

01/31
13



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE PALEOSUELOS
CUATERNARIOS DEL NEVADO DE TOLUCA Y SU
APLICACIÓN EN LA RECONSTRUCCIÓN
PALEOAMBIENTAL**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEOFÍSICO

P R E S E N T A:

RIVAS ORTIZ JORGE FRANCISCO

DIRECTORES:

DRA. ELIZABETH SOLLEIRO REBOLLEDO

DRA. ANA MARÍA SOLER ARECHELDE

MÉXICO, D.F.

ENERO 2003

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1



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.



FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-685

SR. JORGE FRANCISCO RIVAS ORTIZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora Dra. Elizabeth Solleiro Rebollado y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geofísico:

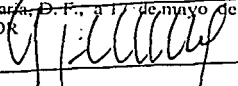
PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE PALEOSUELOS CUATERNARIOS DEL NEVADO DE TOLUCA Y SU APLICACIÓN EN LA RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL

	RESUMEN
I	INTRODUCCIÓN
II	MARCO TEÓRICO
III	ÁREA DE ESTUDIO
IV	METODOLOGÍA
V	RESULTADOS
VI	DISCUSIÓN
VII	CONCLUSIONES
	BIBLIOGRAFÍA
	ANEXOS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D. F., a 17 de mayo de 2002
EL DIRECTOR


ING. GERARDO FERRANDO BRAVO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

GFB*RLLR*gg

2

**" VIVIMOS EN UNA SOCIEDAD PROFUNDAMENTE
DEPENDIENTE DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA, Y EN LA QUE
NADIE SABE NADA DE ESTOS TEMAS. ELLO CONSTITUYE UNA
FORMULA SEGURA PARA EL DESASTRE "**

CARL SAGAN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**DEBE SER UNA NECESIDAD PRIMORDIAL LA BÚSQUEDA DEL
HOMBRE POR RECUPERAR ESA CAPACIDAD DE ASOMBRO Y
CUESTIONAMIENTO (QUE, COMO, CUANDO, DONDE, PARA QUE,
QUIEN Y PORQUE DE LAS COSAS), MISMA QUE HA PERDIDO
DESDE HACE YA MUCHO TIEMPO, QUE CONSTITUYE LA
ESCENCIA QUE LO LLEVA A ENCONTRAR NUEVAS TEORÍAS Y
HERRAMIENTAS QUE DAN EXPLICACIÓN Y SOLUCIÓN A TODOS
SUS PROBLEMAS Y ACONTENCIMIENTOS QUE ESTAN FUERA DE
SU COMPRENSIÓN E IMAGINACIÓN.**

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Jorge Francisco

Rivas Ortiz

FECHA: 20/01/03

FIRMA: [Firma]

A DIOS, por permitirme esa gran dicha: "contar con mis padres" en este momento tan especial y permitirles ver uno más de sus frutos, producto de esos enormes e incansables sacrificios. Él aprieta ... pero no ahorca.

A mis PADRES por todo el apoyo y confianza que siempre me han brindado, además de recorrer conmigo este largo camino. Con sus éxitos y sobre todo los tropiezos que encontré, tanto en la escuela como en la vida que son necesarios para seguir creciendo como ser humano, y que con ustedes resultan más llevaderos. Aquí les dejo el primer producto de esa semilla que han logrado sembrar. Ha llegado el momento de recoger lo cosechado con tantos esfuerzos y sacrificios. Por eso, como muestra de mi gratitud por darme la oportunidad de realizar un sueño.

A SAN-TROTRO, por la gran comprensión y desvelos que pasamos juntos, manteniéndose siempre al pie del cañón conmigo. Por esas palabras que me alentaron a seguir adelante, pero sobre todo la enorme tolerancia que han tenido conmigo, las ocurrencias y puntadas que me han regalado y que me han fortalecido, amenizando mi vida en esos momentos difíciles. Por favor NUNCA CAMBIEN.

A mis Tíos, Primos y Sobrinos por estar siempre al pendiente de mis estudios, su cariño y sus palabras de aliento que me fortalecieron e impulsaron a seguir adelante.

A CHRISTIAN, JESÚS, y HORACIO, por todos esos gratos momentos que hemos pasado juntos, la ayuda y amistad que me han brindado a lo largo de estos años.

A ANA, MIGUEL Y PATY, por todo el apoyo y facilidades que me dieron en el trabajo, que me permitieron continuar con mis estudios.

A LETY, HEIDI Y LAURA, por su valiosa ayuda e infinita paciencia.

Aunque no los merezco, pero ...

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

GRACIAS POR TODO

Mi eterna gratitud a la Universidad, por brindarme la oportunidad de realizar un sueño: Ser orgullosamente, un egresado de la "Máxima Casa de Estudios":

Agradezco a mis directores de tesis: Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo Y Dra. Ana María Soler Arechelde; ante todo, por haber aceptado dirigirme la tesis, por todo el apoyo recibido, que pese a la enorme carga de trabajo que tienen, se dieron el tiempo, espacio y la paciencia para revisarlo y corregirme.

A mis sinodales: Ing. Enrique del Valle Toledo, Dr. Víctor Manuel Malpica Cruz y Dr. Osvaldo Sánchez Zamora, por las enseñanzas recibidas, el valioso tiempo invertido en la revisión de este trabajo y sus comentarios pertinentes para mejorar el contenido de este.

Al Instituto de Geofísica, Departamento de Paleomagnetismo, por todas las facilidades otorgadas para hacer uso de sus laboratorios y equipos. Del mismo modo, quiero agradecer de forma muy especial al Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi, Dra. Beatriz Ortega Guerrero, Dr. Apto Goguitchaichvili, Dra. Cecilia Caballero y Dr. Moloud Benammi por toda la ayuda que me fue brindada para llevar a cabo la parte paleomagnética, desde lo conceptual hasta la fase interpretativa.

Al Instituto de Geología, departamento de Edafología, por el apoyo recibido de este, en especial al Dr. Sergey Sedov, Dr. Jorge Gama Castro y M.C. Carolina Jasso, tanto por sus comentarios, observaciones conceptuales, como en el trabajo de campo y en la etapa de interpretación.

A Glicinia Ortiz, María, Margarita Delgadillo, Miriam Velasco, Martín, Héctor Cabadas, Irasema Olvera, Gabriel Vázquez y Elia Escobar por el apoyo, consejos recibidos en el laboratorio, comentarios, observaciones y salidas a campo.

A Sr. Antonio Sánchez y Mtra. Ana María Rocha por todos los dolores de cabeza que les ocasiona y su infinita paciencia tanto en la búsqueda de libros, artículos en la biblioteca, como por la redacción de este trabajo respectivamente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A todos ustedes:

Alejandro C., José Manuel R., Licelda E., Iris N., Ivan R., Fermin, Lidia, Nahum P., Humberto A., Carmen G., Vicente H., Arcadio G., Oscar B., Javier S., Gumaro, Esteban L., Marco Ch., Arturo M., Carlos , Felipe de la R., Javier V., Ángel V., Bernardo M., Claudio P., Daniel S., Enrique P., Félix B., Jorge G., Juan Carlos E., Luis L., Luis V., Martha L., Mauricio, Pedro R., Ramón P., Raúl A., Francisco R., Keren M., Raúl L., Joel A., Raúl S., Ricardo L., Roberto S., Edmundo P., Rubén M., Blanca M., Gabbo, Jorge A., Esteban y demás compañeros a quienes debo esos momentos que hicieron más ameno mi paso por la facultad.

Elizabeth, Xochitl, Lena, Marisol, Oscar, Nelly, Christina, Juan, Angélica, por regalarme esos momentos de alegría en el trabajo.

“ Gracias por todos esos momentos ”

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PAGINACION DISCONTINUA

Contenido

	Resumen	
I	Introducción	1
I.1	Justificación	3
I.2	Hipótesis	3
I.3	Objetivos	3
II	Marco Teórico	5
II.1	Campo Magnético Terrestre	5
II.2	Variación del Campo Magnético	8
II.3	Propiedades Magnéticas de la Materia	12
II.4	Tipos de Magnetizaciones y Ciclo de Histéresis	17
II.5	Magnetismo en Rocas	19
II.6	Minerales Magnéticos y Propiedades Magnéticas de los Suelos	20
II.7	Suelos	27
II.7.1	Descripción de Horizontes	28
II.7.2	Propiedades de los Suelos	31
II.7.3	Factores Formadores de Suelos	32
II.7.3.1	Clima	33
II.7.3.1.2	Intemperismo	34
II.7.3.2	Relieve	35
II.7.3.3	Material Parental	36
II.7.3.4	Organismos	36

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Contenido

II.7.3.5	Tiempo	37
II.7.4	Paleosuelos	37
III	Marco general del Área de Estudio	39
III.1	Geología	41
III.2	Clima	41
III.3	Vegetación	42
III.4	Suelos Modernos	42
III.5	Paleosuelos del Nevado de Toluca	43
III.6	Ubicación de las Localidades de Estudio	47
IV	Metodología	49
IV.1	En Campo	49
IV.2	En Laboratorio	49
IV.3	En Gabinete	56
V	Resultados	62
V.1	Localidad Arroyo la Ciervita	63
V.2	Localidad Zacango	67
VI	Discusión	77
VI.1	Comportamiento Magnético de las Unidades Pedoestratigráficas	77
VI.2	Comportamiento Magnético de Horizontes	80

Contenido

VI.3	Composición Mineralógica Magnética	83
VI.4	Correlación de Susceptibilidad Magnética con Propiedades Físico-Químicas	85
VI.5	Correlación con otros Trabajos	86
VII	Conclusiones	87
	Bibliografía	
	Anexos	
	I Equipo	
	II Resultados para la localidad de Arroyo la Ciervita	
	III Resultados para la localidad de Zacango	

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Figuras

1.	Componentes del Campo Geomagnético.	7
2.	Dipolo Magnético.	8
3.	Orientación de Momentos Magnéticos en Sustancias Ferromagnéticas.	15
4.	Composición Mixta de Cristales con su Temperatura de Curie.	16
5.	Ciclo de Histéresis.	18
6.	Procesos que Involucran la Formación y Transformación de Minerales Magnéticos.	22
7.	Relación del Suelo con otras Ciencias.	27

Contenido

8.	Perfil Morfológico de un Suelo.	28
9.	Productos Resultantes del Intemperismo.	34
10.	Ubicación de la Zona de Estudio.	40
11.	Relaciones Estratigráficas entre los Paleosuelos Estudiados.	44
12.	Paleosuelos Estudiados en la localidad de Arroyo la Ciervita.	48
13.	Paleosuelo estudiados en la localidad de Zacango.	48
14.	Mediciones Magnéticas para Discriminar Minerales Magnéticos.	55
15.	Comportamiento de los Ciclos de Histéresis.	59
16.	Ubicación de Partículas Magnéticas dentro de un Diagrama de Day.	59
17.	Comportamiento de Muestras Estimando: a) Diversos dominios, b) Fuentes, c) Concentración y Tamaño de partícula.	60
Parámetros magnéticos de Arroyo la Ciervita (PT1-PT3)		66a
18.	a) Susceptibilidad, b) NRM, c) SARM, d) SIRM, e) $X_{lr\%}$, f) Temperatura de Curie.	
19.	a) Diagrama de Day, b) MDF.	
20.	Factores magnéticos: a) S_x , b) F_{100} , c) F_{200} , d) F_{300} , e) F_{1000} .	
21.	a) HIRM, b) SARM/SIRM, c) ARM40/SIRM, d) SARM/X, e) IRM100/SIRM.	
22.	Relación entre parámetros (PT1): a) $SIRM/X_{arm}$ vs. $X_{lr\%}$, b) $X_{lr\%}$ vs. X, c) SARM vs. X	

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

23. Relación entre parámetros (PT2):
a) SIRM/ X_{arm} vs. X_{f96} , b) X_{f96} vs. X, c) SARM vs. X
24. Relación entre parámetros (PT3):
a) SIRM/ X_{arm} vs. X_{f96} , b) X_{f96} vs. X, c) SARM vs. X

Parámetros magnéticos de Zacango
(PT1-PT3)

69a

25. a) Susceptibilidad, b) NRM, c) SARM, d) SIRM,
e) X_{f96} , f) Temperatura de Curie.
26. Factores magnéticos: a) S_x , b) F_{100} , c) F_{200} ,
d) F_{300} , e) F_{1000} .
27. a) HIRM, b) SARM/SIRM, c) ARM40/SIRM,
d) SARM/X, e) IRM100/SIRM.
28. Relación entre parámetros (PT1a):
a) IRM/ X_{arm} vs. X_{f96} , b) X_{f96} vs. X, c) SARM vs. X.
29. a) Diagrama de Day, b) MDF.
30. Relación entre parámetros (PT2):
a) IRM/ X_{arm} vs. X_{f96} , b) X_{f96} vs. X, c) SARM vs. X.
31. Relación entre parámetros PT3:
a) IRM/ X_{arm} vs. X_{f96} , b) X_{f96} vs. X, c) SARM vs. X.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Parámetros magnéticos de Zacango
(PT4-PT7)

76a

32. a) Susceptibilidad, b) NRM, c) SARM, d) SIRM,
e) X_{f96} , f) Temperatura de Curie.
33. a) Diagrama de Day, b) MDF.
34. Factores magnéticos: a) S_x , b) F_{100} , c) F_{200} ,
d) F_{300} , e) F_{1000} .
35. a) HIRM, b) SARM/SIRM, c) ARM40/SIRM,
d) SARM/X, e) IRM100/SIRM.

