compuestos no identificables.

El término de sustancia húmica es frecuentemente aplicado a cualquier otro material orgánico de naturaleza no específica, es la fracción más estable de la materia orgánica del suelo.

El humus es un coloide del suelo, proviene de la descomposición de la materia orgánica y da al suelo colores pardos a negro, algunos de los productos de esta descomposición son solubles en agua, otros no. Algunos de

los productos de la descomposición de la materia orgánica se combinan con ciertas arcillas formando compuestos de gran peso molecular que se descomponen lentamente. El humus es un coloide orgánico estable y aglutina las partículas minerales para formar agregados.

El humus tiene dos propiedades en común con las arcillas: su alta capacidad de intercambio y su elevada superficie específica, por lo cual es muy activo en el suelo. El humus es un producto que se sintetiza por organismos y un producto de la descomposición de otros compuestos orgánicos, está en un estado dinámico, sin embargo el humus depende del balance entre la adición de materia orgánica y la rapidez de descomposición.

La glucosa es un azúcar simple que constituye en gran parte a la celulosa, esta es el mayor constituyente de la planta y a su vez es un abundante alimento para los microorganismos que crean el humus. Las hemicelulosas son el segundo constituyente (en peso) de la planta y que junto con la lignina forman los principales componentes. Los compuestos de lignina constituyen en mayor parte al humus.

El color y la consistencia son otras dos propiedades que están relacionadas con el contenido de materia orgánica y de la mineralogía del suelo y son consideradas para la descripción del suelo.

No todos los minerales dan colores oscuros. Cuando los suelos tienen humus y óxidos de hierro dan coloraciones negras o pardas, los óxidos e hidróxidos de hierro colores rojos o amarillos. Los carbonatos de calcio y magnesio dan coloraciones blancas. La consistencia es una medida de la cohesión, adhesión y la resistencia a la deformación y ruptura.

La estructura mineral, las reacciones de intercambio y otras características de los suelos dependen en lo fundamental de las propiedades de los átomos, los cuales están constituidos por cargas positivas (protones),

neutras (neutrones) y cargas negativas (electrones). Si el número de protones y electrones es igual, el átomo no tiene carga neta, la carga se adquiere por la pérdida o ganancia de electrones. Un exceso de electrones produce una carga negativa y un déficit una carga positiva.

El agua:

El agua en el suelo es común e importante, puede estar en sus tres fases sólido, líquido y gaseoso, pero las más comunes son las fases líquida y gaseosa. La molécula de agua es asimétrica, posee un átomo de oxígeno en un extremo y dos de hidrógeno en el otro, unidos al del oxígeno por un enlace covalente; es una molécula eléctricamente neutra, sin embargo la distribución de los átomos de hidrógeno no es uniforme en la molécula, la parte donde está el oxígeno es más negativa y donde se localizan los de hidrógeno es más positiva, por lo que es una molécula polar.

La polaridad es importante para el agua y los suelos. En las moléculas de agua los átomos de hidrógeno atraen a otras moléculas de agua por su extremo donde se localiza el oxígeno, a esto se le conoce como puente de hidrógeno. La polaridad y los puentes de hidrógeno dan como resultado la cohesión, la atracción de una molécula de agua a otra, la adhesión es la atracción de las moléculas de agua a las fases sólidas, los puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua produce la tensión superficial. Cationes tales como Na, Ca, Mg y K son comunes en la solución del suelo y en las interfaces de intercambio de arcillas y humus. Ellos atraen al oxígeno de la molécula de agua, ésta atracción es la hidratación, el estado normal de los cationes en solución. El número de moléculas de agua que están asociadas a los cationes depende de la carga y tamaño del ion.

El agua en el suelo se conoce como la solución del suelo y no es pura, contiene solutos, incluyendo cationes y aniones, compuestos orgánicos e

inorgánicos y gases. Frecuentemente pequeñas partículas como las arcillas se encuentran en la solución. En dicha solución del suelo, predominan los siguientes cationes y aniones Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , HCO_3^- , H^+ , Na^+ , NH_4^+ , Mn^{2+} y Al^{3+} .

La composición de esta solución se ve afectada no solamente por la vegetación que sustenta el suelo y por los minerales del mismo, sino también por el clima general y la estación del año. En clima húmedo frío como los estados del noreste de Estados Unidos donde la solución del suelo se remueve por precipitación, en climas cálido húmedos la actividad microbiológica influye en la composición de la solución del suelo, en el trópico húmedo se recicla constantemente por las elevadas temperaturas y humedad.

Muchas interacciones que ocurren entre la fase sólida y la líquida se da en la interfaces sólida. Una es el intercambio de iones, otra es la disolución de la sólida en la fase líquida, la precipitación, el puente covalente, el puente de hidrógeno y la interface de quelación.

El intercambio catiónico. Las partículas de arcilla y la materia orgánica tienen interfaces de cambio, la sustitución isomórfica y la ruptura en los bordes y los pocos H^+ en las arcillas forman grupos ácidos en la materia orgánica y deja arcilla y materia orgánica con carga neta negativa, es decir tienen electrones extra en su estructura atómica.

En el suelo existe la llamada capacidad de intercambio catiónico que se debe a la existencia de cargas positivas neutralizadas por cargas negativas, los iones pueden tener una, dos, tres y hasta cuatro cargas y un ion Al^{3+} puede remplazar a tres K^+ , así mismo el aluminio puede neutralizar tres electrones de las arcillas.

Cuando son los aniones los reemplazados por otros aniones se habla de intercambio aniónico y esto ocurre cuando los aniones son atraídos

por los sitios cargados positivamente en las arcillas o en la materia orgánica. Este intercambio esta asociado a hidróxidos de Fe, Al y Mn, junto con grupos octaédricos de arcillas silicatadas y no silicatadas. El grupo OH acepta hidrogeniones en ambientes ácidos, cuando esto sucede los minerales transmiten carga neta positiva (pH-dependiente) y pueden participar en las reacciones de intercambio.

La carga dependiente del pH es esencial en la capacidad de intercambio de la materia orgánica, pero, esta obtiene más cargas de la disociación de grupos carboxilos.

En disolución los iones que están en la interface de un sólido se disocian del sólido en la solución. Esta es una parte esencial del intemperismo en el suelo, los iones de los sólidos tienen una fuerte tendencia a disolverse en el agua, un ion es más estable si esta en una disolución infinita en la fase de disolución. Pero, generalmente la solución del suelo no se diluye, los iones se combinan para crear nuevos compuestos, algunos se conservan en dilución y otros se precipitan. Lo opuesto a la dilución es la precipitación, los compuestos se precipitan si la concentración excede a la solubilidad de los compuestos. La solubilidad está determinada por múltiples factores que incluyen, el tamaño de la partícula, la temperatura, a la concentración de cationes y aniones en solución, al pH. La solubilidad varía mucho por la química y cristalografía del mineral, por ejemplo la sal común NaCl es muy soluble mientras que el cuarzo, feldespato, mica, etc. son menos solubles.

Vida en el suelo

Los suelos contienen vida, compuesta por una gran población de raíces, microorganismos y animales que intervienen en un número amplio de procesos esenciales: consumen y degradan materia orgánica formando humus y permitiendo el reciclaje de los nutrimentos. Los organismos del suelo son de diversos tamaños y clases, algunos son muy grandes como pueden ser las raíces de los árboles que pueden alcanzar varios metros de longitud, pero, los microorganismos solo llegan a medir un micrómetro de longitud. Los microorganismos son muy numerosos, tanto, que llegan a representar varias toneladas de biomasa de microorganismos por hectárea de tierra, ello favorece el movimiento del agua, la materia orgánica, minerales, etc. en el suelo.

Los diversos organismos en el suelo incluyen a las raíces de las plantas y múltiples animales, las raíces exploran el suelo entre rocas y agregados, muchos de los microorganismos aprovechan las excreciones de las raíces, al igual que descomponen los restos de pequeños mamíferos y reptiles que viven en el suelo al igual que los de los insectos, más numerosos, al igual que los nemátodos.

Los organismos más numerosos son los microbios, ya sean eucariotes o procariotes; entre los primeros se encuentran los hongos, protozoarios y algas. Entre los procariotes están las bacterias que son más pequeñas, pero, fisiológicamente más diversas.

Los microorganismos proliferan rápidamente bajo condiciones favorables, muchas especies de bacterias pueden duplicar su población en dos o tres horas. Las bacterias típicas del suelo no solo aumentan su población rápidamente, sino, se adaptan a las condiciones fluctuantes del suelo, esto ocurre por el reemplazamiento de unas poblaciones por otras adaptadas a las

nuevas condiciones, el suelo puede ser estéril por las condiciones de contaminación.

Raras veces las condiciones del suelo son favorables para la proliferación de los microorganismos, el frío, calor, sequía, carencia de nutrimentos, van unidos a los cambios de estaciones a lo largo del año. Muchos de estos organismos tienen mecanismos para adaptarse o aislarse del medio ambiente hostil y volver a su actividad cuando estas condiciones cambian.

Estos organismos necesitan condiciones físicas y nutricionales favorables, entre las primeras están la aireación, la temperatura, la humedad, etc. Entre las nutricionales esta la utilización de diferentes fuentes de energía y los elementos esenciales. Los microorganismos necesitan ciertos compuestos bioquímicos que no pueden hacerlos ellos mismos, tienen además diferentes fuentes de las que pueden obtener energía:

Cuadro 2. FUENTES DE ENERGÍA QUE PUEDEN UTILIZAR LOS MICROORGANISMOS. (Singer, 1992 : 147)

Organismo	Alimento	Origen de la energía
Eucariotes mayores		
animales	sólido orgánico	oxidación orgánica
plantas	CO ₂ + iones	luz
Eucariotes menores		
protozoarios	orgánico sólido y disuelto	oxidación orgánica
algas	CO ₂ + iones	luz
hongos	orgánico disuelto	oxidación orgánica
Procariotes (Bacterias)		
fototrófico	CO ₂ + iones	luz
litotrófico	CO ₂ + iones	oxidación inorgánica
heterótrofos	orgánico disuelto	oxidación orgánica

Cuadro 3

PROCESOS DE OXIDACIÓN QUE APORTAN ENERGÍA A LOS MICROORGANISMOS. (Singer, 1992: 148)

Reactivo	Oxidante	Productos	Organismos/condiciones
azúcar*	oxígeno	CO ₂	muchos/ aeróbica
azúcar*	NO ₃	CO ₂ , N ₂ , N ₂ O	desnitrificantes/poco O ₂
azúcar*	sulfato	CO ₂ , S	reductores de S/poco O ₂
azúcar*	orgánico	CO ₂ , ac. org.	fermentadores anaeróbica /poco O ₂
NH ₄ ⁺ NO ₂ ⁻	oxígeno	NO ₂ ⁻ NO ₃ ⁻	nitrificantes/aeróbica
S	oxígeno	SO ₄ ²⁻	oxidantes de S/aeróbica
Fe ²⁺	oxígeno	Fe ³⁺	Bacterias de Fe/aeróbica

* y otros compuestos orgánicos.

Los organismos heterótrofos obtienen la energía que requieren por medio de reacciones que involucran sustratos orgánicos, muchos de estos son azúcares, de los cuales se obtiene la energía a través de la respiración o la fermentación. Durante la respiración los sustratos orgánicos son oxidados por medio de agentes oxidantes inorgánicos tales como el oxígeno y a veces el nitrato o sulfato. En la fermentación, el oxígeno es escaso por lo cual se recurre a otros agentes oxidantes como alcoholes y ácidos orgánicos. Entre estos organismos se encuentran los hongos, animales y muchas bacterias. el sistema reticular de las plantas funciona heterotróficamente, aunque la planta es autótrofa.(Cuadro 3).

Los organismos autótrofos no requieren sustratos orgánicos para obtener la energía requerida, ellos obtienen su energía de la luz (fotosíntesis) por medio de reacciones oxidantes de sustancias inorgánicas. Muchos asimilan

el carbón por medio del dióxido de carbono del aire o del agua. En estos organismos se incluyen la plantas verdes, inicialmente todas las algas, las bacterias azul-verde y otros ciertos tipos de bacterias.

Los autótrofos y heterótrofos dependen unos de otros y el ciclo de los elementos nutrimentales depende de ambos grupos. Los primeros sintetizan el material orgánico y los segundos la destruyen, permitiendo el reciclaje de los elementos nutrimentales. El ecosistema del suelo presenta un gran círculo de reciclaje, donde las plantas tienen el papel más importante en los autótrofos, y las bacterias y hongos son los más activos en los heterótrofos.