36.	Relación entre parámetros (PT4): a) IRM/X_{arm} vs. X_{RPS} , b) X_{RPS} vs. X, c) SARM vs. X.	
37.	Relación entre parámetros (PT5): a) IRM/X_{arm} vs. X_{RPS} , b) X_{RPS} vs. X, c) SARM vs. X	
38.	Relación entre parámetros (PT6): a) IRM/X_{arm} vs. X_{RPS} , b) X_{RPS} vs. X, c) SARM vs. X	
39.	Relación entre parámetros (PT7): a) IRM/X_{arm} vs. X_{RPS} , b) X_{RPS} vs. X, c) SARM vs. X	
40.	a) y b) X v.s Tc; c) y d) Fases magnéticas.	79a
41.	a) y b) Ciclos de histéresis; c) y d) Corrección paramagnética.	84a
42.	Graficas comparativas de X v.s propiedades físico químicas.	85a
43.	Diversos registros de susceptibilidad magnética a) Secuencia loess-paleosuelos b) Secuencia de marinos c) Secuencia de paleosuelos volcánicos.	86a

Tablas.

1.	Tipo de Variaciones Magnéticas del Campo Magnético.	9
2.	Principales Unidades Usadas en Magnetismo.	11
3.	Comportamiento Magnético de algunos Minerales.	16
4.	Relación de tipo de Roca con su Comportamiento Magnético.	17
5.	Valores de Susceptibilidad Magnética de algunas Rocas y Minerales.	20
6.	Transformación de Diversos Minerales Magnéticos.	24

Contenido

7.	Clasificación de los Materiales Parentales más Comunes.	36
8a.	Algunas Propiedades de los Paleosuelos de Arroyo la Ciervita, (PT1-PT3)	45
8b.	Algunas Propiedades de los Paleosuelos de Zacango, (PT2-PT7).	46
9a.	Relación de Horizontes Estudiados en Arroyo la Ciervita, Tres Etapas, (PT1-PT3).	52
9b.	Relación de Horizontes Estudiados es Zacango Tres Etapas. (PT1-PT3).	53
9c.	Relación de Horizontes Estudiados en Zacango Tres Etapas. (PT4-PT7).	54
10.	Relación de Parámetros Magnéticos.	56
11.	Porcentaje de Minerales Dentro de la Fracción Fina.	84

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Resumen

Este trabajo presenta el estudio de las propiedades magnéticas de paleosuelos cuaternarios derivados de materiales volcánicos, en dos secciones (Arroyo la Ciervita y Zacango), localizadas en el flanco norte del volcán Nevado de Toluca. El estudio es relevante dados los escasos trabajos a detalle que existen sobre las propiedades magnéticas en suelos volcánicos, pese a su vasta distribución a nivel mundial y nacional.

Los paleosuelos estudiados han sido ampliamente caracterizados en función de sus propiedades físicas, químicas, morfológicas y mineralógicas con lo que se han realizados interpretaciones previas sobre las condiciones paleoambientales de formación de estas unidades pedoestratigráficas. De esta forma, las propiedades magnéticas aportan información complementaria que permite comprender con más claridad los procesos pedogenéticos.

En la mayoría de las investigaciones que involucran el estudio de propiedades magnéticas en diversos ambientes, frecuentemente sólo se emplea la susceptibilidad magnética como una fuente de información primaria, que sirve para determinar aspectos espaciales sobre los minerales magnéticos, sus características y origen.

En este trabajo se llevó a cabo el análisis de diversos parámetros y factores magnéticos con los cuales se estimó la posible composición mineralógica (magnética), tamaño, concentración y comportamiento de las partículas magnéticas de estas unidades pedoestratigráficas. Se emplearon diversos equipos (susceptibilímetro, desmagnetizador por campos alternos, magnetómetro y magnetizador de pulsos) del laboratorio de Paleomagnetismo y Magnetismo de Rocas del Instituto de Geofísica de la UNAM.

Los valores de susceptibilidad magnética reflejan que en las localidades estudiadas (Dearing, 1999; Lu, 2000) las muestras corresponden a mezclas de rocas ígneas ácidas.

Con base en la susceptibilidad magnética (X), en todas las unidades pedoestratigráficas se determinó que cada horizonte de suelo posee un comportamiento magnético específico:

- Los horizontes A y AB, presentan valores relativamente bajos, con una tendencia a crecer con la profundidad, que difieren de otros datos reportados en suelos cuyo material parental no es volcánico, caracterizados por presentar un enriquecimiento magnético ("enhancement").
- El horizonte B, con valores medios, es decir, es más grande que en los horizontes A que le sobreyacen, y menores que en los horizontes C subyacentes.

- Horizonte C, que se caracteriza por presentar los valores más altos.

Esta diferenciación también es observada en parámetros como: SARM, SIRM, factores S_x , F_x , HIRM, SARM/SIRM, $ARM_{40}/SIRM$ y SARM/X, SIRM/ X_{arm} , X_{f95} vs. X.

En general, los horizontes Ah se caracterizaron por presentar el menor tamaño de grano y la mayor concentración de minerales magnéticos en comparación con los horizontes BC. El mayor tamaño de grano y menor concentración, caracterizan a los horizontes C y los horizontes E presentan el menor tamaño de grano y las menores concentraciones.

Los horizontes C presentan los valores más altos de susceptibilidad son asociados a minerales magnéticos de carácter litogénicos. Los horizontes A con valores bajos de susceptibilidad, deben su comportamiento a partículas finas debido a procesos de pedogénesis. Se observa que los horizontes Bw, presentan minerales de alta coercitividad, (posiblemente hematita y goetita) que son producidos por intemperismo.

A pesar de que los resultados obtenidos, por sí mismos, no son contundentes para establecer las condiciones paleoambientales bajo las cuales se formaron los suelos, se puede señalar al intemperismo como el proceso más relevante que permite la diferenciación de las propiedades magnéticas. Dicho proceso está relacionado directamente con el clima.

La tesis está compuesta por siete capítulos:

El capítulo I, consiste de una breve introducción, justificación, hipótesis y objetivos que se pretenden obtener con este trabajo, así como los alcances que presenta el uso de estas técnicas paleomagnéticas, como herramientas útiles en la caracterización tanto de las unidades pedostratigráficas como a sus horizontes para las secciones de estudio del Nevado de Toluca.

En el capítulo II, se da un marco teórico que abarca la historia de los avances que ha tenido el estudio del magnetismo y las causas que lo originan, así como conceptos propios del magnetismo. También se define al suelo y algunas de sus propiedades físicas, químicas y morfológicas más relevantes para este estudio, que junto con los factores formadores de suelos, resultan ser útiles para llevar a cabo la interpretación de los resultados obtenidos.

El capítulo III involucra el marco general del área de estudio, es decir, características del Nevado de Toluca como son el clima, vegetación, suelos y paleosuelos estudiados, la edad de éstos y resultados de estudios previos (morfológicos, físicos y químicos), así como la ubicación de las localidades de estudio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El capítulo IV presenta la metodología que se llevó a cabo en campo (selección del sitio, toma de muestras), en el laboratorio (obtención de diversos parámetros y factores de carácter paleo-magnético, y en gabinete (el análisis de los resultados, y cuyo comportamiento dan la "firma" de las unidades y sus horizontes).

Capítulo V, en el cual aparecen los resultados obtenidos, donde se describe el comportamiento de las unidades pedoestratigráficas de las localidades estudiadas.

En el capítulo VI, se presenta la discusión de los resultados obtenidos, acentuando más el comportamiento de los paleosuelos del Nevado de Toluca en función del análisis en los parámetros magnéticos, posibles similitudes y diferencias de estos. Además se caracteriza la mineralogía magnética, que junto con el comportamiento magnético de los horizontes que los conforman, permite la correlación con otros trabajos, bajo condiciones de depósito diferentes.

Las conclusiones, capítulo VII, contienen una síntesis de la interpretación de los resultados más importantes que contribuyen a un mayor conocimiento de las propiedades magnéticas de paleosuelos de origen volcánico.

En el anexo I, están las fotografías de los equipos que se utilizaron. Además, dada la gran cantidad de datos obtenidos de los experimentos, son los anexos II y III donde aparecen las tablas de estos resultados que fueron la base para la interpretación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Introducción

I Introducción

Los estudios paleomagnéticos son una valiosa herramienta en la elaboración de modelos que brinden información sobre el comportamiento del campo geomagnético a través del tiempo. Son de gran utilidad para el estudio de rocas y suelos, donde la medición de las propiedades magnéticas en estos últimos presenta ventajas sobre otras técnicas empleadas (difracción de rayos X, análisis de minerales pesados, etc.), pues se consideran rápidas, no destructivas, económicas y confiables. Permiten determinar entre otras cosas: el comportamiento magnético de las muestras, el tamaño y la concentración de los minerales magnéticos, la distribución de los mismos, las fases mineralógicas y la fuente de aporte de sedimentos, entre otras características.

Se considera que el estudio de dichas propiedades magnéticas puede aportar información complementaria de las condiciones paleoambientales (Maher y Thompson, 1991). Las mediciones de las propiedades magnéticas han sido aplicadas con mucho éxito en la reconstrucción paleoambiental, destacando las investigaciones realizadas en las secuencias marinas, lacustres y de loess-paleosuelos (Thompson y Oldfield, 1986; Fine y Singer, 1989; Singer et., al 1990; Yu et al., 1990; Ortega, 1992; Urrutia et al., 1997; Ortega et al., 2000).

El clima ejerce una influencia determinante en los procesos de sedimentación e intemperismo, afectando la concentración, composición y tamaño de los minerales magnéticos dominantes dentro de suelos y sedimentos. Así, las propiedades magnéticas en suelos no sólo dependen de los minerales heredados del material parental, sino también de los procesos formadores de suelo (pedogenéticos), sobre todo el intemperismo y la neoformación de minerales.

Los paleosuelos (suelos formados en superficies del pasado), son un registro importante de las condiciones paleoambientales, bajo las cuales se originaron dichos suelos.

De los cinco factores formadores de suelos (clima, relieve, organismos, material parental y tiempo), es precisamente el clima, que actúa sobre un material parental específico dentro de un intervalo de tiempo determinado, el que proporciona al suelo propiedades muy especiales. Se puede considerar que los suelos, junto con la vegetación, responden fácilmente a la influencia del clima y al cambio climático. De hecho, son numerosas las investigaciones de paleosuelos con fines de interpretación paleoambiental que han conducido a establecer importantes correlaciones con otros análisis (magnetoestratigrafía, arqueomagnetismo, isótopos de oxígeno, entre otros), dando lugar a los modelos sobre el comportamiento climático de una región, bajo diferentes ambientes (Campbell 1986, Retallack 1992; Maher y Thompson 1992; Inoue y Sase 1996; Stremme 1988).

El estudio de variaciones en los valores de susceptibilidad magnética en las secuencias de loess-paleosuelos ha permitido establecer una mejor caracterización de los ciclos glaciales e interglaciares, perfectamente correlacionables con las etapas isotópicas oceánicas (Héller y Liu, 1984; Kukla et al., 1988 y 1990).

Las diversas investigaciones dentro de estas secuencias señalan que existe un incremento ("enhancement") sobre sus valores de susceptibilidad magnética de los paleosuelos en relación con los obtenidos para los depósitos de loess. Este comportamiento fue descrito por primera vez por Le Borgne en 1955, y ha sido ampliamente reportado en diferentes investigaciones (Maher, 1986; Thompson y Oldfield, 1986; Singer et al., 1990). Se ha establecido que los procesos de pedogénesis son los responsables de dicho incremento dada la formación de magnetita y maghemita de grano fino (Maher y Thompson, 1991). Cuyo mecanismo de formación no ha sido totalmente entendido. Las hipótesis más aceptadas son: por intemperismo durante largos periodos, lo que permite la concentración de minerales magnéticos primarios (Fine y Singer 1989); formación de óxidos de grano fino por procesos bióticos (Lovely et al., 1987); contaminación de partículas magnéticas (Thompson y Oldfield, 1986); y por la transformación de minerales inducida por incendios.

Los resultados preliminares de las medidas de susceptibilidad magnética en alta y baja frecuencia en los paleosuelos de origen volcánico del Nevado de Toluca muestran un comportamiento notablemente diferente al reportado en las secuencias loess-paleosuelos, las cuales, en su mayoría caracterizados por la presencia de un realce magnético hacia su parte superficial. No así en los registrados para la zona de estudio, donde las curvas presentan una tendencia a incrementarse directamente con la profundidad.

Ambos valores de susceptibilidad en los paleosuelos de Toluca fueron más bajos que los obtenidos en sus materiales parentales (Soler et al., 2001). Se considera que estos resultados están relacionados con una alta cantidad de minerales magnéticos litogénicos presentes en el material parental, en tanto que en los paleosuelos, estos minerales se han intemperizado, liberando parte del hierro y formando minerales amorfs del tipo del alófano y ferrhidrita, típicos para los suelos derivados de materiales volcánicos (Andosoles), los cuales no dan una respuesta magnética pronunciada.

Otros estudios realizados en paleosuelos formados en climas cálidos y húmedos durante el último periodo interglaciar, muestran que tampoco existe un incremento en los parámetros magnéticos, ya que se forma hematita, misma que se comporta como un mineral antiferromagnético (Oches y Banerjee 1996).

De esta manera, es importante señalar que el análisis de las propiedades magnéticas no brinda información concluyente si no es correlacionada con las características de los suelos, y por ende de sus mecanismos de formación.

En el caso de los paleosuelos de origen volcánico, la señal magnética está influenciada principalmente por minerales litogénicos, los cuales atenúan o enmascaran aquella señal que es producida por pedogénesis.

1.1 Justificación

Los paleosuelos del Nevado de Toluca han sido caracterizados desde un punto de vista morfológico, físico, químico, mineralógico e inclusive de los componentes orgánicos que los constituyen. Asimismo, se han establecido sus edades y posición estratigráfica.

Todas estas características han ayudado en la interpretación paleoambiental. Sin embargo, aún existen contradicciones con los modelos ambientales generados a partir de otros registros como son los lacustres y glaciales. Se considera que el análisis detallado de las propiedades magnéticas en estos paleosuelos puede contribuir con información adicional que apoye las interpretaciones realizadas hasta el momento, ya que dichos análisis son útiles para determinar la fuente de aporte de los sedimentos, la identificación de óxidos de carácter magnético y la determinación del material parental.

1.2 Hipótesis

Las propiedades magnéticas en las secuencias loess-paleosuelos del este de Europa y China tienen valores de susceptibilidad magnética altos en los horizontes A, superficiales, y bajos en los horizontes C, más profundos. Se considera que el comportamiento de las propiedades magnéticas está fuertemente controlado por procesos formadores de suelo, siendo responsables del magnetismo los minerales que se forman durante la pedogénesis. En las secuencias volcánicas, el comportamiento es diferente debido a la influencia de minerales magnéticos litogénicos. Por lo que se busca caracterizar magnéticamente las unidades pedoestratigráficas del Nevado de Toluca, llevar a cabo una correlación entre éstas, identificar los minerales que portan una remanencia e inferir el mecanismo de la adquisición de la magnetización. De esta forma, es de esperarse que los minerales asociados al intemperismo sean los portadores de magnetizaciones secundarias.

1.3 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es determinar las propiedades magnéticas de los paleosuelos de origen volcánico ubicados en el Nevado de Toluca, para interpretar los procesos que causan y modifican su comportamiento que está directamente relacionado con el ambiente de formación.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Introducción

La información obtenida proporciona datos adicionales sobre los procesos pedogenéticos, ya que dentro de la literatura prácticamente no existe información sobre las propiedades magnéticas en suelos de origen volcánico; en cambio existe un gran número de trabajos de secuencias de loess-paleosuelos.

Aparte, para llevar a cabo este objetivo, también se plantearon los siguientes objetivos secundarios:

- a. Establecer en el laboratorio las propiedades magnéticas: susceptibilidad, diferentes tipos de magnetizaciones como la NRM, HIRM, ARM, IRM, así como las relaciones entre éstas.
- b. Correlacionar dichas propiedades con las características físico-químicas de los paleosuelos, como son: tamaño de partícula, contenido de carbono orgánico y contenido de óxidos libres de Fe (formados por pedogénesis).
- c. Asociar el comportamiento magnético de los diferentes horizontes dentro de las unidades pedoestratigráficas, para ser correlacionadas dentro de los perfiles tanto de Arroyo la Ciervita (19°13'28.4" y 99°47'5.1"), como de Zacango (19°11'34" y 99°39'2"), las cuales se encuentran a 26.6 km una de la otra.
- d. Establecer diferencias en el comportamiento magnético entre perfiles de la misma localidad.

Adicionalmente, se plantea proporcionar los patrones de comportamiento de las propiedades magnéticas en paleosuelos volcánicos, que puedan ser comparados con aquellos que ha sido establecidos para las secuencias loess-paleosuelos.

Asimismo, se pretende que los análisis sobre los parámetros magnéticos en paleosuelos, cuyo material parental es de tipo volcánico, puedan ser aplicados en estudios que se llevan a cabo en el país, y apoyen la reconstrucción paleoambiental.

Finalmente, esta tesis busca aportar un mayor conocimiento sobre el comportamiento magnético de los paleosuelos de origen volcánico y su relación con características que puedan ser usadas con fines de interpretación paleoambiental y correlación estratigráfica.

II Marco Teórico

Las manifestaciones del campo magnético terrestre se conocen desde fechas muy antiguas, aunque sus causas no fueron comprendidas sino hasta el siglo XVI. Se cree que las primeras observaciones y su identificación como un fenómeno propio de la naturaleza, se inician hace dos mil quinientos años, cuando los griegos observaron algunas rocas oscuras (constituída por óxido de hierro) provenientes de la ciudad de Magnesia en Asia Menor, que presentaban la extraña propiedad de atraer objetos hechos de hierro.

A tales óxidos (Fe_3O_4) se les denominó "imanes naturales", los cuales provenían de la piedra a la que se llamó magnetita. El término magnetismo se usó entonces para designar el conjunto de propiedades de estos cuerpos, en virtud del nombre de la ciudad donde fueron descubiertos (Del Valle Toledo, 1985).

Los chinos desarrollan la primera brújula y se adjudica a los árabes su introducción en el continente europeo. Gilbert (1540-1603), afirmó que la Tierra era un imán y lo publicó en su trabajo "*De Magnete*" (Telford et al., 1996). En 1820, Hans Christian Oersted observó que una corriente eléctrica que fluye por un conductor produce un efecto tal, que una brújula colocada en su cercanía modifica su posición natural, es decir, el extremo norte de la brújula deja de apuntar hacia el norte geográfico y el efecto cesa al dejar de circular la corriente mencionada. La explicación que Oersted dio al fenómeno fue que la corriente eléctrica produce un campo magnético, que superpuesto al terrestre, da por resultado la nueva orientación de las brújulas. Con este resultado se relacionaron dos fenómenos: el eléctrico y el magnético. A mediados del siglo XIX, dichas propiedades magnéticas aún no eran utilizadas para la identificación de minerales de hierro y fue hasta 1843, cuando Von Wrende descubrió esas características. Más tarde, Thalen en 1875 hace uso de las mediciones magnéticas en el descubrimiento de minerales. Smith, hizo descubrimientos magnéticos en E.U.A. a principios de siglo y Haanel (1904), las utilizó para la localización y examen de minerales magnéticos por mediciones con el magnetómetro (Dobrin y Savit, 1988; Parasnis, 1996).

II.1 Campo Magnético Terrestre

La dirección e intensidad del campo magnético varía considerablemente de un punto a otro de la superficie. Se considera que éste se descompone en dos campos principales (Robinson y Coruh 1988; Telford et al., 1996):

- a) Campo interno - Constituye un 97% del campo total, presenta una variación secular de aproximadamente 8 gamas por año.

El campo interno es a su vez resultado de dos campos:

- ✓ Campo geomagnético- Con un momento magnético que no se puede justificar por la presencia de los elementos ferromagnéticos de la corteza, ni con elementos en el núcleo, ya que están a una temperatura superior a la de Curie¹ y han perdido su carácter ferromagnético. La explicación de su origen se basa en el movimiento de grandes cargas eléctricas en el magma, aunque no es claro el comportamiento de los materiales Fe-Ni, que componen el núcleo, debido a las grandes presiones y temperaturas a que están sometidos.
 - ✓ Campo cortical- se debe a los elementos de la corteza, y es de gran interés en geofísica, pues las anomalías que presenta, al pasar de un punto a otro, permite reconocer la presencia de diversos materiales sobre la corteza terrestre.
- b) Campo externo- Lo produce las corrientes inducidas en la atmósfera (ionosfera), que se desplaza con respecto al campo terrestre, dicho desplazamiento se debe principalmente al movimiento ascensional de conveción, por el calentamiento diurno solar y las mareas atmosféricas, que dependen de la posición de la luna y del sol.

Las componentes del campo geomagnético se pueden visualizar al momento de situar una pequeña aguja imantada, capaz de girar alrededor de un eje vertical en un punto cualquiera. la aguja no señalará hacia el polo norte geográfico, sino hacia otro punto llamado polo norte magnético. La dirección hacia donde señala la brújula define el meridiano magnético en el punto. Así, el campo magnético terrestre esta constituido por 7 parámetros: declinación (D), inclinación que varía de 0 a 90° (I), la componente horizontal de la fuerza del campo magnético terrestre en cualquier punto (H), la intensidad vertical (Z), intensidad total (F), y las componentes norte (X) y este (Y) de la intensidad horizontal. (Figura 1). Así, el ángulo formado por la componente (Y) con el meridiano geográfico es lo que se conoce como declinación, y se representa por la letra (D), misma que varía de un punto a otro de la superficie terrestre (Van Der Voo, 1993; Opdyke y Channell, 1996; Langel y Hinz, 1998).