Muchas clases de animales viven en el suelo, algunos son visitantes y otros residentes permanentes, algunos en madrigueras, otros en los canales ya existentes, otros ocupan el espacio poroso, otros son acuáticos y viven en la fase líquida. Algunos son visibles y otros más pequeños, incluso microscópicos, algunos comen comida viva, como plantas y otros animales, y otros materia muerta.

Usualmente los animales son muy pequeños: nemátodos, arácnidos, moluscos, muchas especies de artrópodos. Todos los animales son heterótrofos, altamente aeróbicos y muy móviles. Su actividad se restringen a las primeras capas del suelo donde el oxígeno, estructura y la alimentación es favorable.

Los protozoarios y algas son organismos unicelulares que habitan en la fase acuática, no son fotosintéticos, las algas realizan la fotosíntesis, algunas plantas y bacterias azul-verde usan la clorofila y el agua para obtener el oxígeno.

Los hongos son abundantes y activos en suelos normalmente aireados, estos son heterótrofos. El grupo de las levaduras, que son

unicelulares y algunas veces anaeróbicas, difiere de otros hongos, como los mohos que son aeróbicos estrictos, de desarrollo filamentosos (hifa).

DEFINICIÓN DEL pH.

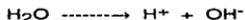
La reacción del suelo es el concepto que se refiere a las relaciones de acidez y basicidad del mismo, se trata de una propiedad que influye tanto en sus características químicas como físicas, además de tener considerable impacto sobre la vida microbiana de este medio.

La reacción del suelo es una de las propiedades que dependen de la actividad de iones de hidrógeno (H^+) en la solución en equilibrio con el suelo. El término actividad se refiere a la concentración realmente activa de una especie química en una solución (en este caso, el H^+) y solo en el caso de soluciones muy diluidas es igual a la cantidad o concentración total de la misma especie en la solución. La concentración se expresa en moles por unidad de volumen. Para simplificar, en la práctica se considera como actividad de iones hidrógeno a su concentración total.

La concentración de iones hidrógeno usualmente se expresa como pH, que es una expresión matemática que tiene por finalidad evitar el uso de exponentes o de cantidades de muchos ceros:

$$pH = -\log H^+$$

Esto es, pH es el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno. Aparte en el agua pura, la concentración es muy pequeña: 10^{-7} moles l^{-1} (0.000001 moles l^{-1}) y es igual a la de los iones hidróxilo (OH^-), ya que la disociación de una molécula de agua genera uno de cada uno de estos iones:



y por lo tanto, para el agua pura:

$$pH = -\log 10^{-7} = 7.$$

Una solución se forma cuando en el agua se encuentran otros productos íntimamente mezclados y su presencia puede ocasionar que las concentraciones de H^+ y de OH^- varíen; si la proporción de H^+ es mayor que la de OH^- , se tienen valores de pH menores a 7 y se dice que la solución es ácida. Por el contrario, cuando la proporción de OH^- es mayor que la de H^+ se tiene valores mayores a 7, la solución es alcalina.

Se denomina suelo ácido a todo aquel que tiene pH inferior a 7; en la práctica, sin embargo, se considera ácido al que tiene un pH inferior a 6.8 ó 6.5. Existen varias clasificaciones de la reacción del suelo en la que los nombres y los límites de las clases han sido adoptados de acuerdo a conveniencias y de manera arbitraria.

FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ACIDEZ DEL SUELO:

La acidez del suelo es el resultado de seis causas principales, algunas naturales y otras inducidas por el hombre.

1.-El *material parental* del suelo es el material originado del cual se formó dicho suelo. Cuando los procesos del intemperismo actúan sobre el material parental, disuelven parte de este material, formando soluciones cuya composición dependerá de la composición original. Los materiales parentales se clasifican en ácidos o básicos de acuerdo a su proporción Al (Ca+Mg+K) por que esta proporción determinará la carga de cationes ácidos o básicos que afectarán el sistema integrado por el suelo.

2.-Se denomina **lixiviación de bases** al proceso que se presenta en muchas zonas del planeta donde la cantidad de agua que cae como precipitación (lluvia), es mayor que la que el suelo puede retener en su espacio poroso y la que se pierde en la atmósfera por evaporación natural o transpiración por las plantas. Esto trae como consecuencia que el agua se

percole hacia los estratos más profundos del suelo provocando la lixiviación o lavado de sales solubles. Estas sales son parte de los minerales más solubles o se encuentran adsorbidas al complejo de intercambio del suelo. Los elementos que se pierden con mayor facilidad son el sodio, el potasio, el calcio y el magnesio, mientras que el aluminio y el hidrógeno no son desplazados tan fácilmente de este proceso, el suelo se va haciendo de ligera a moderadamente ácido.

3.-Otra causa de la acidificación es la **remoción de bases por los cultivos**. Entendemos por bases a los cationes alcalinos (K y Na) y los alcalinotérreos (Ca y Mg) que se encuentran en el suelo. Estos cationes (excepto el Na) están entre los elementos esenciales para la nutrición de las plantas.

4.-Otra forma en que se induce la acidificación del suelo se relaciona con la **aplicación de fertilizantes**; especialmente de ciertos fertilizantes nitrogenados. A su vez, esta forma de acidificación está íntimamente relacionada con un proceso importante en la transformación del ion amonio (NH_4^+), que en forma natural proviene de la descomposición de la materia orgánica, en forma del ion nitrato (NO_3^-). Esta transformación se lleva a cabo por medio de la acción de ciertos microorganismos del suelo. Se trata de un proceso de oxidación que genera acidez. Cuando se aplican fertilizantes que contienen o que producen amonio al ser aplicados al suelo, el amonio sufre también el proceso de nitrificación.

Bajo condiciones normales, el proceso de nitrificación del amonio proveniente de la composición de la materia orgánica es el principal responsable en la acidificación de muchos suelos forestales.

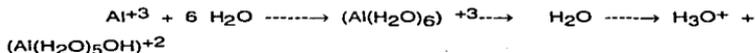
5.-Otro factor de relativa importancia para la acidificación del suelo es la generación de acidez por las raíces de diferentes plantas cuando se nutren con NH_4 como fuente de nitrógeno, o como en el caso de las leguminosas cuya fuente de nitrógeno puede ser N_2 atmosférico y en ambas situaciones las plantas excretan iones H^+ para balancear la asimilación del cation NH_4^+ . El último factor que también tiene relación con actividades humanas es la lluvia ácida, ya que diferentes actividades humanas generan gases de azufre y de nitrógeno que al combinarse con el agua de la atmósfera producen ácido nítrico generado de 0.5 a 4 Kg. del ion hidrógeno por hectárea anualmente.

6.-Hay que recordar que todos los iones de hidrógeno situados alrededor de una partícula de arcilla ácida no ocupan una posición equidistante de la superficie de la partícula. Algunos de ellos se mueven dentro de un volumen de oscilación que les permite alejarse a una distancia considerable y mezclarse así, con otros iones existentes en la solución del suelo. Estos iones hidrógeno constituyen lo que se conoce como acidez activa (acidez que se determina al medir el pH), cuya concentración es denominada factor de intensidad. Por el contrario, los iones hidrógeno que permanecen en su estado intercambiable (no ionizado), constituyen la acidez de reserva o potencial. Tanto la acidez activa como la potencial deben tenerse en cuenta al considerar la acidez total del suelo.

Fuentes de ácidos en el suelo

La acidez del suelo está determinada por la composición del mismo y por las reacciones de intercambio de iones y de hidrólisis que presentan los

componentes inorgánicos y orgánicos existentes. Los componentes inorgánicos que deben ser considerados aquí son los minerales de arcilla cristalinos, los óxidos e hidróxidos, el alofán y otros compuestos amorfos y los ácidos solubles en suelos. Además del ion hidrógeno (H^+), el ion aluminio (Al^{+3}) es el primer factor de acidez del suelo en referencia a la nutrición vegetal. Esto se debe principalmente a que el aluminio participa en reacciones de hidrólisis que genera iones hidrogeniones, además a que es muy abundante en el suelo y a que es un elemento tóxico para las plantas. La hidrólisis es un fenómeno que ocurre con cationes de carga eléctrica grande y con un tamaño pequeño del ion, el ion aluminio es relativamente pequeño, y presenta carga eléctrica de +3 y en solución acuosa se encuentra rodeado por seis moléculas de agua mediante la atracción del cation aluminio (positivo) con un polo de cada molécula de agua (negativo). Esta fuerza de atracción suele ser tan grande que provoca la ruptura de los enlaces O-H del agua, resultando en la formación de iones hidrónico.



En resumen, se puede ver que mediante este proceso, las tres cargas positivas del ion aluminio generan un ion hidrógeno y un ion $(Al(H_2O)_5OH)^{+2}$, con solo dos cargas positivas y con la posibilidad de que con el mismo proceso se liberan hasta dos H_3O^+ más. Así, podemos considerar que el Al^{+3} es un generador de H^+ (H_3O^+) y por lo tanto se le cuenta como parte de la acidez del suelo. Otro elemento que también se somete al fenómeno de hidrólisis por sus características de carga/tamaño es el hierro, con su ion Fe^{+3} .

La importancia de los minerales de arcilla en cuanto a determinaciones de la acidez de los suelos, es muy importante ya que, a un pH

dado, el porcentaje de saturación de bases varía con los tipos de suelo y esto depende de los minerales de la arcilla laminar que es la fuente principal de la capacidad de intercambio catiónico y por lo tanto de la acidez, ya que los grupos SiOH son ácidos tan débiles que en el ámbito de un pH común en suelos, no producen cantidades del H^+ apreciables. Generalmente todos los suelos tienen óxidos de Al o Fe (III), estos con frecuencia cubren las arcillas y son adsorbidos sobre ellas, debido a su carga neta positiva, reduciendo su capacidad de cambio.

Los alófanos son fuente de capacidad de cambio de los suelos de cenizas volcánicas recientes, pero también contribuyen al complejo de cambio de muchos otros suelos, estos alófanos tienen una alta capacidad de cambio, la que depende de su carga variable.

Los ácidos solubles en suelos también pueden influir su acidez, aunque su efecto es de corta duración. La nitrificación de los abonos de N añadidos al suelo da por resultado la formación de ácido nítrico, lo que puede producir el pH a valores menores que cuatro y contribuir a generar pérdidas apreciables de calcio y magnesio y las reacciones causan acidificación en los alrededores del sitio donde se pone el abono, que aunque su efecto sólo dura algunas semanas, en este tiempo puede disolver aluminio, Hierro y manganeso de los minerales del suelo.

La materia orgánica del suelo, contiene cantidades significativas de grupos carboxílicos y fenólicos que participan en reacciones de intercambio catiónico. Se ha calculado que en suelos, la capacidad de cambio catiónico de la materia orgánica es de 60 a 280 $cmol(+) Kg.^{-1}$. Parte de esta capacidad de cambio está ocupada por el aluminio que forma uniones muy estables, lo que resulta que en muchos suelos ácidos, con altos contenidos de aluminio, la materia orgánica contribuye poco a la capacidad de cambio y también, a que

actúe como ácido más débil, sobre todo cuando el contenido de este elemento es muy alto.

Fuentes de alcalinidad en el suelo

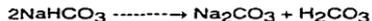
En las regiones áridas, donde hay poca lluvia y temperaturas elevadas, existe siempre una tendencia a la acumulación de sales solubles cerca de la superficie. Durante la temporada de lluvias, dichas sales pueden moverse hacia abajo hasta alcanzar las capas inferiores del suelo, aunque después de la estación de lluvias, la evaporación intensa las regresa de nuevo a la superficie. Las aguas subterráneas de las regiones áridas contienen, generalmente, cantidades considerables de sales solubles. Si el nivel del agua es alto, cantidades de agua se mueven hasta la superficie por acción capilar y se evaporan, dejando una acumulación cada vez mayor de sales solubles. Este proceso de acumulación, impregna al suelo de importantes cantidades de sales, donde solo podrán desarrollarse cultivos resistentes a ellas.