;

¹ Punto de Curie.- O temperatura de Curie, es uno de los parámetros que varía con el grado de alteración que tenga el material parental, por lo que a mayor alteración mayor será la temperatura. Es la temperatura a la cual un material pierde la habilidad de retener el magnetismo, esto es, cambia de una condición ferromagnética a una paramagnética. Debajo de esta temperatura, los átomos interactúan de tal manera que sus momentos magnéticos se ocupan y actúan en forma colectiva en dirección del campo magnético aplicado. La temperatura de Curie de la mayoría de las rocas es menor a los 600°C y el punto análogo en los materiales antiferromagnéticos es el punto de Néel.

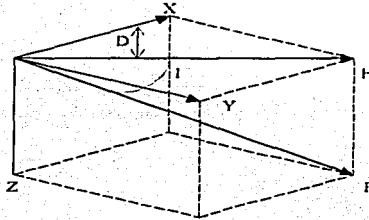


Figura 1, Componentes del campo geomagnético, (<http://www.geomagnetismo.com>)

Por convención, la declinación se considera positiva cuando se mide hacia el este, la inclinación e intensidad vertical son positivas hacia abajo (hacia el interior de la Tierra), X es positiva hacia el norte y Y positiva hacia el este.

Las relaciones entre las magnitudes de un sistema al otro son (Opdyke y Channell, 1996):

$$X = H \cos(D); \quad Y = H \sin(D)$$

$$F = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2} = (H^2 + Z^2)^{1/2}$$

$$Z/H = \tan(I); \quad H = (X^2 + Y^2)^{1/2}$$

El valor del campo en general se expresa en Oersted y la fuerza medida en dinas ejercida sobre la unidad de polo magnético en el punto dado.

El campo geomagnético se describe en una primera aproximación, como un dipolo magnético ubicado en el centro de la tierra, cuyo eje está inclinado con respecto al eje de rotación de la Tierra dirigido hacia el sur. De este modo en el hemisferio norte, cerca del polo norte geográfico se ubica un polo sur magnético y en el hemisferio sur, cerca del polo sur geográfico se encuentra un polo norte magnético.

Se ha establecido que el polo magnético ubicado cerca del polo norte geográfico es el polo norte magnético y el polo magnético situado cerca del polo sur geográfico es el polo sur magnético, siempre y cuando no haya ocurrido alguna inversión en el campo magnético terrestre (Figura 2).

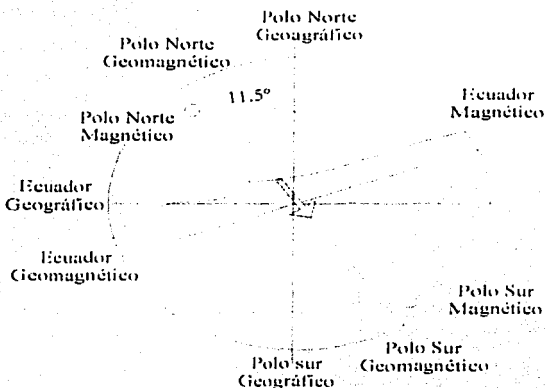


Figura 2. Dipolo magnético. (Hutter 1992).

11.2 Variación del Campo Magnético

Estudios recientes dan la misma orientación del campo magnético que la observada por Gauss, pero la intensidad es apreciablemente menor (Sheriff, 1989), misma que de continuar de esta forma, en unos 2000 años podría desaparecer, dando origen a una inversión del campo geomagnético. Las aproximaciones modernas para las variaciones magnéticas seculares, están en términos de la redistribución de las líneas de flujo que atraviesan los límites del núcleo y el manto (Thompson y Oldfield, 1986). Los diversos tipos de variaciones del campo magnético terrestre, así como sus características, se describen en la Tabla 1.

Actualmente se representa el campo magnético, como una serie positiva de contribuciones armónicas del dipolo geocéntrico. La fuente del campo magnético es atribuida a un mecanismo magnetohidrodinámico del núcleo externo de la Tierra, que se considera meta-estable, lo que refleja un cambio en amplitud y polaridad, que tiende a ser paralelo al eje de rotación del planeta (Telford et al., 1996). Su comportamiento es una serie de movimientos de convección toroidal que transporta cargas eléctricas con el movimiento del material a lo largo del núcleo.

Tipo de variación	Origen	Variación en función del tiempo	Forma espacial	Amplitud típica
Dipolar	Interior de la Tierra	Desciende lentamente	Aproximadamente dipolar	25.000 - 70.000 nT
Secular	Núcleo de la Tierra	1-100 ^a	Irregular, migrando hacia el W	+/- 10-100 nT/a
Diurna	Exterior, relacionado con manchas solares	24 hrs. , 27 días, 12 meses, 11 años	Depende de β^* y de la actividad de manchas solares	10 - 100nT
Micro pulsaciones	Exterior	Frecuencia: 0,002 -0,1 Hz	Depende de β^* y de la actividad de manchas solares y de tormentas magnéticas	Normal: 1 - 10nT máximo: 500 nT
Audio magnéticos	Exterior	Frecuencia: 1 - 1000Hz	Depende de β^* y de la actividad de manchas solares y de tornados	0,01 nT/s
Efectos de corrientes telúricos	Interior en baja profundidad	Frecuencia: 0.002 - 1000Hz	Depende de la geología	Hasta 0,01 nT/s
Imantación inducida de las rocas	Interior en baja profundidad hasta la geotermia del punto de Curie	Secular	Varía la geología, depende en primer lugar, del contenido en magnetita en las rocas	Hasta 0,05 emu/cm ³
Imantación remanente de las rocas	Interior en baja profundidad hasta la geotermia del punto de Curie	Se descompone durante tiempos geológicos	En función de la composición mineralógica	Hasta 0,2 emu/cm ³

Tabla 1. Tipo de variaciones magnéticas del campo magnético, <http://www.plata.udla.edu.ar>

Todo imán influye en un espacio denominado "campo magnético", que actúa por medio de líneas de campo ó "líneas de flujo", útiles para la visualización de campos magnéticos. La dirección de una línea de flujo en cualquier punto es la misma que la de la fuerza magnética, ejerciendo su acción sobre un polo norte imaginario aislado, situado en dicho punto. Las líneas de flujo magnético salen del polo norte de un imán y entran al polo sur. A diferencia de las líneas de campo eléctrico, las líneas de flujo magnético no tienen puntos de origen ni extremo.

La densidad de flujo magnético en una región de un campo magnético es considerada como el número de líneas de flujo que atraviesa perpendicularmente la unidad de área en dicha región, que en cualquier punto del campo magnético se ve muy afectada por la naturaleza del medio o por algún material que se coloque entre el polo y el objeto. Lo que permite que se defina la intensidad del campo magnético (campo aplicado) H, el cual no depende de la naturaleza del medio.

² β^* - Latitud geomagnética, es positiva hacia el Norte, $\beta^* = 0^\circ$ designa el ecuador geomagnético, $1 = 0^\circ$ caracteriza el ecuador magnético.

Considerando que los campos magnéticos de todas las partículas deben ser originados por la carga en movimiento, los átomos en un material magnético se agrupan en regiones magnéticas microscópicas denominadas como "dominios"³. Todos los átomos dentro de un dominio están magnéticamente polarizados a lo largo del eje cristalino, así mismo, en un material no magnetizado, los dominios presentan una orientación aleatoria.

Para explicar la inducción magnética, se recurre a la teoría de los dominios, en la cual, la introducción de un campo magnético alinea dichos dominios dando como resultado la magnetización.

Si los dominios permanecen alineados en una cierta dirección preferencial después de que el campo ha sido retirado, se considera al material con una magnetización permanente llamada "retentividad", que es la capacidad para retener el magnetismo.

En geofísica se prefiere emplear el parámetro intensidad del campo magnético "H" en vez del parámetro inducción o densidad del flujo "B". Se puede sustituir uno de estos parámetros por el otro, ya que la permeabilidad del aire varía poco de la permeabilidad del vacío.

La densidad del flujo B de un campo magnético está relacionada con la intensidad magnética H, por la relación:

$$B = \mu_0 \times H$$

donde:

μ_0 = permeabilidad del vacío

$$H = 1.25 \times 10^{-6} \text{ Vs/Am.}$$

La permeabilidad está asociada a la facilidad de un cuerpo al paso del flujo magnético. A partir de 1930 la unidad cgs de la intensidad magnética del campo H se denomina como Oersted (1Oersted = $1\text{cm}^{-1/2}\text{g}^{1/2}\text{s}^{-1}$), pero en geofísica se utiliza la unidad gauss para la intensidad magnética, ya que es útil para expresar las variaciones pequeñas del campo magnético.

;

³ Dominios magnéticos.- Son unidades de volumen, donde cada uno presenta un polo positivo y uno negativo en extremos opuestos; están separados de los demás por delgadas paredes, en las cuales la orientación de los espines de sus electrones, varía en la dirección de un dominio al otro. En ausencia de fuerzas externas que los mantengan alineados, se comportan minimizando su energía magnetostática, es decir, dos dominios adyacentes ajustan sus magnetizaciones internas antiparalelamente, mientras que un número mayor de dominios tenderá a formar patrones de dominios mutuamente bloqueados.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Marco Teórico

Cada uno de estos sistemas presenta sus ventajas y desventajas, siendo aceptado el sistema internacional (SI) en 1960, para lo cual, se manejan los siguientes factores de conversión (Robinson y Coruh, 1988; Jiles 1991; Milsom 1996):

$$\begin{aligned}
 1 \text{ Oersted} &= (1000/4\pi) \text{ A/m} = 79.58 \text{ A/m} \\
 1 \text{ gauss} &= 10^{-4} \text{ T} \\
 1 \text{ emu} &= \text{cm}^{-3} = 1000 \text{ A/m} \\
 1 \text{ Oersted} &= 1 \text{ Gauss} = 10^5 \text{ gamma} = 10^{-3} \text{ T}
 \end{aligned}$$

donde A son Amperes.

Actualmente son tres los sistemas de unidades empleados (Tabla 2).

Cantidad	Notación	SI (Sommerfeld)	SI (Kennelly)	EMU (Gaussiana)
Campo	H	A/m	A/m	Oersted
Inducción	B	Tesla	Tesla	Gauss
Magnetización	M	A/m	-	emu/cc
Intensidad de magnetización	I	-	Tesla	-
Flujo	Φ	Weber	Weber	Maxwell
Momento	M	Am ²	Weber*m	Emu
Fuerza del polo	P	Am	Weber	emu/cm
Ecuación de campo		$B = \mu_0(H+M)$	$B = \mu_0 H + I$	$B = H + 4\pi M$
Momento de energía (vacío)		$E = -\mu_0 m \cdot H$	$E = -m \cdot H$	$E = -m \cdot H$
Momento de torsión (vacío)		$\tau = \mu_0 m \times H$	$\tau = m \times H$	$\tau = m \times H$

Tabla 2. Principales unidades usadas en magnetismo, (Jiles, 1991).

Al someter una sustancia a un campo magnético [H], ésta se magnetiza, además de adquirir una intensidad de magnetización [J] proporcional al campo exterior aplicado, de ahí que:

$$J = K H$$

Donde la constante de proporcionalidad [K], es lo que se denomina como susceptibilidad magnética. Para analizar el fenómeno magnético en la materia, hay que considerar que está formada por cargas eléctricas positivas y negativas en movimiento. Tanto los protones en su movimiento de spin nuclear, como los electrones en sus movimientos orbitales y de spin, pueden considerarse como pequeños imanes (dipolos).