Los principales factores por los que estas sales se acumulan en el suelo son:

1.-Intemperismo de minerales. La fuente original de todas las sales, son minerales y rocas que las liberan durante el proceso intempérico. El CO₂, atmosférico o biológico, juega un papel importante en este proceso, al formar con el agua, ácido carbónico que ataca a los minerales:



Como se asume que el proceso se esta llevando a cabo en regiones áridas, el bicarbonato formado se acumula en el suelo, e incluso puede concentrarse, pasando a carbonato:



Se consideran suelos salinos a los que contienen grandes cantidades de sales solubles, más solubles que en sulfato de calcio. Las sales más comunes son el Na, Ca y Mg, con cloratos, sulfatos y bicarbonatos. Un criterio aceptado para medir la salinidad es la conductividad eléctrica (CE), medida en la pasta de saturación o en el extracto de suelo. Convencionalmente se considera salino a un suelo si su CE excede 4 deciSimens/m⁻¹.

Los suelos sódicos contienen una proporción significativa de Na en su capacidad de cationes intercambiables (10 % o más). No todos los suelos salinos son sódicos, existen una gran cantidad de sales de Ca y Mg, pero, todos los sódicos son salinos. Para determinar la sodicidad es el porcentaje de sodio intercambiable; el valor crítico es variable (5 - 15 %).

Los suelos sódicos y alcalinos son usualmente alcalinos, hay excepciones que incluyen suelos ácidos en donde la oxidación de sulfuros producen ácido sulfúrico. El pH se encuentra generalmente cerca de un valor de 8.5 y con precipitado de carbonato de calcio.

La salinidad inhibe la emergencia y desarrollo de las plantas, estos efectos dependen del clima, agua del suelo, composición de sal, tipo de plantas y el estado de desarrollo de las plantas.

Las plantas resistentes que acumulan sales son llamadas halófilas, como la palma datilera, jojoba, etc. Sin embargo las plantas alimenticias generalmente no son tolerantes a las sales.

El sodio es tóxico en ciertas plantas, especialmente si las concentraciones de calcio son bajas, la concentración de sales influyen en la estructura del suelo. Si existen coloides en el suelo (arcilla y humus), son dispersados en partículas individuales hidratadas, es decir son desflocculadas. Una elevada concentración de sales permiten la cohesión entre las partículas de arcilla neutralizando su repulsión entre ellas.

El álcali negro se refiere a suelos sódicos no salinos. El álcali blanco se refiere a suelos salinos. El álcali blanco se observa en forma de depósitos blancos de sales en la superficie del suelo; su alta salinidad floclula al humus y lo inmoviliza. Por lo contrario el álcali negro dispersa el humus e inmoviliza el agua.

Un pH elevado (cerca de 9) puede afectar a las plantas, pero son más importante las deficiencias de nutrimentos y toxicidad inducido por un pH elevado. El calcio es inmovilizado a un pH elevado promoviendo la formación de carbonatos y el carbonato se precipita con calcio como CaCO_3 . Al igual que en los micronutrimentos, como el Zn, Fe, Mn, Cu y toxicidad de B.

Capacidad de intercambio catiónico

Se conoce con el nombre de intercambio ionico al proceso reversible por medio del cual cationes y aniones son intercambiados entre fases sólidas próximas una a otra. El término "intercambio de bases" se ha usado para designar el intercambio cationico; sin embargo, como ahora se sabe, también el hidrógeno es capaz de intervenir en el intercambio cationico en los suelos. Por tanto este proceso es más correctamente expresado por el término "Intercambio cationico", diferenciandolo al mismo tiempo del "intercambio anionico".

El suelo es un sistema heterogéneo, polidisperso, de componentes sólidos, líquidos y gaseosos y que se encuentran en proporciones variables. El componente sólido del suelo está constituido de minerales primarios, minerales arcillosos y óxidos hidratados junto con la materia orgánica y microorganismos, originando un sistema polifásico de partículas o agregados, más o menos discretos. En este sistema heterogéneo la solución del suelo actúa como medio para las reacciones químicas entre miembros de las diferentes fases, e

inclusive de una misma fase aún cuando las fases reaccionantes no estén en íntimo contacto. Entre los procesos físicos y químicos íntimamente relacionados con el intercambio iónico, se pueden mencionar los siguientes: intemperismo de minerales, absorción de nutrimentos por las plantas, percolación de electrolitos, etc. Por tanto, este intercambio iónico debe considerarse como uno de los procesos más importantes que toman lugar en el suelo.

De acuerdo con los resultados de numerosas investigaciones conducidas en suelos y arcillas, se sabe que la propiedad de intercambio iónico de un suelo se debe casi en su totalidad a la fracción arcillosa y a la materia orgánica, las cuales constituyen el material coloidal del suelo.

Las partículas del suelo presentan un carácter anfotérico tal y como lo demuestra el poder que tienen de retener cationes y aniones.

El origen de las cargas negativas

En general, las partículas del suelo poseen una carga negativa lo cual puede ser fácilmente demostrado por electrofóresis. El origen de esta carga puede atribuirse a dos factores: 1) sustitución isomórfica Ca^{2+} por Na^+ , Al^{3+} por Mg^{2+} . 2) ionización de los grupos hidroxilo unidos al silicio de los planos tetraédricos rotos; tal y como sucede en el ácido silícico.

Las cargas negativas originadas por la sustitución isomórfica se encuentran distribuidas más uniformemente en la lámina de las partículas coloidales, mientras que aquellas derivadas de la ionización de los hidroxilos se encuentran situados a los lados y en las esquinas de las partículas arcillosas. Aparte de estos dos métodos de formación, pueden así mismo, originarse cargas negativas a partir de los ácidos húmico (COOH , $-\text{OH}$), fosfórico y silícico, H_2SiO_3 .

El origen de las cargas positivas

Las cargas positivas pueden originarse a partir de los óxidos hidratados de hierro, aluminio, manganeso y, de grupos octaédricos expuestos, los cuales reaccionan como bases aceptando protones de la solución del suelo circundante, adquiriendo consecuentemente, cargas eléctricas positivas.

La carga eléctrica negativa aumenta y la positiva disminuye al elevar el pH como resultado de un aumento en la ionización de los grupos ácidos, y una disminución en la adición de protones a los grupos básicos. El cambio será opuesto si el pH disminuye. En general, la carga negativa de la partícula arcillosa excede considerablemente la carga positiva, dando por resultado una carga negativa tal y como se demuestra por fenómenos electrocinéticos.

La carga eléctrica localizada sobre las partículas coloidales del suelo es neutralizada por una cantidad equivalente de iones con carga opuesta, y a los cuales, se les ha dado el nombre de intercambiable y que se encuentran retenidos a la superficie por medio de fuerzas electrostáticas. En los suelos, los cationes intercambiables más comúnmente encontrados son: Ca, Mg, H, K, Na y amonio. El Ca por regla general es el más abundante, la cantidad de los otros varía de suelo a suelo. En los suelos muy ácidos el ion Al puede constituir una gran parte de los iones intercambiables, y su concentración aumenta conforme el pH del suelo disminuye. En suelos alcalinos el contenido de Na es excepcionalmente alto.

Los aniones intercambiables más comunes son: sulfatos, cloruros, nitratos, fosfatos mono y dibásicos, bicarbonatos y aniones de los ácidos húmicos. Estrictamente no todos estos aniones funcionan como intercambiables sino que únicamente están presentes en la solución del suelo. La capacidad de los suelos para adsorber e intercambiar iones varía considerablemente con el contenido de arcilla, materia orgánica y composición

mineralógica. La capacidad de intercambio cationico (C7), es definida como: La cantidad de especies cationicas unidas a la superficie a un pH de 7.0. Esta capacidad varía ligeramente con la afinidad de adsorción del ion y aumenta con el contenido de los materiales arcillosos y orgánicos.

Nutrición vegetal

Al humedecerse un suelo, ya sea por lluvia o irrigación, se diluye dando por resultado una adsorción mayor de cationes divalentes y la liberación equivalente de cationes monovalentes.

Se desconoce hasta qué punto y en qué dirección, las variaciones del contenido de humedad de un suelo, afectan la adsorción de cationes mono y divalentes por las raíces de las plantas. Es posible que dependa de la relación de la capacidad de intercambio de las raíces del suelo.

En nutrición vegetal es de gran importancia saber hasta qué punto la asimilabilidad de los nutrimentos del suelo es influenciada por la concentración relativa y la naturaleza de los otros iones presentes en el sistema.

Debido a la mayor concentración en que se encuentra el ion Ca en el complejo intercambiable, es de mucha importancia el comportamiento de los iones que se encuentran en menor proporción. Teóricamente se ha establecido que la reemplazabilidad de un ion depende no sólo de la clase de éste, sino que también de los llamados iones complementarios.

El poder reemplazante esta dado por: 1) El material de intercambio, su contenido en varios minerales y materia orgánica; 2) La capacidad de intercambio y el grado de neutralización en relación a la concentración de la solución; 3) La naturaleza del ion por lo que se refiere a su valencia, tamaño en su estado hidratado, polarizabilidad y poder polarizante. Así, la afinidad de adsorción aumenta con la valencia, mientras menos hidratado esté el ion más

fuerte es su unión. Esto último está de acuerdo con la teoría que establece que el coeficiente de actividad de un ion es afectado por el radio del ion hidratado. Concentración de la solución, mientras menor sea la concentración de un ion, su poder reemplazante será mayor. El poder de reemplazamiento de iones polivalentes en relación a iones monovalentes, es mayor a concentraciones bajas de la solución que a concentraciones altas.

Intercambio aniónico

El intercambio anionico en los suelos y minerales arcillosos ha sido menos estudiado que el intercambio cationico, consecuentemente los conocimientos que de él se tienen son limitados. En la región de bajos pH, la lámina mineral es inestable, dando por resultado la disolución de Al, Fe, Mg, Mn, los cuales se encuentran retenidos parcialmente en forma intercambiable. Algunos aniones, fácilmente, dan origen a compuestos difícilmente solubles o complejos, al reaccionar con los cationes antes descritos, este hecho, hace que el estudio del intercambio anionico se complique. Aún más, ciertos aniones tienen la propiedad de ser fijados, esto acontece particularmente con el ion fosfato.

Adsorción negativa

El fenómeno de adsorción negativa sucederá a cualquier anion, arcilla y suelo que no tenga capacidad de adsorción del anion en cuestión y a un pH determinado; y es fácilmente explicado, asumiendo que la distribución de los iones es heterogénea en la capa doble difusa. Los factores que contribuyen a este fenómeno son principalmente, la superficie del mineral y la hidratación de los iones; esta adsorción negativa aumenta con la valencia del anión pero disminuye cuando la valencia del catión es de un orden superior.

La capacidad de retención de aniones, aumenta con la acidez. En la región neutra, aniones del tipo de los cloruros y nitratos, a diferencia de los fosfatos y arsenatos que son fuertemente retenidos tanto a pH altos como bajos, no son adsorbidos, o sí lo son, es en una forma muy tenue por la gran mayoría de los suelos.

Definición del color

Bajo el punto de vista físico, el color es una cualidad asociada al fenómeno conocido como radiación electromagnética, que se registra a partir de la vibración de campos eléctricos y magnéticos. Esta radiación tiene lugar en un amplio margen de longitud de onda, entendiendo como tales las distancias que hay entre dos puntos consecutivos de máxima o mínima vibración. sin embargo sólo un estrecho intervalo entre todas las longitudes de onda es perceptible para el ojo humano.

Cuando un cuerpo recibe radiación electromagnética cabe la posibilidad de que se registren dos tipos de fenómenos relacionados con la naturaleza del movimiento ondulatorio: la reflexión y la absorción. Si un objeto absorbe toda la banda del espectro de colores, se presenta ante la vista con color negro mientras que, si por el contrario, refleja todos los colores, aparece con tonalidad blanca.

Las diferentes sensaciones que la luz visible produce sobre el ojo humano son definidas como colores. La luz visible es una banda angosta del espectro formado por las longitudes de onda a las cuales nuestra retina es sensible. Se extiende en longitudes que van desde $7.8 \times 10^{-7} \text{m}$ hasta $3.8 \times 10^{-7} \text{m}$ y en frecuencias desde 4×10^{14} hasta 8×10^{14} .

La primera Ley de Grassman (1853) establece que el ojo humano normal solo percibe tres atributos de la luz que suelen denominarse brillo, saturación y matiz. En este sentido el color es definido en conjunto como el matiz, brillo y saturación.