La susceptibilidad magnética de las rocas está en función de su contenido de magnetita. Las rocas ígneas, adquieren su magnetismo durante su enfriamiento, por debajo del punto de Curie, en el cual, la influencia del campo magnético de la Tierra permite que se forme una magnetización primaria (Buttler, 1992; Arredondo, 2001), misma que se denomina como magnetismo termoremanente. El magnetismo químico remanente es el resultado de los procesos químicos ocurridos durante la génesis de los minerales magnéticos. así, en el caso de las rocas sedimentarias el magnetismo se adquiere durante el proceso de sedimentación donde los detritos (partículas magnéticas) con magnetismo remanente se orientan con respecto al campo magnético presente al momento del depósito (Buttler, 1992).

II.3 Propiedades Magnéticas de la Materia

En la superficie de la Tierra, la intensidad de magnetización varía de acuerdo a la magnetización y a la permeabilidad de las rocas, que depende de la susceptibilidad magnética, es decir, cuando un cuerpo magnetizable es colocado dentro de un campo magnético, éste adquiere una magnetización proporcional al campo. De esta forma, las sustancias y materiales magnetizables atribuyen sus propiedades magnéticas al momento magnético proporcionado por los electrones en órbita, los espines tanto de electrones como los nucleares. (Jhonk, 1988)

Los constituyentes mineralógicos en una roca ígnea dependen directamente de la composición del material (magma encajonante) a partir del cual se cristalizan los minerales y gases, la velocidad de enfriamiento y su interacción con las condiciones ambientales que se ven reflejadas en la dinámica de éste.

Además, la micro-estructura de los minerales magnéticos, así como la porosidad, tamaño, forma, y orientación de las partículas, que junto con su geometría y fases influyen en su comportamiento. La composición del magma es un indicador preponderante en el ordenamiento para la cristalización de los minerales, (O'Really, 1984).

Los factores que principalmente determinan las propiedades magnéticas (Arredondo, 2001) son:

- 1) Contenido de hierro en la roca, mismo que dictamina el comportamiento magnético de la materia.
- 2) Estado de oxidación, ya que la remanencia y la susceptibilidad disminuyen cuando se presenta una oxidación de alta temperatura.
- 3) Tamaño de grano.

- 4) Composición química, directamente asociada con la composición mineralógica y su contenido de hierro.
- 5) Grado de saturación de sílice, que puede enmascarar el comportamiento magnético de las muestras.
- 6) Metamorfismo progresivo y alteración hidrotermal, cambiando la composición mineralógica original.
- 7) Intemperismo químico, donde se modifica la composición mineralógica original, liberando hierro y presentándose en los procesos de oxidación y reducción.
- 8) Lixiviación, relacionada con el intemperismo; los materiales liberados en este proceso pueden ser removidos o lavados, modificando así su composición química.
- 9) Carbonatación.
- 10) Deformación mecánica, que puede modificar la estructura original.

Se presentan cinco efectos magnéticos en la materia al momento de ser sometida a la acción de un campo exterior (Jhonk, 1988; Sheriff 1989; Milsom, 1996):

- 1) El diamagnetismo, es asociado a la variación del radio y la velocidad de giro de las cargas de los átomos, modificando así su momento magnético. Esta variación se opone al campo magnético exterior de acuerdo con la ley de Lenz. El fenómeno lo presentan todos los átomos, pero sólo se aprecia en aquellos en los que el número de electrones es grande y están dispuestos con tal simetría, que el momento magnético del átomo es nulo. El resultado de este diamagnetismo es que el campo magnético es menor en el interior de estos cuerpos y se tiene que la susceptibilidad magnética (K) $K < 0$. Es por eso que, esencialmente todos los materiales presentan un pequeño efecto diamagnético, es decir, antimagnetismo resultado de la tendencia de las órbitas de los electrones a alinearse, así como a su oposición a inducir el campo.

Estos materiales con una permeabilidad ligeramente menor que la unidad tienen la propiedad de ser repelidos débilmente por un imán potente, ya que presentan una oposición al flujo de líneas magnéticas, cierta orientación perpendicular a ellas o bien las deforman.

- 2) El paramagnetismo, otra forma débil de magnetismo, se presenta donde el momento magnético del átomo es permanente y no es nulo, dada una simetría insuficiente en la disposición de sus orbitales. Como los momentos magnéticos de los átomos están en todas direcciones, éstas sustancias aparecen como no magnéticas, es decir, atraen las líneas del flujo, o se orientan en el mismo sentido que éstas. En presencia de un campo exterior, se ordenan de tal forma que refuerzan la acción de éste y muestran una $K > 0$, que depende de la agitación térmica de las moléculas y por lo tanto de la temperatura.
- 3) El ferromagnetismo, se caracteriza por presentar fuertes momentos magnéticos permanentes, incluso en ausencia de un campo aplicado. Las fuerzas interatómicas son lo suficientemente grandes como para producir un paralelismo de los momentos atómicos de un conjunto de átomos próximos que forman los llamados recintos de Weiss, que se ordenan al someterlos a un campo exterior en un fenómeno similar al paramagnetismo (Figura 3). El valor de la susceptibilidad de estos materiales es mucho más alto que para los paramagnéticos y depende de la historia previa del material. Se presenta sólo en el estado sólido.
- 4) Para los materiales antiferromagnéticos, los momentos magnéticos de los átomos vecinos son de la misma magnitud, pero antiparalelos. Cada una de estas subredes recuerda el estado de un cuerpo ferromagnético. Las dos subredes ordenadas y orientadas en sentido opuesto entre sí, se anulan mutuamente resultando en un momento magnético total igual a cero. La susceptibilidad magnética es relativamente baja a temperaturas menores al punto de Curie. Alcanza el máximo a la temperatura de Curie, y por encima de ésta decrece nuevamente la susceptibilidad. Entre otros materiales antiferromagnéticos se encuentran: la hematita (Fe_2O_3), con una temperatura Curie de $675\text{ }^\circ C$, y los óxidos de manganeso, de hierro, de cobalto y de níquel.
- 5) Los materiales ferrimagnéticos tienen dos subredes de iones metálicos con momentos magnéticos orientados antiparalelamente, pero de magnitud diferente dando lugar a un momento resultante diferente a cero, incluso en ausencia de un campo exterior. La magnetita (Fe_3O_4) es un material ferrimagnético y es el mineral más importante en la contribución del magnetismo de las rocas.

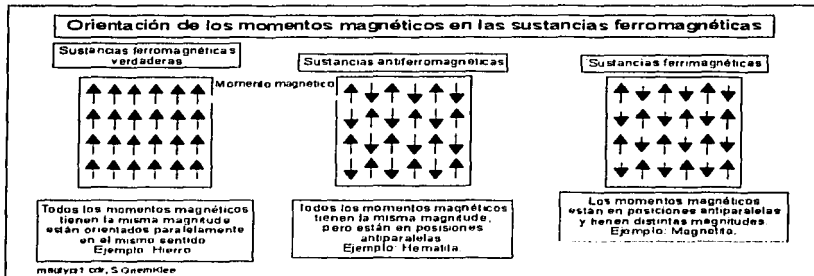


Figura 3. Orientación de momentos magnéticos en sustancias ferromagnéticas, tomado de <http://www.plata.uda.edu.ar>

Otros minerales ferrimagnéticos son: Ilmenita (FeTiO_3), Titanomagnetita [$\text{Fe}(\text{Fe},\text{Ti})_2\text{O}_4$], Pirrotita (Fe_{1-x}S) y los óxidos de la fórmula general ($x\text{OFe}_2\text{O}_3$), donde X puede ser ocupado por Mn, Co, Ni, Mg, Zn y Cd. El magnetismo de las rocas se debe a la magnetita y a otros minerales del sistema ternario $\text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$. La composición de cada cristal mixto junto con su temperatura de Curie se presenta en el diagrama ternario (Figura 4).

Entre las sustancias ferromagnéticas se encuentra el hierro, acero, cobalto, níquel y magnetita, de las cuales, sólo unas cuantas como el hierro, níquel y cobalto, pueden tener una orientación preferencial a alinear el momento magnético. A dichas sustancias se les denomina "ferromagnéticas". Tanto el ferromagnetismo como el ferrimagnetismo desaparecen arriba de la temperatura de Curie, en la cual la agitación térmica destruye sistemáticamente la alineación.

Además, los materiales ferromagnéticos y ferrimagnéticos se subdividen en dominios (Sheriff 1989, Bogalo 1999) que presentan orientaciones aleatorias debido a la imposición de un campo que está en función de la forma, tamaño, distribución de la partícula o grano, así como de la naturaleza magnética de los materiales. De ahí que la susceptibilidad dependa de la cantidad de materiales magnéticos presentes en las muestras y que son reflejo del grado de saturación que presenten los dominios.

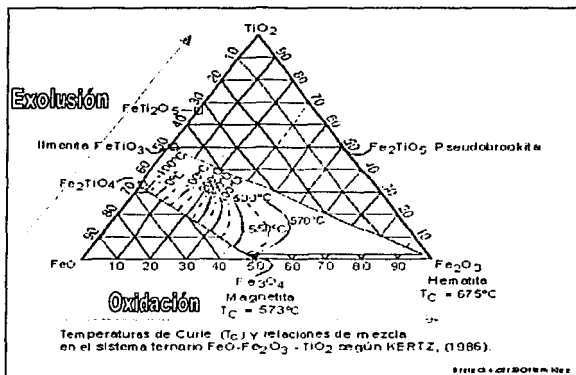


Figura 4. Composición mixta de cristales con su temperatura de Curie, (Kertz 1986 en Olivos 1992), comunicación personal con Dr. Apto Garguichativilvil.

En la Tabla 3 se resumen el comportamiento magnético de algunos minerales. Las rocas ígneas son principalmente ferromagnéticas, siendo las sedimentarias diamagnéticas y las metamórficas las que presentan un comportamiento paramagnético (Tabla 4).

Comportamiento Magnético	Minerales magnéticos
Diamagnéticos	Calcita, Feldespatos alcalinos, Plásticos, Cuarzo, Materin Orgánica, Agua, Halita, Kaolinita.
Paramagnéticos	Ilmenita, Ulvoespinela, Olivino, Siderita, Biotita, Piroxeno, Chamosita, Nontronita, Amfibol, Epidota, Pirita, Lepidocrocita, Proclorita, Vermiculita, Illita, Bentonita, Calcopirita, Atapulgita, Dolomita.
Ferromagnéticos	Hierro, Cobalto, Niquel.
Ferrimagnéticos	Magnetita, Maghemita; Titanomagnetita, Titanomaghemita, Pirrotita, Greigita.
Antiferromagnéticos	Haematita, Goetita.

Tabla 3. Comportamiento magnético de algunos minerales (Turling 1983).

Tipo de roca	Comportamiento Magnético
Rocas Sedimentarias	Diamagnéticas
Rocas Metamórficas	Paramagnéticas
Rocas Igneas	Ferromagnéticas

Tabla 4, Relación del tipo de roca con su comportamiento magnético, (Del Valle, 1987)

II.4 Tipos de Magnetizaciones y Ciclo de Histéresis

Los tipos de magnetizaciones, se pueden resumir en:

A) La magnetización remanente natural (NRM), dada por la presencia de minerales ferrimagnéticos o ferromagnéticos incluidos en una matriz de minerales diamagnéticos o paramagnéticos. Contiene el aporte de diversas magnetizaciones que sufre el material por estudiar. Las rocas de tipo volcánico son más adecuadas para la medición de la intensidad del antiguo campo magnético terrestre.

Los derrames de lava poseen minerales magnéticos, cuyos átomos y moléculas presentan un comportamiento similar a pequeños dipolos magnéticos, que debido a la gran agitación térmica a la que se ven sometidos, se encuentran orientados de forma aleatoria. Al momento de enfriarse por debajo de su temperatura de Curie, se orientan en la dirección del campo magnético presente en ese momento, al continuar descendiendo la temperatura, llegan a una de bloqueo en la cual los dipolos, pese a que el campo magnético cambie de dirección o magnitud, mantienen la misma orientación.

B) La magnetización anhisterética remanente (ARM), es una remanencia artificial producida en el laboratorio, que consiste en aplicar campos alternos crecientes en presencia de un campo fijo de baja intensidad. Puede ser utilizado para determinar el tamaño de partículas y la composición magnética de los minerales presente en las muestras.

C) La magnetización isothermal remanente (IRM) es el proceso de magnetización originado bajo la acción de un campo de alta intensidad. Generalmente no ocurre en la naturaleza, por lo que es utilizada en la determinación de la mineralogía y tamaño de grano en el laboratorio.

D) La magnetización termoremanente se produce a la temperatura de Curie (T_c), en una muestra fresca. Cuando es colocada dentro de un campo magnético, se observa un alineamiento de dominios paralela al campo, produciendo en este momento, una magnetización termorremanente (TRM). También se puede trabajar con temperaturas inferiores a la de Curie, observándose una magnetización termorremanente parcial (pTRM).

E) La desmagnetización mediante campos alternos es un método para determinar las componentes de la magnetización remanente natural, mediante una desmagnetización parcial y la separación de las componentes por una diferencia de coercitividad⁴. La muestra se coloca en un campo nulo y se genera un campo magnético alterno, el cual es reducido gradualmente hasta cero, por el decrecimiento de la corriente del campo de la espira circular o por el retiro de la muestra de la espira.

Por otro lado, cuando cesa la aplicación de un campo magnético, el cual ha estado actuando sobre un material ferromagnético, el material no anula completamente su magnetismo, por lo que permanece un magnetismo residual. Para desmagnetizarlo es necesario la aplicación de un campo contrario al inicial, a lo que se denomina "Histéresis" magnética, que quiere decir, inercia o retardo, ya que los materiales tiene una cierta inercia a cambiar su campo magnético. Cada material tiene su propio lazo de histéresis característico, mismo que está en función de su composición y comportamiento magnético.

El ciclo de histéresis, lazo o bucle de histéresis de un material magnético, se puede obtener cuando una bobina crea sobre dicho material magnético una intensidad de campo H , el cual produce una inducción de valor B . Así a una intensidad de campo H_0 le corresponderá una inducción de valor B_0 . Si aumenta H (aumentando la corriente que circula por la bobina) hasta un valor H_1 , B también aumentará hasta B_1 (Figura 5). Pero si se restituye H a su valor inicial H_0 , B no regresa a B_0 , sino que toma un valor diferente B_2 . (el camino que toma la curva al incrementar la intensidad del campo es distinto al que toma cuando se aplica el proceso inverso, lo que implica que para restituir la inducción en el núcleo a su valor inicial, es preciso aplicar una corriente suplementaria de signo opuesto). El punto S representa la saturación del núcleo magnético. Una vez saturado el núcleo, B no aumenta al aumentar H .

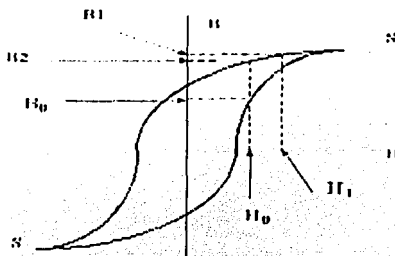


Figura 5. Ciclo de histéresis, tomado de <http://www.IFFint.com>

⁴ Fuerza coercitiva.- Es el campo requerido para reducir la magnetización a cero dentro de una muestra, a la cual se le aplicó un campo para magnetizarla previamente.

II.5 Magnetismo en Rocas

Las brigadas geofísicas miden anualmente la susceptibilidad magnética de gran cantidad de muestras de roca y la magnetización remanente de muchas de éstas. La susceptibilidad de las rocas intrusivas de diversa composición varía en función de su contenido medio de magnetita, siendo este mineral el más abundante en las rocas básicas y ultrabásicas.

El contenido de magnetita en las rocas está en función principalmente de la concentración de oxígeno en las soluciones magmáticas (Logochaev y Zajarov, 1978). Su variación determina la proporción de óxidos y protóxidos de hierro, que son necesarios para la separación de la magnetita. Las rocas efusivas de composición ácida suelen tener una susceptibilidad magnética próxima a la de los granitos, aunque suele ser más baja. Las dioritas y gabros pueden ser débiles o fuertemente magnéticos. Las rocas ultrabásicas se caracterizan por una mayor variación de la susceptibilidad que va desde débil hasta fuertemente magnéticas.

Las propiedades magnéticas de las rocas metamórficas quedan establecidas no sólo por su contenido en minerales ferromagnéticos, sino también por su estado de diseminación, que a su vez depende de la composición inicial de la roca, por sus condiciones de formación y por el tipo e intensidad del fenómeno de metamorfización. Los valores mínimos de susceptibilidad magnética y de la magnetización remanente, recaen en las rocas originadas por el metamorfismo de rocas sedimentarias (Logochaev y Zajarov, 1978), como son: pizarras cristalinas aluminosas, cuarcitas, mármoles, etc. La magnetización remanente de las rocas metamórficas es prácticamente proporcional a su susceptibilidad magnética.

Las rocas sedimentarias tienen usualmente susceptibilidades bajas (0 a 50×10^{-6} unidades c.g.s.) y las ígneas y metamórficas son mucho mayores (0.001 a 0.005) unidades c.g.s. (Cantos, 1974). Es decir, que la susceptibilidad de las rocas ígneas y metamórficas es 100 veces mayor que la de las rocas sedimentarias (Tabla 5).

Mineral	Susceptibilidad (Oe)
Magnetita	0.3 - 0.8
Ilmenita	0.135
Pirrotita	0.125
Franklinita	0.036
Granito	28 a 2.7 E-6
Diorita	46.8 E-6
Gabro	68.1 a 2.370 E-6
Arenisca	16.8 E-6
Dolomita	14 E-6
En el vacío	0
Calcita pura	-1.0 E-6
Sal común	-1.3 E-6
Grafito	-10 E-6

Tabla 5. Valores de susceptibilidad magnética de algunas rocas y minerales. (Cantos, 1974)

Uno de los fenómenos que más ha contribuido con el tiempo al conocimiento de las variaciones del campo magnético terrestre, y a la vez ha servido para revolucionar las hipótesis sobre la tectónica global, es el del magnetismo remanente de las rocas. Este fenómeno se debe a la propiedad de ciertas rocas de adquirir una magnetización producida por la acción de un campo externo, que permanece estable aunque desaparezca o cambie dicho campo. En general, la magnetización remanente es adquirida durante la formación de la roca y proporciona información sobre el campo magnético terrestre de la época. Esta característica, se puede considerar como un "magnetismo fósil" así, en las rocas con un alto índice de elementos ferromagnéticos, el campo magnético inducido por un campo externo es muy grande.

Existe una relación entre la magnetización de las rocas y la historia geológica de cada región, que incide en las condiciones de cristalización de la magnetita, en las de recristalización posteriores, en disgregación y transporte de las mismas, que por ende influyen en las propiedades de los diversos tipos de suelo.

11.6 Minerales y Propiedades Magnéticas de los Suelos

Los minerales magnéticos no sólo se encuentran en las rocas, sino en otros materiales que los heredan de las mismas. Tal es el caso de los depósitos sedimentarios, en los cuales los minerales magnéticos se orientan al momento de su depósito; y de los suelos que son productos de la alteración o intemperismo de las rocas, en cuyo caso, no sólo hay minerales litogénicos⁵, sino también neoformados como consecuencia de la pedogénesis⁶.

⁵ Minerales litogénicos.- Minerales que se forman en las rocas.

⁶ Pedogénesis.- Proceso de formación de suelo en tierra firme, a través de procesos químicos, físicos, y bioquímicos que favorecen el surgimiento de nuevo suelo.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Marco Teórico

Son las propiedades magnéticas como la susceptibilidad magnética y la magnetización remanente isotermal (IRM) entre otras, las utilizadas para determinar las condiciones ambientales bajo las cuales se originó el material que compone a los suelos, que permiten una mejor comprensión de su evolución.

Por medio de éstas es posible determinar el tipo de mineral presente, su concentración, estado magnético y tamaño de partícula (Opdyke y Channell, 1996; Bogalo, 1999).

En los primeros estudios de magnetismo a detalle de los suelos se emplearon mediciones de susceptibilidad magnética, por ser el parámetro más sencillo de determinar. En estos estudios (Le Borgne 1955 y 1960) se identificó la variación de los valores de susceptibilidad con la profundidad de los suelos. Observó un aumento en las lecturas de susceptibilidad magnética en la parte superficial de aquellos suelos que habían sido quemados.

Las propiedades magnéticas de los suelos, reflejan la gran variedad de comportamientos magnéticos en los minerales que los constituyen. Estudios previos realizados en las secuencias de loess indican que los valores más bajos de susceptibilidad magnética, se encuentran en los materiales parentales de los suelos, ocasionado por un decaimiento en el contenido de minerales magnéticos. Muchos de los minerales de los suelos (primarios y secundarios) presentan un comportamiento paramagnético, los ricos en hierro son pobres en minerales ferrimagnéticos (Thompson y Oldfield, 1986), por lo que el paramagnetismo tiene una gran importancia en la susceptibilidad total.

Los minerales ferromagnéticos proporcionan información valiosa sobre los procesos que dieron lugar a la formación del suelo y del material parental, ya que la formación de óxidos e hidróxidos de hierro, depende de las condiciones ambientales (Figura 6), la concentración de dichos minerales es capaz de reflejar las variaciones ambientales durante el periodo de pedogénesis (Le Borgne 1955, Tite y Linington 1975, Schwertmann 1971).

En cuanto a los minerales antiferromagnéticos, la goetita es el mineral más importante en los suelos que presentan un buen drenaje y condiciones de humedad, mientras que la hematita, predomina en ambientes más secos y condiciones altamente oxidantes. En suelos de climas cálidos, la asociación dominante de óxidos de hierro es el par goetita-hematita.

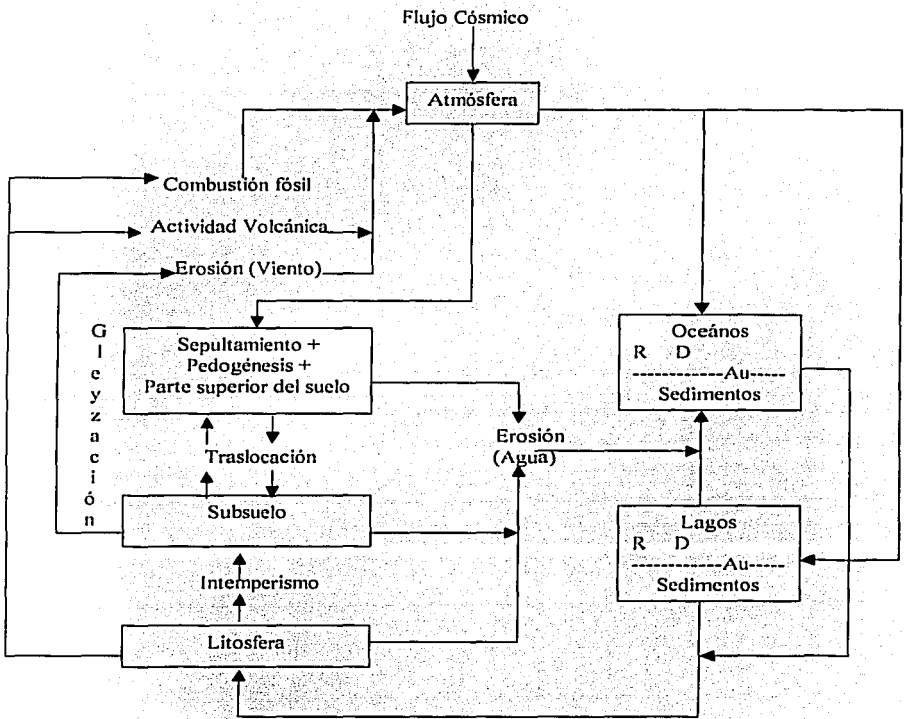


Figura 6. Procesos que involucran la formación y transformación de minerales magmáticos, (Thompson y Oldfield 1986)

R - resuspensión
 D - deposición
 Au - autogénesis

Algunas de las características de los minerales magnéticos más representativos. (Clark 1993, Dunlop y Özdemir 1997, Bogalo 1999, Mottana et al., 1999) son:

Goetita ($\text{FeO} \cdot \text{OH}$), es el más común de los hidróxidos de hierro, pertenece al sistema ortorrómbico, su apariencia presenta cristales prismáticos y ocasionalmente estrias verticales. Tiene una dureza de 5 a 5.5, clivaje perfecto y presenta un carácter antiferromagnético con una temperatura alrededor de los 120°C . Es un producto de oxidación causado por bajas temperaturas, en especial de los sulfuros de hierro así como de nódulos de manganeso.