El color del suelo

El color, una de las más conspicuas y elementales características del suelo, depende principalmente del tipo, cantidad y distribución de materia

orgánica y varias sustancias minerales, esencialmente compuestos de hierro. La materia orgánica proporciona colores negros, marrones o grises oscuros y a menudo enmascara los colores básicos del suelo mineral. Los compuestos de hierro varían de color según su estado de oxidación o hidratación. Por ejemplo dan colores rojizos, marrones o amarillentos cuando se oxidan, pero cuando se reducen a estado ferroso bajo condiciones anaerobias húmedas por acción microbiana o por reacción con productos solubles de la descomposición de plantas, dan colores grises, a veces, con un matiz azulado o azul verdoso. Los compuestos de manganeso dan principalmente colores negruzcos, y otras sustancias tales como el sílice, el yeso, la caolinita y los carbonatos de calcio y manganeso también contribuyen a las variaciones de color en los perfiles edáficos, tendiendo a dar colores pálidos o blanquecinos.

El color del suelo es una propiedad fácilmente determinada e informativa. Dicha propiedad afecta directamente la absorción de la radiación solar y es uno de los factores que determinan la temperatura del suelo. El color está directamente relacionado a muchas otras propiedades del suelo, puede dar información a cerca del drenaje del subsuelo y acerca del contenido de materia orgánica de los horizontes superficiales y para diferenciar los horizontes de un perfil.

Origen del color

El color del suelo puede ser herencia de su material parental; por ejemplo, los suelos rojos desarrollados a partir de la arenisca roja y que se conoce como litocrómicos. A menudo, el color del suelo es un resultado de procesos formativos del suelo y se denomina color adquirido o genético; por ejemplo, los suelos rojos desarrollados del gneis granítico o del esquisto.

Las variaciones en el color del suelo se deben, principalmente, al contenido de materia orgánica que, en general proporciona tintes negros o gris

oscuro; a los compuestos de hierro que causan los matices rojo, pardo y amarillo; el sílice, a la cal y a otras sales que producen colores claro, blanco y gris. El horizonte superficial del suelo es, por lo común, el más oscuro, principalmente a causa de la materia orgánica. El color rojo esta relacionado con óxidos férricos anhídros, mientras que el color amarillo indica cierto grado de hidratación. El color rojo es, en general, propio de los suelos bastante viejos e intemperizados intensamente, bien drenados, como los suelos lateríticos de los trópicos. El color pardo es el más común y se debe a una mezcla de la materia orgánica y óxidos de hierro. Algunos de los colores azulados y verdosos son debidos a la presencia de compuestos ferrosos, que se reducen en las condiciones de suelos drenados deficientemente como en los pantanos y en el fondo elevado del agua freática.

El origen más simple corresponde a la persistencia en el suelo de la coloración de la roca madre, estos suelos son llamados litocromos y en general son pobres en humus.

El color en los horizontes del suelo puede ser uniforme o estar moteado, manchado, veteado o matizado. El moteado generalmente se debe al mal drenaje; las manchas a la acumulación de cal, materia orgánica y al estado de oxidación del hierro; el veteado a infiltraciones de los coloides orgánicos y óxidos de hierro procedentes de las capas superiores; el matizado se debe a infiltraciones pero frecuentemente ocurre cuando el material esta completamente intemperizado. El color así, en general es expresión del clima. Este es un punto importante, recordando que la pigmentación orgánica no puede usarse siempre en forma satisfactoria como una medida comparativa de la cantidad de materia orgánica presente en los suelos.

Procesos de coloración:

Rubefacción.

Representa el conjunto de procesos que consisten en dar al suelo coloraciones netamente rojas, a veces muy intensas. Esta coloración ocurre frecuentemente en relación con la presencia de óxidos férricos no hidratados (hematita), pero también puede desarrollarse bajo la influencia de los hidróxidos férricos más o menos impregnados de óxido férrico, encontrando intensidades de coloraciones equivalentes en los suelos que contienen porcentajes de hierro variados. A menudo, los suelos muy rubificados son también menos ricos en hierro que otro de color mucho más claros. En este sentido, es de mayor influencia el estado del hierro, que su proporción en el color. Una coloración roja puede resultar de la concentración y de la acumulación de hematita procedente de la alteración de minerales ferríferos existentes en gran cantidad de la roca madre.

Bajo los climas tropicales la destrucción de la materia orgánica y la liberación del hierro acomplejado por el humus conduce a la aparición de este elemento en el perfil bajo forma de concreciones o al estado difuso y esta "individualización" del hierro causa la rubefacción del suelo. Finalmente en las regiones templadas-frías, el proceso de rubefacción corresponde a menudo a un proceso fósil.

Lutefacción.

Comprende el conjunto de procesos que contribuyen a dar al suelo un tinte amarillento, estos suelos se denominan con el término "ocre". El elemento que da esta coloración puede ser la goethita o la estilnopsiderita, o puede resultar simplemente de fenómenos de alteración por oxidación o

hidratación. También puede darse por una liberación del hierro complejo por el humus cuando éste está descomponiéndose. Por lo que el hierro, se vuelve a encontrar en estado de óxido hidratado, dando una tonalidad amarillenta. La superposición de los tintes negros o pardo debidos al humus, y amarillo debido a la limonita, produce coloraciones crudas más o menos oscuras que tienden a los tintes pardos.

Melanización.

Muchos especialistas opinan que este proceso es debido únicamente por la acumulación de la materia orgánica y a su penetración progresiva en el perfil que el humus colorea de negro. La presencia de carbonatos sódicos en los suelos alcalinos, da coloraciones negruzcas debido a la dispersión del humus.

Con frecuencia los suelos hidromorfos también son negruzcos. Esta tonalidad puede ser debida al contenido de humus y manganeso así como a los sulfuros de hierro, que se acumulan en los horizontes profundos y a menudo inundados.

Pardización.

Consiste esencialmente en la formación, en medios moderadamente ácidos o neutros, de complejos arcillo-humus-óxidos de hierro. El color es debido a la asociación del tinte negro del humus y del tinte rojo o anaranjado de los óxidos de hierro, igualmente se encuentran suelos "pardeados" entre los suelos calcifórmos. Como la presencia de calcio, por encima de cierto umbral anula el poder de complejación del humus con respecto al hierro, sin embargo, a veces se trata de una superposición o de una asociación de colores.

Jaspeado o moteado

Indica la oxidación y reducción alterna de las condiciones, principalmente a causa del nivel freático fluctuante.

Pérdida del color.

Los fenómenos de pérdida de color son muy importantes ya que son de diversa naturaleza, como por ejemplo el empobrecimiento del suelo en humus, lo cual es uno de los más frecuentes. El *levigado* es un proceso de decoloración que implica la eliminación del humus y del hierro. El horizonte A de los podzoles debe su color claro y lavado al hecho de que constituye un horizonte empobrecido por el *levigado*.

Elementos que proporcionan el color al suelo.

La frecuencia de coloraciones del suelo es producido por una superposición de procesos cromógenos que causan una asociación de coloraciones. Los tintes carne, anaranjado y crudos proceden de una mezcla de los compuestos trivalentes hematita, goethita y estinopsiderita, con elementos blanquecinos: caliza o arena silíceo.

Los colores claros son dados por:

- 1.- Sílice
- 2.- Caliza
- 3.- Yeso
- 4.- Arcillas desprovistas de impurezas.

Los colores negros son dados por:

- 1.- Humus: Cabe señalar que el desarrollo definitivo del pigmento negro en el humus varía con el clima. En los suelos de chernozem (tierra negra) que están en las regiones semiáridas del Norte, con la lluvia anual de unos 508 mm³, el pigmento es muy oscuro.

2.- Óxidos de manganeso

3.- Sulfuros.

Los colores rojos, beige, amarillo, anaranjado y pardos:

1.- Hematita (sesquióxidos de hierro). Cuando los productos de hidratación se desecan al variar las condiciones atmosféricas, puede ocurrir una deshidratación. Así, la limonita puede volver a transformarse en hematita, con un notable cambio de color. Las variaciones en el color del subsuelo en los estados sureños de E.U.A. son debido a una considerable extensión de esta reacción.

2.- Óxidos e hidróxidoférricos

3.- Óxidos e hidróxidos ferroso

4.-Complejo ferro-orgánicos de color negro, ferro-arcilla, humus color pardo.

5.-Complejos ferrosos y ferrosilicatos grisáceos y rojizos respectivamente.

Algunos minerales y la coloración que proporcionan (Aguilera, 1989: 18-24)

Mineral	Características
Braunita $MnO \cdot MnO_2$ (Mn_2O_3)	Color: negro; raya: pardo; cristales: sistema tetragonal; dureza: 6; peso específico: 4.7-5.0.
Calcita $CaCO_3$	Color: incoloro, blanco, con tintos gris, rojo, verde, azul, amarillo; raya: incoloro; cristales: sistema trigonal romboidal; crucero: tres direcciones; brillo: vítreo; dureza: 3; peso específico: 2.6-2.8; efervescencia al HCl.
Goethita $FeOOH(HFeO_2)$	Color: ocre, pardo; raya: pardo; cristales: sistema romboico; brillo: semimetálico; dureza: 4.5-5.5; peso específico: 3.3-4.3.
Hematita Fe_2O_3	Color: rojizo, café, gris metálico a negro; raya: rojo oscuro a café rojizo; cristales: sistema trigonal; dureza: 5-6; peso específico: 4.9-5.3.
Pirolusita MnO_2	Color: negro, gris plomo, pardo; cristales: sistema tetragonal; dureza: 5-6; peso específico: 4.7-5.0.

Apreciación del color sobre el terreno

En ocasiones es necesario describir diferencias sutiles de color. En los últimos años ello ha sido posible por la introducción de tablas de colores de gran calidad. Antes de su utilización, los nombres de los colores del suelo se

aplicaban de forma muy arbitraria y subjetiva, y era difícil que los edafólogos se pusieran de acuerdo e incluso aunque trabajasen en equipo. Si bien se realizaron varios intentos de estandarización y se propusieron numerosos esquemas, algunos de ellos con tablas de colores, ninguno de ellos alcanzó más allá de una aceptación local. En los últimos 25 años, sin embargo, las Tablas de Color del suelo de Munsell (Munsell Soil Color Charts) han llegado a utilizarse tan ampliamente que pueden considerarse ahora como un estándar internacional. Todavía no se utilizan en la antigua URSS, y Tyurin, Gerasimov, *et al* (1965) critican el uso de escalas de color. En particular piensan que la escala numerada es demasiado complicada y los colores muy artificiales, no equiparables a los colores naturales. Tablas de colores japonesas similares a las establecidas por Munsell se encuentran ya disponibles (Standard Soil Colour Charts, Japón 1967) pero, cuando se comparan con las Tablas de Munsell difieren suavemente en el color, especialmente en el tinte y por ello no es recomendable su uso, aunque a veces se emplean en lugar de las Munsell.

El color del suelo es usualmente medido por comparación con las tablas de color estándar. La colección de tablas de color utilizadas para los suelos es una versión modificada de la colección de tablas incluidas en el Libro de Colores Munsell (Munsell Book of Color).

Para distinguir entre diferentes colores se definen tres atributos básicos: la intensidad o luminosidad, el tono y la saturación.

La luminosidad guarda relación con la cantidad de luz que recibe el objeto observado. Puesto que el color no es más que el aspecto que se presenta frente a focos luminosos, depende de la intensidad de éstos.

El tono es la cualidad que permite diferenciar un color de otro, en física se identifica esta propiedad con la longitud de onda dominante del color.

La saturación delimita cuál es la proporción existente de un determinado color en su mezcla con la luz blanca. Tal atributo queda definido en proporción inversa a la cantidad de luz blanca contenida; es decir, a mayor cantidad de luz blanca menor saturación.

La notación Munsell identifica el color por tres variables: el matiz o *Hue*, el brillo o *value* y la saturación o *Chroma*.

El matiz es el color espectral dominante y puede ser amarillo, rojo, verde, o mezclas de colores puros, como amarillo-rojo (5YR). Cuando se incrementa la numeración el amarillo aumenta y disminuye la proporción.

El brillo y la saturación son términos que refieren a como el matiz es modificado por la adición de grises. El *value* es el grado de brillantez del matiz reflejado en la propiedad del color gris agregado al *Hue*.

El brillo particular (gris) es hecho por la mezcla de un pigmento puramente blanco (10) con un pigmento negro (0). Si la cantidad de blanco y negros son mezclados, el color es igual a 5.

La saturación es la cantidad de gris de un valor particular que es mezclado con el puro para obtener el color actual del suelo.

Importancia del color.