Haematita (Fe_2O_3), su composición está entre ilmenita y hematita, y se conocen como titanohematitas. La hematita presenta una simetría romboédrica y estructura de corindón, se considera como antiferromagnética.

Titanomagnetita ($\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$), asociada con rocas metamórficas y plutónicas, pero la hematita casi pura es la que más abunda en rocas metamórficas, sedimentarias (sedimentos detríticos), e ígneas; que cristalizan con la estructura de la espinela. Su comportamiento magnético es de tipo ferrimagnético.

Haemo-ilmenita ($\text{Fe}_{2y}^{2+} \text{Fe}_{2-2y}^{3+} \text{Ti}_y^{4+} \text{O}_3^{2-}$), conocido también como titanohematita romboedral, presenta una composición entre la de la hematita y la ilmenita, que al igual que en el caso de las titanomagnetitas, su solución sólida está completa sólo a altas temperaturas, posee una estructura como la del corundo, y presenta un carácter ferromagnético debido al ordenamiento (parcial) y distribución de sus cationes.

Gregita (Fe_3S_4), es de carácter ferrimagnético y lleva a una magnetización estable en sedimentos lacustres y en la sedimentación rápida de los clastos de sedimentos marinos, además presenta una coercitividad similar a la de la magnetita, de ahí que, generalmente se considere menor que la pirrotita, cuya temperatura de Curie está alrededor de los 320°C .

Pirrotita (FeS), (Fe_7S_8), sulfuro de hierro que pertenece al sistema hexagonal, con dureza de 3.5 a 4.5, densidad de 4.6 y cristales tabulares, en cuyas caras hay estrias horizontales. Presenta un carácter ferromagnético, con temperatura de Curie de 325°C , encontrándose principalmente en rocas ígneas básicas.

Hierro-Wustita-Espínela (Fe_2TiO_4), la ulvo-espinela es semejante por su estructura a la magnetita, y no siempre es reconocida como mineral independiente de esta serie (magnetita-ulvoespinela). Es débilmente ferrimagnética, y forma con la magnetita, el extremo de una serie continua de soluciones sólidas con propiedades magnéticas intermedias que están en función de su contenido de magnetita.

Maghemita (Fe_2O_3), presenta una estructura de espinela de magnetita y la composición química de la hematita, considerada como una fase metaestable; su temperatura de Curie es de alrededor de $640^{\circ}C$. Es común como producto de la oxidación a bajas temperaturas de la magnetita, así como de rocas ígneas y sedimentarias.

Magnetita (Fe_3O_4), es uno de los últimos miembros sólidos del grupo de la serie ulvoespinela-magnetita y es el más abundante de los minerales magnéticos del planeta, forma parte del sistema cúbico, tiene una dureza de 5.5 a 6.5 y no tiene clivaje. Además es masivo, compacto y granular, su temperatura de Curie varía linealmente cuando contiene titanio, de $-150^{\circ}C$ para el caso de ulvoespinela y $580^{\circ}C$ para la magnetita, de ahí que, la ulvoespinela presente un comportamiento paramagnético a temperatura ambiente.

Algunas transformaciones o alteraciones (Tarling, 1983) a las que se pueden ver sujetos los minerales magnéticos son los que aparecen en la Tabla 6.

Mineral inicial	Alteración	Temperatura ($^{\circ}C$)
Ígneos		
Titanomagnetita rica en Ti	Magnetita	>300
Magnetita	Maghemita	150-250
Olivino	Magnetita	>300
Pirita	Magnetita	350-500
Maghemita	Haematita	350-450
Magnetita	Haematita	>500
Piroxenos	Magnetita	>600
Sedimentos		
Siderita	Magnetita	>200
Lepidocrocita	Maghemita	220-270
Goetita	Haematita	200-400
Maghemita	Haematita	350-450
Pirita	Magnetita	350-500
Magnetita	Haematita	>500
Haematita	Magnetita	>550

Tabla 6. Transformación de diversos minerales magnéticos. (Tarling, 1983)

Las mediciones en las propiedades magnéticas de los minerales permiten caracterizar los ambientes dependiendo de la naturaleza de los procesos a los que se ven sujetos. Algunos de los más importantes son (Thompson y Oldfield, 1986):

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Marco Teórico

- **Disgregación física-** Presente en el intemperismo físico, la erosión y transporte de material por medio de agua o hielo. Produce una disminución en el tamaño de la partícula, pudiendo cambiar la estructura de los minerales magnéticos presentes, así como los parámetros por medir.
- **Transporte y depósito-** Cuando el material removido no presenta transformaciones de tipo químico ni disgregación, los procesos de sedimentación rigen a los que afectan tanto a las fracciones magnéticas, como a las no magnéticas del material.
- **Transformación química-** Relacionada con los procesos de intemperismo, génesis de suelos y la diagénesis de los sedimentos que tienden a presentar una transformación de hierro con carácter paramagnético a la forma ferrimagnética o antiferromagnética.
- **Concentración y disolución-** Son distintos los procesos que afectan tanto a la concentración, como a la disolución. Los minerales magnéticos primarios pueden presentar mayor resistencia dentro de un estrato, que en un suelo durante el intemperismo, de tal manera que se concentran en la parte superior de la capa alterada (regolita). Además, el crecimiento y acumulación de materia orgánica en los suelos, afectan la concentración de minerales magnéticos, así como el depósito y precipitación del material.

En consecuencia, un suelo presenta un aumento en su carácter magnético en la parte superficial si existe (Maher, 1998):

1. Conversión de algunos óxidos de hierro (u otra fuente de hierro) débilmente magnéticos en minerales ferrimagnéticos fuertemente magnéticos, como es el caso de la magnetita y la maghemita.
2. Persistencia de estos minerales ferrimagnéticos en el suelo.
3. Concentración selectiva de minerales ferrimagnéticos resistentes a la alteración.

Los principales minerales magnéticos en los suelos y loess son la maghemita, goetita y la hematita, (Maher, 1986, Schwetmann 1988, Liu et al., 1993) y ocasionalmente magnetita (Longworth et al., 1979).

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Marco Teórico

Los minerales ferromagnéticos (*sensu lato*), es decir, los ferrimagnéticos y los antiferromagnéticos que se presentan con más regularidad son los óxidos e hidróxidos de hierro (Bogalo, 1999), cuyos compuestos se encuentran dispersos finamente dentro de una matriz no magnética, con elementos diamagnéticos.

Se considera que la asociación de goetita-hematita (Schwertmann, 1988), es la más extendida de los óxidos de hierro, que se presenta en suelos de clima cálido.

Tanto la magnetita como la maghemita, en el grupo de óxidos de hierro, son los de mayor importancia para este tipo de análisis. El primero se puede presentar tanto, como mineral primario proveniente de rocas ígneas (principalmente básicas), como secundario en caso de presentar diversos procesos químicos. Para el caso de la maghemita, es considerado como secundario ocasionado por la oxidación a baja temperatura de la magnetita y la deshidratación de lepidocrocita.

Los procesos de oxidación-reducción, se ven fuertemente vinculados con los efectos climáticos como la precipitación e incrementos de temperatura, (Tite y Lenington, 1975), los que se reflejan en las mediciones de los parámetros magnéticos, como en la susceptibilidad magnética. Se ha observado que existe un incremento de ésta hacia la parte más superficial (Le Borgne, 1955 y 1960; Dunlop y Özdemir, 1997), debido a la reducción que presenta la goetita o hematita hacia magnetita, que posteriormente se oxida para formar maghemita, ocasionado entre otras cosas por:

- Combustión de la materia orgánica, que da por resultado un incremento de la temperatura y reducción en la atmósfera (Longworth et al., 1979).
- Fermentación ocasionada por un decaimiento en el contenido de materia orgánica, bajo condiciones anaeróbicas durante periodos húmedos, donde también se puede dar la reducción de la hematita. La oxidación se presenta bajo condiciones aeróbicas de sequía posterior.
- Acumulación preferencial de minerales litogénicos (Fine et al., 1989) y productos *in situ* de óxidos magnéticos, debidos a su génesis (Maher y Taylor 1988).
- Intervención de bacterias magnéticas⁷ (Fassbinder et al., 1990, Maher y Thompson 1991, Moskoitz 1993).
- Bacterias reductoras de Hierro (Lovely et al., 1987; Fisher 1988).

⁷ Bacteria magnética. - Organismos que contienen magnetita cristalizada en forma intracelular en cadenas de SD que se polarizan a lo largo de un eje.

- Aporte exterior de minerales magnéticos debido a causas naturales (cenizas volcánicas), y factores antropogénicos, como la contaminación industrial (Maher 1986).

Por lo que en un perfil, el suelo más viejo dentro de una secuencia, será aquel que presente un mayor aumento magnético en su parte superficial (Woodward et al., 1994), que es aplicable para aquellos suelos derivados de loess como un indicador efectivo de las fluctuaciones climáticas, que pueden relacionarse con los registros isotópicos de oxígeno en los sedimentos profundos. No así en los originados de rocas ígneas, ya que los valores más altos corresponden al material parental (Thompson y Olfield 1986, Lu 1991, Oldfield 1991; Yu y Lu 1991; Lu 1999).

11.7 Suelos

No se tiene una definición exacta de lo que son los suelos, ya que existen tantos conceptos como aplicaciones tengan éstos (Figura 7).

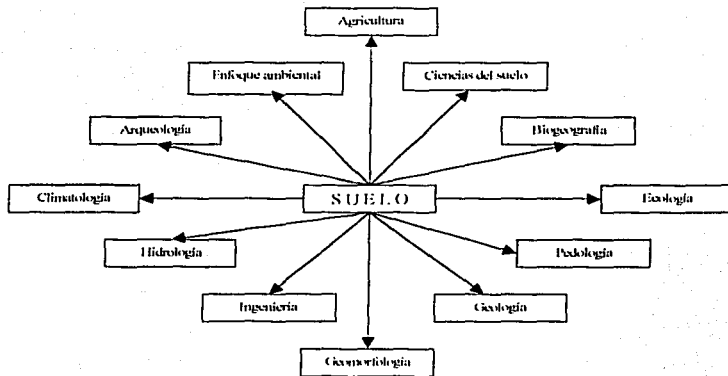


Figura 7. Relación del suelo con otras ciencias (Ellis-Mellor 1995)

Es por eso que tratando de dar una definición que resulte lo más completa, se considera al suelo como (Buckman y Brandy, 1977; Lugo et al., 1989; Buol et al., 2000): la capa superficial de la litosfera que posee fertilidad y vegetación, compuesta por varios horizontes paralelos a la superficie, con características impartidas por los procesos de formación del suelo. Además cuenta con una secuencia compuesta, en general por los horizontes A, B y C, que surge de una transformación compleja de la roca madre por la acción combinada de los agentes o factores formadores de suelo: clima, vegetación, organismos, relieve, tiempo. Dichos factores contribuyen a la desintegración de las rocas por medio de procesos físicos, químicos y biológicos. Presenta una estructura sólida y porosa de composición heterogénea que posee diversos componentes mineralógicos y litológicos como: feldespatos, micas, anfíboles, olivino, ferromagnesianos, además contiene agua y elementos nutritivos.