Aunque no tiene una importancia intrínseca, el color es frecuentemente un indicador muy útil de las cualidades del suelo y, cuando se considera en relación con otras propiedades edáficas, proporciona mucha información sobre el suelo. Debido a ello se emplea extensamente en la clasificación de suelos, en los niveles más elevados.

Puede observarse que el color es índice indirecto de muchas otras propiedades del suelo. Directamente, el color influye en la temperatura del mismo hasta cierto grado, los suelos oscuros absorben más calor que los de color claro.

El color del suelo cuando está mojado es, normalmente, más oscuro que cuando esta seco, los colores son más vivos y difieren con mayor intensidad en condiciones mojadas. El suelo rico en materiales coloidales es comparativamente más coloreado bajo condiciones húmedas.

ANEXO II.- ARQUEOLOGÍA

Se define a la arqueología como el estudio de la cultura de los grupos humanos, sus procesos de cambio a través del tiempo, su relación con el medio ambiente en que viven y con otros grupos, vecinos o lejanos, contemporáneos o no, inclusive con el mismo grupo en épocas distintas. La arqueología trabaja con una metodología apoyada principalmente en el examen sistemático de objetos materiales que son evidencia de la acción humana por sí mismos, y su asociación con otros materiales. (Litvak 1986: 32)

En la formación del registro arqueológico intervienen múltiples factores que pueden ser englobados en procesos naturales y culturales.

Los procesos de formación se definen como todos los eventos, actividades y procesos que afectan a los artefactos después de su uso inicial en un tipo particular de actividad y estos procesos pueden ser tanto culturales como naturales (Schiffer 1991: 40).

Los procesos culturales son los que, por decir así, aportan los materiales culturales (los que han sufrido modificaciones por el hombre de manera intencional, sea cual fuere el grado de modificación).

Los procesos culturales de formación del registro son principalmente de cuatro tipos, es decir, el reuso, el depósito cultural, la reclamación y la perturbación. El reuso ocurre dentro del contexto sistémico¹ e incluye actividades como el reciclaje y el uso secundario. Los procesos de depósito cultural, como el desecho, la pérdida accidental, la disposición de los muertos y el abandono de artefactos aún útiles, son responsables de la transformación de elementos de un contexto sistémico a uno arqueológico². Algunas clases específicas de disposición cultural resultan en basura primaria o desechos primarios, desechos secundarios y desecho de facto; la primera clase está constituida por artefactos que se desechan en el lugar donde se usan, los secundarios se refieren a los artefactos que se desechan en lugares diferentes al lugar original donde se utilizan, mientras que los desechos de facto son los artefactos todavía utilizables, que se abandonan cuando una área de actividad es abandonada.

¹ Schiffer, 1990.

² Schiffer, 1990.

La reclamación es lo contrario del proceso de depósito cultural, ya que los artefactos vuelven a entrar al contexto sistémico, desde el arqueológico; algunos ejemplos son la recolección de artefactos y el saqueo, así como la misma actividad de recuperación arqueológica. Por último los procesos de perturbación son los que operan en el contexto arqueológico e incluyen, a las labores agrícolas y otras actividades, que modifican la superficie terrestre (Schiffer 1991:40)

Complementándose con los procesos de alteración no culturales en que generalmente no interviene la actividad humana de manera directa o con esa intención.

Los procesos de formación no culturales pueden agruparse de acuerdo con la escala de sus efectos en tres grupos principales, o sea, el deterioro de artefactos, la alteración de sitios y los procesos regionales. El deterioro incluye la intervención entre artefactos individuales y el ambiente natural (en contextos sistémicos y arqueológicos); algunos ejemplos comunes son la descomposición de la materia orgánica y la corrosión de metales. Los procesos de alteración de sitios van desde la actividad de las lombrices hasta el daño debido a ciclos de congelación-descongelación, los procesos regionales, como el crecimiento de la vegetación y los aluviones, algunas veces provocan modificaciones drásticas que no solo alteran a los sitios sino que también afecta la habilidad del arqueólogo para detectarlos en el ambiente.

A pesar de que los procesos de formación se combinan de manera completa, para crear sitios arqueológicos determinados, cada proceso opera conforme leyes generales de la conducta humana o según procesos naturales. (Schiffer 1991: 40)

Pero, a pesar de que los procesos se rigen por leyes generales, se debe conocer las particularidades de cada sitio, cada tipo de material, así pues, aún cuando es posible interpolar un orden de suelo con un tipo de clima, topografía, etc., en muchos casos no puede verse cómo interactúan los factores formadores del suelo, los cuales se ven afectados por la actividad humana.

La identificación de los procesos de formación en los depósitos que pueden proporcionar evidencias para la inferencia, es el paso más importante en el proceso arqueológico. Cuando se "identifica" un proceso de formación usando leyes sobre sus efectos, se infiere que este proceso ocurrió.

En todas las inferencias debe tomarse en consideración la variabilidad que producen los procesos de formación en el registro arqueológico. (Schiffer 1991: 41)

A nivel mundial se han utilizado técnicas y conocimientos de la edafología o de otras ciencias de la tierra para sustentar principios fundamentales como puede ser la estratigrafía. En fechas más recientes se han utilizado para estudiar las marcas o huellas de los materiales depositados en el suelo (Biek 1982), Cornwall (1982) se interesa en la estratigrafía como la clave de la interpretación de una secuencia de hechos ocurridos hace mucho tiempo, Schmid (1982), da importancia al suelo para la investigación del período Cuaternario tardío. Así mismo con el avance en otras disciplinas del saber ha sido posible determinar compuestos químicos que datan de hace miles de años y que ven en la arqueología un campo en el cual pueden ser aplicados.

II.1- ARQUEOLOGÍA MEXICANA

En México, si bien, el avance no es tan acelerado se ha dado de manera más modesta por carecer de apoyo económico en primer lugar, pero, principalmente, en mi opinión, por la abundancia de material arqueológico, pues se trata de abarcar mucho aunque no se profundice como debiera.

En la investigación arqueológica se manejan diferentes perspectivas de como se debe realizar, (que desde luego no son el punto a tratar en este trabajo) en donde la aplicación de la edafología como una herramienta que puede ayudar a solucionar problemas bien claros, no es utilizada. Con esto no se dice que no sea utilizada la edafología , a casi todos los estudiantes de arqueología nos han dado una serie de pasos ha seguir antes y durante la excavación, como pudiera ser la determinación de la textura al tacto, el color y en ocasiones en algunos proyectos se ha contado con el apoyo de edafólogos para la descripción de los perfiles pero falta la conexión de las dos disciplinas, es decir lo que se puede o no hacer y en este caso que implica los datos obtenidos por el especialista y su posible uso por parte del arqueólogo.

II.3.- ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN EN MÉXICO

En México se han hecho varias investigaciones a este respecto, desde conocer en mayor profundidad el material arqueológico, cualquiera que sea su naturaleza, como puede ser la cerámica, la materia orgánica y otros compuestos, en especial la determinación de fosfatos. Siempre en lugares y proyectos con un buen presupuesto, no de manera generalizada. Con una deficiencia, las técnicas y metodologías se aplican aquí como fueron

desarrolladas para otras condiciones ambientales y con otra finalidad. Esto se abordara al final del presente trabajo.

II.4.- ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN EN MEXICO-TENOCHTITLAN.

Al ser la Ciudad de México el eje principal no solo de la economía del país, sino también de la investigación en casi todas sus disciplinas. No podía faltar una mayor atención en cuanto a la arqueología máxime si se toma en cuenta que aquí se desarrollo la cultura mexicana. El país cuenta con puntos muy importantes de investigación arqueológica: los mayas y los aztecas o mexicas. Gracias a la relevancia que se le ha dado a este punto como bastión de la Nación Mexicana y sin menos cabo a la importancia arqueológica del lugar, se han empleado en lo que fuera la ciudad de Tenochtitlan una gama de técnicas poco utilizadas en la mayoría del país.

Para no hacer interminable la lista de las investigaciones aquí efectuadas solo haremos un breve recuento, pidiendo perdón por las posibles omisiones, (involuntarias) en beneficio de ampliar en los puntos que nos interesan.

Ya desde el siglo pasado con el descubrimiento de dos grandes monolitos descritos por León y Gama, pasando por los trabajos de Batres en 1900, *Exploraciones en las calles de las Escalerillas*, Gamio en 1913, Emilio Cuevas, en 1933, además de hallazgos fortuitos hasta 1978 con el descubrimiento de una escultura de la diosa *Coyolxauhqui* da principio el Proyecto del Templo Mayor dirigido por Matos Moctezuma *El Templo Mayor: objetivos y programas*, 1979.

Aquí es donde se ha dado una mayor aplicación a técnicas que tienen que ver con la edafología y la arqueología de manera constante. Se han

hecho estudios de suelo, determinación de fosfatos, etc. En algunos de los casos obteniéndose resultados diferentes o totalmente opuestos, pero, se verán de manera particular en el capítulo de resultados.

Para nuestro propósito baste con mencionar que es en este sitio en donde se han realizado la mayor aplicación de técnicas en ayuda a la investigación arqueológica.

Anexo III.-Tablas de los análisis realizados en las muestras de suelos y cerámica.

Análisis en cerámica

1.- Determinación de óxidos de hierro libre (Jackson y Mehra):

Número de muestra molida	% de Fe_2O_3
1	0.27
2	0.078
5	0.039

muestras sin moler	% de Fe_2O_3
1	0.039
2	0.025
3	0.0
4	0.025

2.- Determinación de susceptibilidad magnética.

Número de muestra	valor normalizado x 10^5
1	59
2	52.2
3	2.8
4	7.5
5	5

3.- Difractometría de rayos X.

Las muestras fueron corridas en el difractor de rayos X, en el intervalo angular de 2θ , de 2° a 60° , en las condiciones normales de operación (30 Kv, 20 mA) y con un factor de escala de 1×10^3 . Con cátodo de cromo.

Número de muestra.	Especies mineralógicas identificadas.
1, Cajete Azteca III, capa externa	Feldespatos (albita formada en ambiente geológico de baja temperatura), cuarzo, hematita, anfíbola y goethita.
2, Cajete Azteca III, capa interna	Feldespatos (albita formada en ambiente geológico de alta temperatura), cuarzo, hematita, anfíbola y berthierina ferrosa.
3, Azteca III, Bruñida. Muestra de engobe	Feldespatos (albita formada en ambiente geológico de alta temperatura), cuarzo, hematita, anfíbola y berthierina ferrosa.
4, Azteca III, Bruñida. Muestra de la capa intermedia.	Feldespatos (albita formada en ambiente geológico de alta temperatura), cuarzo, mica, anfíbola y berthierina ferrosa.
5, Azteca III, Bruñida. Muestra del núcleo	Feldespatos (albita formada en ambiente geológico de alta temperatura), cuarzo, mica y berthierina ferrosa.

El signo de interrogación, se emplea en los casos en los que no se registra el número suficiente de picos para asegurar de manera definitiva la presencia de la especie mineralógica en cuestión.

Se pudo determinar que las arcillas predominantes en todas las muestras son la caolinita e illita.

Del mismo modo se determinó que la arcilla predominante en el sustrato "suelo" es montmorillonita.

Anexo III. Tablas de los resultados de los análisis realizados

Tabla 4

PERFIL #1, BIBLIOTECA MARIANA PALACIO NACIONAL									
Fecha de muestreo 10 de junio de 1995									
				pH		D E N S I D A D			
PROFUNDIDAD	COLOR				real	aparente	% de	% de	
en cms	EN HÚMEDO	EN SECO	en agua	en KCl	gr/cm3	gr/cm3	porosidad	m. o.	
			1:1.5	1:2.5	1:2.5				
	Capa 1								
	no muestreado	"suelo" de relleno							
	Capa 2								
50 a 60	5 Y 5/2	5 Y 7/1	9.08	9.2	8.39	2.27	1.07	56.8	8.4
	GRIS OLIVA	GRIS CLARO							
	Capa 3								
60 a 70	2.5 YR 2.5/0	2.5 YR 5/0	7.89	8	8.87	2.08	0.2	54.32	93.1
	PARDO OSCURO ROJIZO	PARDO ROJIZO CLARO							
	Capa 4								
70 a 80	5 Y 4/2	5 Y 5/2	7.84	8	8.42	1.92	0.95	45.7	12.9
	GRIS OLIVA	GRIS OLIVA							
	Capa 5								
80 a 90	5 Y 3/2	5 Y 4/2	8.24	8.4	7.43	1.07	0.60	51.5	55.1
	GRIS OLIVA OSCURO	GRIS OLIVA							
	Capa 6								
90 a 100	5 Y 2/2	5 Y 4/2	8.14	8.3	7.2	1.92	0.75	57.4	32.3
	PARDO ROJIZO OSCURO	GRIS OLIVA							
100 a 110	5 Y 4/2	5 Y 5/3	8.62	8.7	7.43	1.85	0.8	56.8	17.1
	GRIS OLIVA	OLIVA							
110 a 120	5 Y 4/2	5 Y 5/3	8.8	8.7	7.44	2.1	0.8	66.4	22
	GRIS OLIVA	OLIVA							
	Capa 7								
120 a 130	5 Y 4/2	5 Y 4/1	8.42	8.6	7.62	1.85	0.8	56.8	9.9
	GRIS OLIVA	GRIS OSCURO							
130 a 140	5 Y 3/2	5 Y 4/1	8.42	8.6	7.25	1.92	0.75	61.6	32.3
	GRIS OLIVA OSCURO	GRIS OSCURO							
140 a 150	5 Y 4/1	5 Y 5/3	8.86	9	7.74	2	0.82	59	19
	GRIS OSCURO	OLIVA							
	Capa 8								
150 a 160	5 Y 5/3	5 Y 5/3	8.96	9.1	7.79	1.92	0.94	51.5	6.8
	OLIVA	OLIVA							

Anexo III. Tablas de los resultados de los análisis realizados

Tabla 5

profundidad en cms	% de C	textura			cationes intercambiables					aniones solubles				
		% de arena	% de arcilla	% de limo	C.I.C.T. cmol(+)/kg	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	CO ₃	HCO ₃	CL	SO ₄	
0 a 50			Capa 1 no											
			Capa 2	muestra										
50 a 60	4.4	75.2	12.4	12.4	19.2	390	290	84	72	1	4	3.1	2	
			mijagon arenoso											
60 a 70	48.4	77.6	8	14.4	30.7	280	270	84	72	1	4	3.1	2	
			arena mijagosa											
			Capa 4											
70 a 80	6.7	60	22	18	33.6	310	340	63	75	1	4	3.1	2	
			mijagon arcillo arenoso											
			Capa 5											
80 a 90	28.7	69.6	17	13.4	33.1	570	500	209	69	1	4	3.1	2	
			mijagon arenoso											
			Capa 6											
90 a 100	16.8	69.6	20.2	10.2	20	530	460	122	54	1	4	3.1	2	
			mijagon arcillo arenoso											
100 a 110	8.9	62	22.2	15.8	18.4	89	400	157	52	1	4	3.1	2	
			mijagon arcillo arenoso											
110 a 120	11.4	54	28.2	17.8	24.2	79	400	174	37	1	4	3.1	2	
			mijagon arcillo arenoso											
			Capa 7											
120 a 130	5.1	77.6	10.4	12	13	55	260	183	40	1	4	3.1	2	
			mijagon arenoso											
130 a 140	16.8	73.6	14.4	12	19.3	60	270	269	37	1	4	3.1	2	
			mijagon arenoso											
140 a 150	9.9	69.6	16.2	14.2	20.6	60	290	265	33	1	4	3.1	2	
			mijagon arenoso											
			Capa 8											
150 a 160	11.6	81.6	10.2	8.2	15	58	290	281	34	1	4	3.1	2	
			arena mijagon											

Anexo III. Tablas de los resultados de los análisis realizados

Tabla 6

PERFIL 2

PLAZA GARIBALDI

Fecha de muestreo 30 de junio de 1995

PROFUNDIDAD	COLOR		pH			DENSIDAD		% de porosidad	% de m. o.
			agua	KCl	aparente	real			
en cms	EN HUMEDO	EN SECO	1:1.5	1:2.5	1:2.5	gr/cm ³			
0 a 70	Capa 1 no se muestreo	"suelo" de relleno							
70 a 80	Capa 2 5 Y 3/2	5 Y 7/1	8.2	8.6	7.61	1.13	2.3	50.73	1.49
80 a 90	GRIS OLIVA OSCURO 5 Y 3/2	GRIS BRILLANTE 5 Y 7/1	8.2	8.6	7.6	1.13	2.29	50.72	1.49
90 a 100	GRIS OLIVA OSCURO 5 Y 3/2	GRIS BRILLANTE 5 Y 7/1	8.2	8.6	7.6	1.13	2.3	50.69	1.51
100 a 110	GRIS OLIVA OSCURO 5 Y 3/2	GRIS BRILLANTE 5 Y 7/1	8.2	8.6	7.61	1.13	2.301	50.7	1.48
110 a 120	GRIS OLIVA OSCURO 5 Y 3/2	GRIS BRILLANTE 5 Y 7/1	8.29	8.6	7.6	1.13	2.3	50.6	1.5
120 a 130	GRIS OLIVA OSCURO 5 Y 3/2	GRIS BRILLANTE 5 Y 7/1	8.3	8.6	7.7	1.13	2.29	50.72	1.49
130 a 140	GRIS OLIVA OSCURO 5 Y 3/2	GRIS OLIVA BRILLANTE 5 Y 6/2	9.8	9.1	7.7	1.11	2.1	47.08	1.55
140 a 150	Capa 3 5 Y 4/2	5 Y 6/2	9.59	9.1	7.7	1.1	2	47.07	1.56
150 a 160	GRIS OLIVA 5 Y 4/2	GRIS OLIVA BRILLANTE 5 Y 6/2	9.6	9.2	7.6	1.1	2.1	47.05	1.5
160 a 170	GRIS OLIVA 5 Y 4/2	GRIS OLIVA BRILLANTE 5 Y 6/2	9.6	9.1	7.7	1.11	2.1	47.06	1.54
170 a 180	GRIS OLIVA 5 Y 4/2	GRIS OLIVA BRILLANTE 5 Y 6/2	9.59	9.1	7.7	1.1	2.1	47.06	1.55
180 a 190	GRIS OLIVA 5 Y 4/2	GRIS OLIVA BRILLANTE 5 Y 6/2	9.6	9.2	7.6	1.11	2.1	47.08	1.53
180 a 190	GRIS OLIVA 5 Y 4/2	GRIS OLIVA BRILLANTE 5 Y 6/2	9.6	9.2	7.6	1.11	2.1	47.08	1.53
200 a 210	GRIS OLIVA 5 Y 4/2	GRIS BRILLANTE 5 Y 6/2	9.6	9.2	7.7	1.11	2.1	47.01	1.54
210 a 220	GRIS OLIVA 5 Y 4/2	GRIS OLIVA BRILLANTE 5 Y 6/2	9.5	9.2	7.8	1.11	2.1	47	1.52
220 a 230	GRIS OLIVA 5 Y 4/2	GRIS OLIVA BRILLANTE 5 Y 6/2	9.8	9.1	7.7	1.11	2.1	47.09	1.55
230 a 240	GRIS OLIVA 5 Y 4/2	5 Y 6/1	8.1	8.2	7.6	0.98	2.1	47.9	1.55
240 a 250	Capa 4 5 Y 4/1	GRIS 5 Y 6/1	8.1	8.3	7.5	1	2	47.7	2.02
	GRIS OSCURO	GRIS							

Anexo III. Tablas de los resultados de los análisis realizados

Tabla 7

PROFUNDIDAD	% de C.	TEXTURA			C.I.C.T.	Intercambiables				solubles							
		% de arena	% de arcilla	% de limo		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	CO ₃	HCO ₃	CL	SO ₄				
en cms					cmol(+)/kg												
0 a 70		Capa 1 no se	muestreo														
70 a 80	0.864	70	10	20	31	5.7	9.6	41	20	1	4	3.1					
80 a 90	0.864	70	10	20	31	5.9	9.6	40	21	1	4	3.1	2				
90 a 100	0.875	70	12	28	31	5.7	9.61	40	20	1	4	3.1	2				
100 a 110	0.858	70	11	19	30.86	5.4	9.61	40	20	1	4	3.1	2				
110 a 120	0.87	70	15	15	31.3	5.7	9.55	41	20	1	4	3.1	2				
120 a 130	0.64	70	10	20	31	5.7	9.6	40	20	1	4	3.1	2				
130 a 140	0.899	64	18	18	25.4	4.5	11.5	40	20	1	4	3.1	2				
140 a 150	0.904	Capa 3 64	18	18	25.4	4.3	11.5	41	20	1	4	3.1	2				
150 a 160	0.87	64	19	17	25.21	4.5	12.6	40	20	1	4	3.1	2				
160 a 170	0.893	65	17	18	25.4	4.5	11.5	40	20	1	4	3.1	2				
170 a 180	0.899	65	16	19	25.4	4.3	11.5	40	21	1	4	3.1	2				
180 a 190	0.887	63	15	22	25.65	4.3	11.5	42	21	1	4	3.1	2				
180 a 190	0.887	63	15	22	25.65	4.3	11.5	42	21	1	4	3.1	2				
200 a 210	0.893	64	18	18	25.4	4.3	11.4	41	20	1	4	3.1	2				
210 a 220	0.881	64	16	20	25.21	4.6	11.6	40	21	1	4	3.1	2				
220 a 230	0.899	64	18	18	25.4	4.5	11.5	40	20	1	4	3.1	2				
230 a 240	0.89	64	18	18	25.4	4.45	11.5	40	20	1	4	3.1	2				
		63															
240 a 250	1.17	42	28	30	31	6.73	12	50	20	1	4	3.1	2				
		Capa 4 migajón arcilloso															

Anexo III. Tablas de los resultados de los análisis realizados

Tabla 8

PROFUNDIDAD en cms	EN HUMEDO	COLOR EN SECO	pH		D E N S I D A D		%	%		
			en agua	en KCl	aparente	real			porosidad	m. g.
			1:1.5	1:2.5	1:2.5	gr/cm ³				
250 a 260	5 Y 4/1 GRIS OSCURO	5 Y 6/1 GRIS	8.1	8.2	7.5	0.99	2.1	47.95	2.03	
260 a 270	5 Y 4/1 GRIS OSCURO	5 Y 6/1 GRIS	8.2	8.3	7.6	0.99	2.1	47.94	2.03	
270 a 280	5 Y 4/1 GRIS OSCURO	5 Y 6/1 GRIS	8.2	8.3	7.5	0.98	2.1	47.93	2.03	
280 a 290	5 Y 4/1 GRIS OSCURO	5 Y 6/1 GRIS	8.1	8.2	7.4	0.99	2.09	47.8	2.03	
	Capa 5									
290 a 300	5 Y 7/2 GRIS BRILLANTE	5 Y 8/1 BLANCO	9	9.1	7.58	1.02	1.9	53.63	0.4	
300 a 310	5 Y 4/3 OLIVA	5 Y 6/1 BLANCO	8.8	9.1	7.6	1.14	2.2	36.14	0.68	
	Capa 6									
310 a 320	5 Y 4/3 OLIVA	5 Y 7/2 GRIS BRILLANTE	8.72	9	7.5	1.14	2.2	36.1	0.67	
320 a 330	5 Y 6/4 OLIVA PALIDO	5 Y 6/3 OLIVA PALIDO	8.4	8.7	7.3	0.81	1.79	54.8	0.4	
330 a 340	5 Y 6/4 OLIVA PALIDO	5 Y 8/2 BLANCO	8.6	8.9	7.2	0.8	1.78	50.26	0.4	
340 a 350	5 Y 5/3 OLIVA	5 Y 8/2 BLANCO	8.6	8.9	7.1	1.04	2.09	48.29	0.27	
350 a 360	5 Y 5/3 OLIVA	5 Y 8/2 BLANCO	8.65	8.9	7.1	1.04	2.1	48.3	0.27	
360 a 370	5 Y 5/3 OLIVA	5 Y 8/2 BLANCO	8.6	8.9	7.15	1.03	2.09	48.2	0.27	
270 a 380	5 Y 5/3 OLIVA	5 Y 5/1 GRIS	8.6	8.9	7.1	1.04	2.1	48.29	0.28	
380 a 390	5 Y 6/2 GRIS OLIVA BRILLANTE	7.5 YR 8/0 BLANCO	8.3	8.5	7.15	1.06	2.05	54.97	0.20	

Anexo III. Tablas de los resultados de los análisis realizados

Tabla 9

PROFUNDIDAD en cms	% de C.	TEXTURA		C.I.C.T.	Iones intercambiables				aniones solubles				
		% de arena	% de arcilla		% de limo	C.I.C.T.				CO ₃	HCO ₃	CL	SO ₄
					cmol(+)/kg								
250 a 260	1.177	43	27	30	30.86	6.5	12	51	20	1	4	3.1	2
		franco arcilloso											
260 a 270	1.177	42	28	30	31	6.5	12	50	20	1	4	3.1	2
		franco arcilloso											
270 a 280	1.177	42	29	29	31	6.7	12	51	21	1	4	3.1	2
		franco arcilloso											
280 a 290	1.177	42	28	30	30.86	7	12	50	21	1	4	3.1	2
		franco arcilloso											
		Capa 5											
290 a 300	0.236	66	2	22	31.3	4	6.28	50	23	1	4	3.1	2
		franco arcilloso											
300 a 310	0.394	67	16	17	20.21	2.6	4.23	30	14	1	4	3.1	2
		franco arenoso											
		Capa 6											
310 a 320	0.393	80	15	5	20.3	2	4.23	30	14	1	4	3.1	2
		franco arenoso											
320 a 330	0.23	40	20	34	36.6	4.8	11.1	31	23	1	4	3.1	2
		franco											
330 a 340	0.23	40	25	35	36.7	4.8	11.2	30	23	1	4	3.1	2
		franco											
340 a 350	0.158	52	26	22	31.3	4.3	11.7	40	12	1	4	3.1	2
		migajón arcillo arenoso											
350 a 360	0.158	51	26	23	31	4.5	11.7	41	12	1	4	3.1	2
		migajón arcillo arenoso											
360 a 370	0.158	52	25	23	31.3	4.5	11.7	40	13	1	4	3.1	2
		migajón arcillo arenoso											
270 a 380	0.162	52	26	22	31	4.3	11.7	40	12	1	4	3.1	2
		migajón arcillo arenoso											
380 a 390	0.118	64	20	16	37.3	4.8	12	36	8	1	4	3.1	2
		migajón arenoso											

Anexo III. Tablas de los resultados de los análisis realizados

Tabla 10

PERFIL 3		PLAZA GARIBALDI										
Fecha de muestreo 30 de junio de 1995												
PROFUNDIDAD en cms	COLOR		pH		densidad		% de		% de			
	EN HUMEDO	EN SECO	en agua	en KCl	en agua	en KCl	gr/cm ³	gr/cm ³	poro sifas	m. o.		
0 a 70	Capa 1 no muestreada											
	Capa 2											
70 a 80	5 Y 3/1	5 Y 8/1	8.19	8.5	7.5	0.86	2.3	62.6	1.96			
	GRIS MUY OSCURO	BLANCO										
80 a 90	5 Y 3/1	5 Y 8/1	8.2	8.5	7.45	0.86	2.3	62.6	1.9			
	GRIS MUY OSCURO	BLANCO										
	Capa 3											
90 a 100	10 YR 6/2	10 YR 6/3	8.1	8.4	7.35	0.94	2.01	53.2	2.09			
	GRIS CLARO PARDUZO	PARDO MUY CLARO										
	Capa 4											
100 a 110	10 YR 5/2	10 YR 7/3	8.1	8.4	7.2	0.92	2.6	64.5	1.49			
	PARDO GRISACEO	PARDO MUY PALIDO										
110 a 120	10 YR 5/1	10 YR 6/1	7.8	8.3	7.34	0.91	2.06	55.8	2.03			
	GRIS	GRIS										
120 a 130	10 YR 3/1	10 YR 6/1	7.7	8	7.35	0.96	2.1	53.8	3.78			
	GRIS MUY OSCURO	GRIS										
130 a 140	5 Y 3/1	5 Y 8/1	8.16	8.4	7.5	0.86	2.3	62.6	1.96			
	GRIS MUY OSCURO	BLANCO										
140 a 150	5 Y 3/1	5 Y 8/1	8.2	8.5	7.6	0.86	2.3	62.6	1.97			
	GRIS MUY OSCURO	BLANCO										
150 a 160	5 Y 3/1	5 Y 8/1	8.2	8.5	7.5	0.86	2.3	62.6	1.96			
	GRIS MUY OSCURO	BLANCO										
160 a 170	5 Y 4/2	5 Y 6/1	8.2	8.6	7.8	0.91	2.11	56.7	1.96			
	GRIS OLIVA	GRIS										
	Capa 5											
170 a 180	5 Y 3/1	5 Y 6/2	8	8.1	7.9	0.93	1.79	47.7	1.01			
	GRIS OLIVA OSCURO	GRIS OLIVA BRILLANTE										
180 a 190	5 Y 6/2	5 Y 8/1	8.1	8.5	7.3	0.89	1.96	54.8	3.51			
	GRIS OLIVA BRILLANTE	BLANCO										
190 a 200	5 Y 6/2	5 Y 7/1	8.35	8.5	7.6	0.96	1.78	45.8	0.67			
	GRIS OLIVA BRILLANTE	GRIS BRILLANTE										
200 a 210	5 Y 6/2	5 Y 7/1	8.4	8.6	7.65	0.96	1.77	45.7	0.68			
	GRIS OLIVA BRILLANTE	GRIS BRILLANTE										
210 a 220	5 Y 5/1	5 Y 7/1	8.3	8.5	7.6	0.96	1.78	45.8	0.67			
	GRIS	GRIS BRILLANTE										
	Capa 6											
220 a 230	5 Y 3/2	5 Y 5/3	8.3	9.1	7.35	0.92	1.97	53.2	0.62			
	GRIS OLIVA OSCURO	OLIVA										
230 a 240	5 Y 3/2	5 Y 5/3	8.2	9	7.4	0.93	1.96	52.3	0.61			
	GRIS OLIVA OSCURO	OLIVA										

Anexo III. Tablas de los resultados de los análisis realizados

Tabla 11

profundidad en cms	% de C	textura % de arena	% de arcilla	% de limo	C.I.C.T.	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	CO ₂	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ⁻
					cmol(+)/kg	Intercambiables				solubles			
0 a 70													
			Capa 1 no muestreada										
			Capa 2										
70 a 80	1.138	28	54	18	39.5	2.9	17.3	50	10	1	4	3.1	2
		arcilloso											
80 a 90	1.102	27	55	18	39.5	3	17.2	49	11	1	4	3.1	2
		arcilloso											
			Capa 3										
90 a 100	1.21	62	18	20	42.17	2.1	10.5	40	20	1	4	3.1	2
		migajón arenoso											
			Capa 4										
100 a 110	0.86	46	28	26	42.17	1.6	10	40	10	1	4	3.1	2
		migajón arcillo arenoso											
110 a 120	1.177	38	36	26	39.5	2.1	10.8	40	14	1	4	3.1	2
		migajón arcilloso											
120 a 130	2.195	24	40	36	42.3	2.5	10.9	40	20	1	4	3.1	2
		arcilloso											
130 a 140	1.139	28	54	18	39.34	2.9	17.2	50	10	1	4	3.1	2
		arcilloso											
140 a 150	1.14	25	54	21	39.5	2.9	17.2	49	11	1	4	3.1	2
		arcilloso											
150 a 160	1.136	28	53	19	39.5	2.9	17.1	50	10	1	4	3.1	2
		arcilloso											
160 a 170	1.138	28	54	18	39.5	2.9	17.3	50	10	1	4	3.1	2
		arcilloso											
			Capa 5										
170 a 180	0.585	46	16	38	36.7	2.8	7.7	50	20	1	4	3.1	2
		franco											
180 a 190	2.038	38	32	30	31	2.6	7.3	45	10	1	4	3.1	2
		migajón arcilloso											
190 a 200	0.393	34	38	28	33.9	2.8	7.3	44	21	1	4	3.1	2
		migajón arcilloso											
200 a 210	0.394	32	42	26	33.6	3	5	41	20	1	4	3.1	2
		arcilloso											
210 a 220	0.393	34	40	26	33.9	3	5	40	16	1	4	3.1	2
		arcilloso											
			Capa 6										
220 a 230	0.359	36	38	26	36.7	2.8	7.3	40	16	1	4	3.1	2
		migajón arcilloso											
230 a 240	0.354	38	42	20	36.7	2.8	7.3	39	5	1	4	3.1	2
		arcilloso											

Anexo III. Tablas de los resultados de los análisis realizados

Tabla 12

PROFUNDIDAD	COLOR		pH		Densidad		% de porosidad	% de m. o	
	EN HUMEDO	EN SECO	en agua	en KCl	aparente	real			
en cms			1:1.5	1:2.5	1:2.5	gr/cm ³			
240 a 250	5 Y 5/2	5 Y 6/1	8.2	8.7	7.8	1.08	2.09	48.3	4.19
	GRIS OLIVA	GRIS							
250 a 260	5 Y 6/2	7.5 YR 6/9	8.3	8.6	7.35	0.68	1.67	58.8	0.4
	PARDO OLIVA	BLANCO							
260 a 270	5 Y 6/2	7.5 YR 6/9	8.33	8.6	7.3	0.68	1.6	58	0.42
	PARDO OLIVA	BLANCO							
	Capa 7								
270 a 280	5 Y 6/2	7.5 YR 6/9	8.3	8.6	7.34	0.68	1.67	58.8	0.41
	PARDO OLIVA	BLANCO							
280 a 290	5 Y 6/2	7.5 YR 6/9	8.35	8.7	7.35	0.68	1.68	58.7	0.4
	PARDO OLIVA	BLANCO							
290 a 300	5 Y 6/2	7.5 YR 6/9	8.4	8.7	7.4	0.69	1.67	58.6	0.41
	PARDO OLIVA	BLANCO							
300 a 310	5 Y 6/2	7.5 YR 6/9	8.3	8.6	7.35	0.68	1.67	58.8	0.4
	PARDO OLIVA	BLANCO							

Anexo III. Tablas de los resultados de los análisis realizados

Tabla 13

profundidad en cms	% de C	Textura			C.I.C.T.	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	CO ₂	HCO ₂	Cl	SO ₄
		% de arena	% de arcilla	% de limo									
240 a 250	2.43	36	28	36	39.5	2.2	1.4	15	24	1	4	3.1	5
		textura arcillosa											
250 a 260	0.236	37	47	16	42.3	5.2	26	29	24	1	4	3.1	2
		arcillosa											
260 a 270	0.237	35	45	20	42.6	5.2	26	29	24	1	4	3.1	2
		arcillosa											
		Capa 7											
270 a 280	0.234	37	43	20	42.6	5.2	26	27	25	1	4	3.1	2
		arcillosa											
280 a 290	0.237	34	45	27	42.3	5	26	29	24	1	4	3.1	2
		arcillosa											
290 a 300	0.34	34	46	20	42.3	5.2	26	28	24	1	4	3.1	2
		arcillosa											
300 a 310	0.236	37	43	20	42.3	5.2	26	29	29	1	4	3.1	2
		arcillosa											

Anexo III. Tablas de los resultados de los análisis realizados

Tabla 14

PERFIL 4		PLAZA GARIBALDI									
Fecha de muestreo 30 de junio de 1995											
PROFUNDIDAD	COLOR	EN HUMEDO	EN SECO	pH			Densidad		% de porosidad	% de m. o.	
				en agua	en KCl		aparente	real			
en cms				1:1.5	1:2.5	1:2.5	gr/cm3	gr/cm3			
0 a 120	Capa 1 no se muestreo	relleno urbano									
120 a 300	Capa 2 no se muestreo	ducto de drenaje									
300 a 310	Capa 3 5 Y 7/3 GRIS PALIDO	5 Y B/1 BLANCO	8.1	8.4	7.5	0.81	2.19	62.76	0.54		
310 a 320	5 Y 7/3 GRIS PALIDO	5 Y B/1 BLANCO	8.1	8.4	7.4	0.81	2.8	62.74	0.55		
320 a 330	Capa 4 5 Y 7/3 GRIS PALIDO	10 YR 6/3 CAFE PALIDO	8.1	8.4	7.45	0.81	2.15	62.75	0.54		
330 a 340	Capa 5 5 Y 7/3 GRIS PALIDO	10 YR 7/3 CAFE MUY PALIDO	8.15	8.5	7.5	0.81	2.21	62.76	0.55		
340 a 350	5 Y 7/3 GRIS PALIDO	10 YR 6/1 CAFE BRILLANTE	8.2	8.5	7.4	0.82	2.19	62.8	0.54		
350 a 360	Capa 6 5 Y 6/2 GRIS OLIVA BRILLANTE	10 YR 6/1 PARDO	8.3	8	7.4	1.1	2.3	47.8	1.152		
360 a 370	5 Y 6/2 GRIS OLIVA BRILLANTE	5 Y B/1 BLANCO	8.4	9	7.5	1.1	2.2	48	1.5		
370 a 380	5 Y 6/2 GRIS OLIVA BRILLANTE	5 Y B/1 BLANCO	8.3	8.9	7.4	1.1	2.3	47.82	1.152		
380 a 390	5 Y 6/1 GRIS	5 Y B/1 BLANCO	8.4	8.5	7.5	1.1	2.3	47.82	0.47		
390 a 400	5 Y 5/1 GRIS	5 Y 6/1 GRIS	8.2	8.5	7.48	0.97	2.2	55.63	0.67		
400 a 410	Capa 7 5 Y 5/2 GRIS OLIVA	5 Y 6/2 GRIS OLIVA BRILLANTE	8.2	8.3	7.4	0.82	2.3	61.45	0.81		
410 a 420	5 Y 5/2 GRIS OLIVA	5 Y B/1 BLANCO	8.2	8.3	7.45	0.82	2.3	61	0.81		
420 a 430	5 Y 5/2 GRIS OLIVA	5 Y 7/2 GRIS BRILLANTE	8.25	8.5	7.3	0.82	2.25	62	0.81		
430 a 440	5 Y 5/2	5 Y 7/2	8.2	8.3	7.4	0.82	2.3	61.45	0.82		

Anexo III. Tablas de los resultados de los análisis realizados

Tabla 15

profundidad en cms	% de C	TEXTURA			C.I.C.T.	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	CO ₂	HCO ₃	Cl	SO ₄
		% de arena	% de arcilla	% de limo									
		Capa 1			cmol(+)/kg								
0 a 120	resano												
		urbico											
		Capa 2											
120 a 300	ducto de drenaje												
		Capa 3											
300 a 310	0.31	33	6	59	50.21	4.3	19.8	64	50	1	4	3.1	2
		migajón limoso											
310 a 320	0.31	34	12	54	51.08	4.3	19.8	65	50	1	4	3.1	2
		migajón limoso											
		Capa 4											
320 a 330	0.31	31	9	60	50.21	4.5	19.7	65	50	1	4	3.1	2
		migajón limoso											
		Capa 5											
330 a 340	0.31	34	11	55	50	4.6	19.6	66	49	1	4	3.1	2
		migajón limoso											
340 a 350	0.31	30	10	60	50.86	4.3	19.8	65	50	1	4	3.1	2
		migajón limoso											
		Capa 6											
350 a 360	0.66	41	44	15	36.7	3.8	17.6	41	10	1	4	3.1	2
		arcilloso											
360 a 370	0.87	42	42	16	36.3	3.9	17.3	41	11	1	4	3.1	2
		arcilloso											
370 a 380	0.66	40	45	15	36.7	3.9	17.8	40	10	1	4	3.1	2
		arcilloso											
380 a 390	0.27	38	44	18	31	3.9	16.7	30	14	1	4	3.1	2
		arcilloso											
390 a 400	0.39	25	55	20	31	2.5	15.6	30	14	1	4	3.1	1
		arcilloso											
		Capa 7											
400 a 410	0.47	20	53	27	53.69	6	36.9	24	25	1	4	2.4	1
		arcilloso											
410 a 420	0.47	19	53	28	53.26	5.9	37	25	26	1	4	2.4	1
		arcilloso											
420 a 430	0.47	21	53	26	52.82	5.9	36.9	26	25	1	4	2.4	1
		arcilloso											
430 a 440	0.47	20	54	26	53.69	5.5	36.9	25	25	1	4	2.4	1
		arcilloso											

Tabla 16 Análisis del subsuelo realizado por Vallejo *et al* (1997)

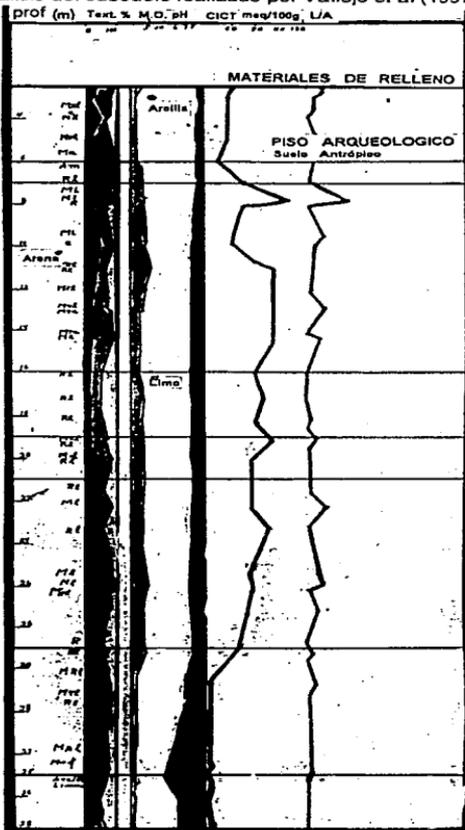
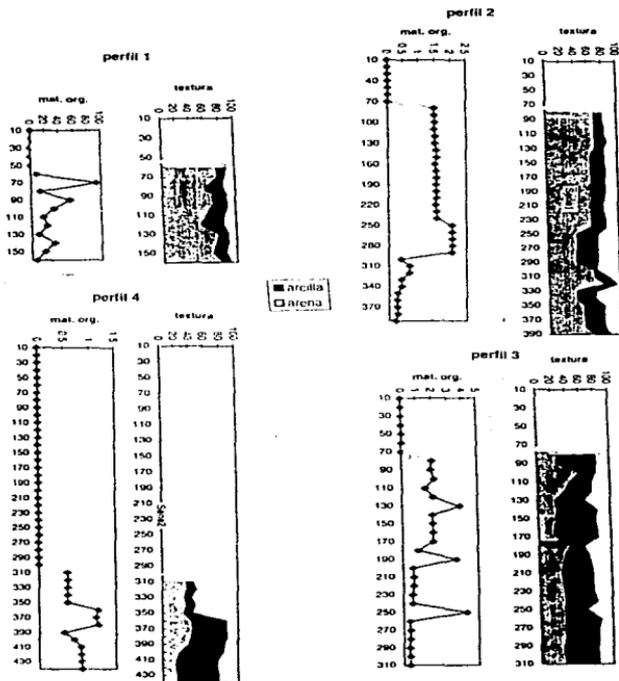
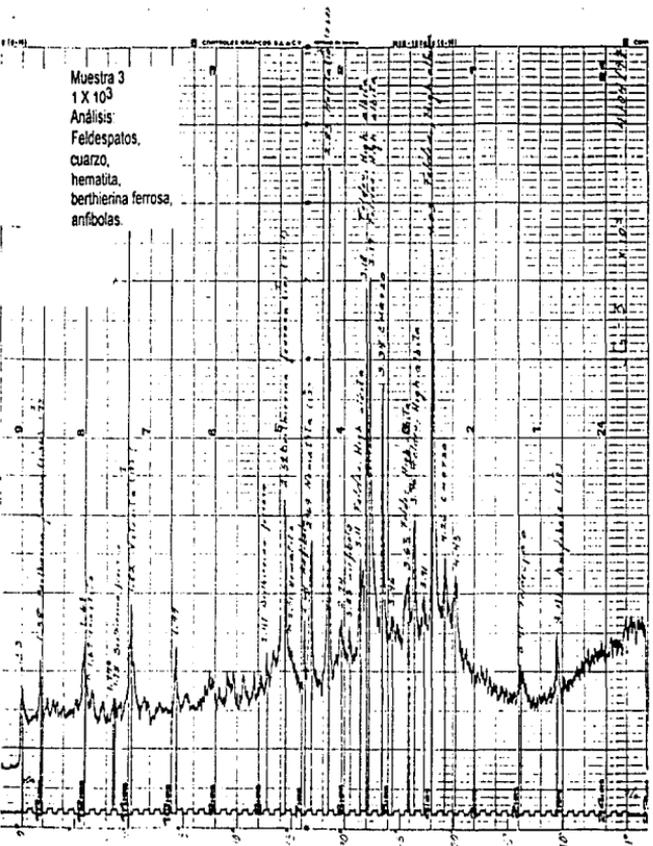


Tabla 17.

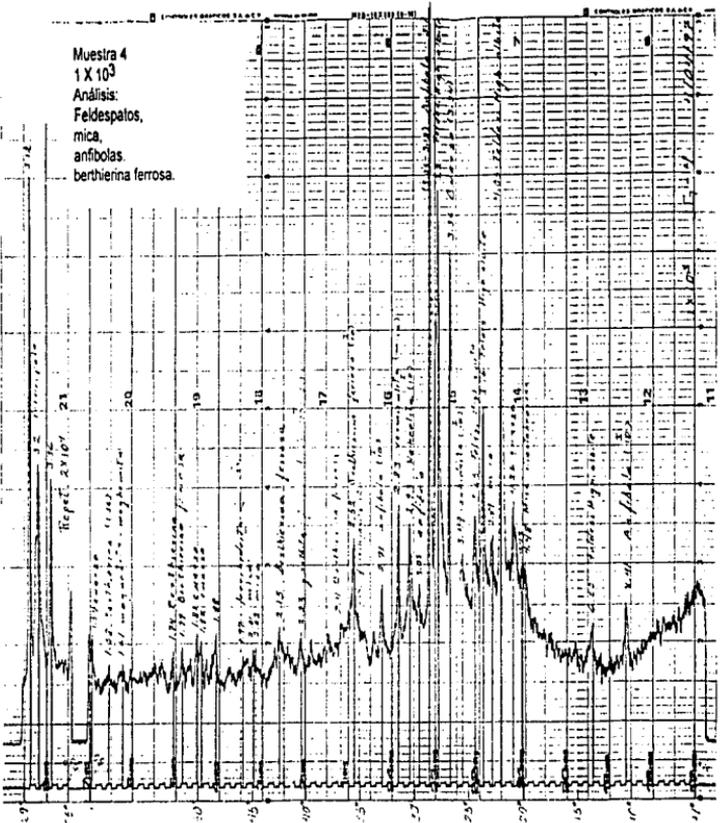
Gráficas de los cuatro perfiles.



Anexo III. Tablas de los resultados de los análisis realizados
 Análisis mineralógico de las muestra 3.



Anexo III. Tablas de los resultados de los análisis realizados
 Análisis mineralógico de las muestra 4.



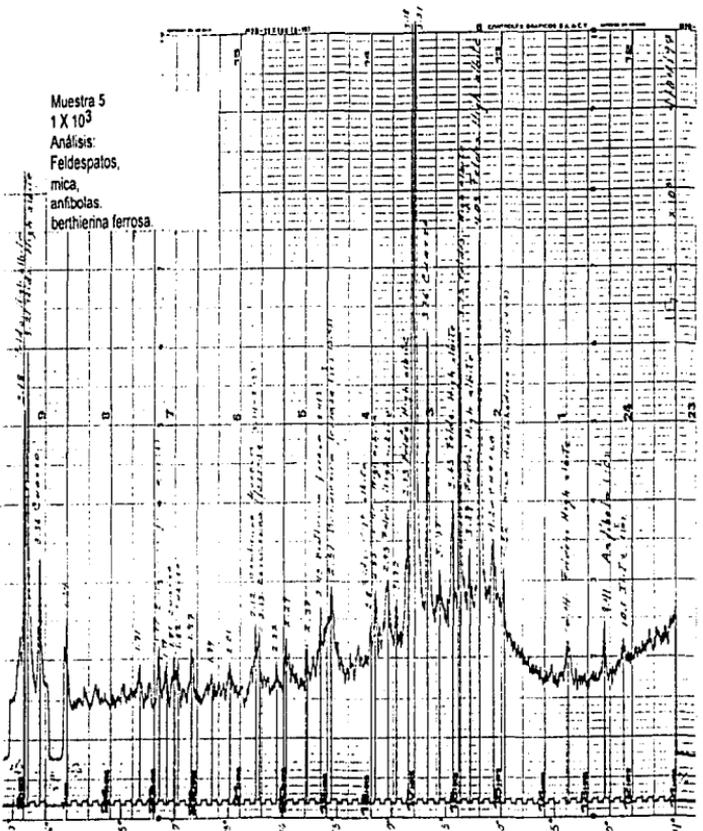


Tabla 19.

Anexo III. Tablas de los resultados de los análisis realizados

Mineralogía de la fracción fina del suelo.