11.7.1 Descripción de Horizontes

Un horizonte es el material transformado o modificado por efecto de los factores formadores que se encuentran dispuestos en posición paralela a la superficie del suelo. Los diferentes tipos de horizontes (Figura 8) son reflejo de las diversas condiciones a las que estuvo expuesto el suelo en su formación, aunque pueden ser relacionados con la intensidad y la duración de la pedogénesis (Retallack, 1990).

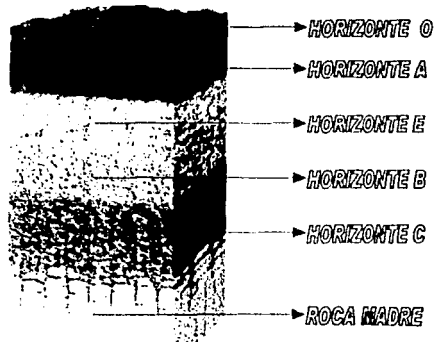


Figura 8. Perfil morfológico de un suelo. (Carbuck y Lutgers, 2000)

Así, frecuentemente es la erosión acelerada la que no puede ser compensada por los procesos formadores del suelo, que junto con la erosión eólica, salinización, contaminación e inundaciones, entre otros, son lo que causa un empobrecimiento paulatino de los suelos y por ende la alteración en las condiciones ambientales del ecosistema (Maass y García 1990).

Algunas de las características generales de cada horizonte son:

- El horizonte O u orgánico, está formado por el mantillo orgánico derivado de plantas y animales depositados en la superficie mineral, con un espesor de hasta treinta y cinco centímetros aproximadamente, que varía dependiendo de las condiciones del sitio estudiado y que es dominado por material orgánico fresco o parcialmente descompuesto.
- El horizonte A, afectado por procesos eluviales⁸, es el más superficial y llega hasta unos sesenta centímetros de espesor. Puede ser de color oscuro debido a su abundante contenido en humus, (material orgánico descompuesto), que constituyen la zona donde se encuentra la mayor parte de las plantas; formado por partículas muy finas de arenas y arcilla. En su parte inferior el agua penetra, provoca la separación de los compuestos coloidales⁹ y de bióxido de carbono que emigra a los niveles inferiores, con lo que se da un proceso de lavado denominado lixiviación.
- El horizonte B, con procesos de iluviación¹⁰, se desarrolla debajo del horizonte A y que tiene un espesor que varía generalmente de veinte a ochenta centímetros, llegando en ocasiones hasta un metro. También es considerado como un horizonte de acumulación mineral o alteración; es de color más claro, pardo, rojizo a amarillento y esto, por lo general, es indicador de la existencia de óxidos de hierro.

Además de contener todos los elementos coloidales que provienen del horizonte A, es también más plástico y menos poroso. En los climas secos, el carbonato de calcio arrastrado por las aguas que se filtran, precipita en determinados lugares de este horizonte dando lugar a la formación de concreciones calcáreas o caliche.

También, presenta una concentración de arcillas, hierro, aluminio y/o humus solos o en combinación, una concentración *in situ* de óxidos de hierro aluminio y titanio (sesquióxidos). Estos materiales cubren partículas de arena y limo en cantidad

⁸ Eluviación.- Proceso de remoción de constituyentes de un horizonte del suelo, capa o zona por solución o lavado.

⁹ Compuestos coloidales.- Son las partículas de 1 a 2 micras de diámetro o menos, se refiere a la arcilla y al humus, dos constituyentes importantes de todos los suelos. Se reconocen dos grupos de arcillas: las arcillas silíceas que son características de las regiones templadas, y las arcillas con óxidos hidratados de hierro y aluminio que se localizan en los trópicos y semitrópicos.

¹⁰ Iluviación.- Proceso que permite la captación de los materiales removidos por eluviación, siendo los horizontes B los más comunes.

suficiente para dar origen a colores más oscuros, intensos y rojos que los horizontes supra y subyacentes. La alteración de minerales es tan pronunciada que destruyen la estructura de la roca inicial.

- El horizonte C llamado a menudo material parental del suelo, es el más profundo y constituye la transición a la roca madre o generadora, puede variar desde cincuenta centímetros aproximadamente hasta metros. Constituido por cantos sueltos en una matriz arcillosa-arenosa que van siendo más numerosas y de mayor tamaño hacia la zona profunda, en donde se encuentra la roca fresca. Esta roca ha formado el *solum*¹¹ y se encuentra relativamente poco afectado por los procesos pedogénicos.
- Horizonte R es considerado la roca madre consolidada y subyacente como el granito, arenisca o caliza a partir de la cual se formó el horizonte o capa superior adyacente, y diferente al material suprayacente.

Asimismo, existen horizontes de transición como: AB, AC, BC los cuales presentan una combinación de las características propias que los conforman. Los horizontes B y C, pueden ser acompañados por subíndices que denotan el desarrollo de una característica prominente, como resultado de los procesos de formación, entre los que se tienen:

- (g) Gleyzación fuerte, por la reducción intensa del hierro durante el desarrollo del suelo debida al agua estancada, y por lo tanto, condiciones anaeróbicas.
- (h) Acumulación de humus, es común en los horizontes A. En los horizontes B aparece en forma de recubrimientos oscuros sobre partículas de arena o limo.
- (w) Se asocia a aquellos horizontes que presentan características de intemperismo.
- (p) Indica perturbación por cultivo o pastoreo.
- (t) Presencia de cutanes de arcilla en los horizontes B.

¹¹ *Solum*.- Perfil incompleto del suelo.

II.7.2 Propiedades de los Suelos

A continuación se presentan algunas de las propiedades que se observan en los paleosuelos de la zona de estudio.

A. Morfológicas

Entre las propiedades morfológicas de los suelos destacan: el color y la estructura.

El color es la propiedad más importante para el estudio, análisis y diagnóstico de los suelos en campo. En algunos casos presentan "colores remanentes", es decir, aquellos heredados de los materiales parentales, antes de que sufriera alguna transformación con el tiempo. En otros, el color está relacionado con procesos pedogenéticos.

Así, por ejemplo, el color rojo puede ser indicador de una acumulación de óxidos de hierro. El color gris es asociado a condiciones reductoras, y el negro lo es de acumulación de materia orgánica.

La estructura es la agrupación de partículas individuales del suelo (grava, arenas, limo, arcilla y materia orgánica), en unidades secundarias más grandes (peds¹²). Se expresa como plana, prismática, columnar, nuciforme y esferoidal (granular, desmoronable). Además, es la estructura del suelo la que permite explicar el tipo de drenaje interno y una capa impermeable, compacta hará más lento el movimiento del agua y restringirá el desarrollo de las raíces.

B. Propiedades físicas

Los suelos presentan tres fases:

a) Fase sólida, donde predominan las asociaciones de minerales primarios (cuarzo, feldespatos, micas y otros) y secundarios (montmorillonita, caolinita, hidromicas, etc.). Con esta fase se relacionan distintas sustancias orgánicas, incluyendo humus¹³ y coloides.

b) Fase líquida, en la que intervienen soluciones orgánicas, minerales y gases.

¹² Peds- Elementos o unidad estructural del suelo.

¹³ Humus.- Es el producto final de la descomposición de los residuos orgánicos en el suelo, es un material complejo, rico en lignina, aceites, grasas y resinas, que son los principios orgánicos más resistentes a la descomposición.

c) Fase gaseosa, que implica el relleno de los poros libres de agua, por gases que también son absorbidos por partículas coloidales y disueltas en las soluciones del suelo.

Además se tienen entre otras propiedades:

1) Textura, relacionada con el tamaño de partículas y proporciones relativas de éstas, así como su posible esfericidad y redondez.

2) Porosidad, es el volumen de huecos o espacio entre las partículas que conforman al horizonte con relación al volumen total del suelo.

C. Propiedades químicas

Algunas de las propiedades químicas más relevantes están:

La materia orgánica, cuyos principales componentes son el nitrógeno y el carbono. El contenido de carbono orgánico es un indicador de la cantidad de materia orgánica presente en un horizonte, bajo diversas condiciones ambientales; además, su cuantificación permite diferenciar entre suelos orgánicos y minerales (Buol et al., 2000).

El contenido de hierro libre es la porción de hierro total que se presenta en forma de óxidos hidratados, no componentes de la estructura de los silicatos laminares, es soluble en reductantes y aparece en recubrimientos de arcillas, partículas discretas o posiciones interlaminares. Además es un indicador importante del intemperismo y tiene un efecto preponderante en los colores del suelo.

II.7.3 Factores Formadores de Suelo

El estudio de la génesis de suelos está basado en la determinación y comprensión de los procesos de alteración y desarrollo del suelo a partir de rocas o sedimentos, así como de aquellos derivados de la actividad biológica de plantas y animales.

Una de las condiciones fundamentales para establecer la génesis de un suelo, es el conocimiento de los procesos edafogénicos (heterogéneos y de gran complejidad), que marcan la secuencia y grado de alteración de los minerales primarios presentes en las rocas mismas. Usualmente involucran un cuidadoso análisis de suelos y paleosuelos de diversas edades o situaciones geológicas (Retallack, 1990).

Son cinco los factores establecidos por Dokuchaev a fines del siglo XIX, a partir de los cuales se dan las condiciones propicias para que se lleve a cabo la génesis de suelos (Buol et al., 2000): Clima, Relieve, Organismos, Material parental y el Tiempo.

El modo de combinar todos los factores en la descripción del sistema suelo, permite predecir las propiedades y origen, y si hay algún cambio en los factores, éste se verá reflejado en la tipogénesis del suelo. La importancia de cada factor es relativa y variable, dependiendo de cada región, por lo que no se puede generalizar (Solleiro, 1992).

La variación en uno o más factores de la génesis de suelos pueden causar un cambio en sus características con lo que, de un mismo lugar, se pueden obtener diferentes tipos (Atkinson, 1986; Wright, 1986).

11.7.3.1 Clima

Desde un punto de vista objetivo, es considerado el factor de mayor peso para la génesis del suelo, determinando en gran parte la naturaleza del intemperismo, misma que se produce por medio de dos parámetros fundamentales: temperatura y precipitación. Se sabe que las temperaturas elevadas aceleran dicho proceso, mientras que la lluvia cuando es intensa, produce un lavado de elementos químicos básicos como el calcio, potasio y magnesio.

El agua es un agente necesario para la formación de suelos, ya que disuelve los materiales solubles, propicia el crecimiento de plantas y otros organismos que contribuyen con materia orgánica al suelo, transporta materiales de un lugar a otro y rompe físicamente los materiales al congelarse. El tipo y la rapidez de las reacciones en que participa el agua son dependientes, entre otros factores de: la temperatura, pH, potencial de óxido - reducción.

Cuando el sistema suelo se enfría, hasta que el agua se solidifica, cesan todas las reacciones químicas en que ésta participa, aunque pueden producirse rompimientos físicos de las partículas mayores, por acción de la congelación. El índice de descomposición de la materia orgánica también es afectado directamente por la temperatura. Esto se puede apreciar recurriendo a la regla de temperatura de Van't Hoff, la cual indica que por cada 10°C de temperatura, la rapidez de reacción química aumenta en un factor de dos a tres.

Por otro lado, la radiación solar que llega al suelo se ve reducida también por la cubierta de nubes y cambia notablemente en las distintas estaciones del año. Una vez que la radiación solar llega a la superficie del suelo, debe absorberse antes de transformarse en calor.

La absorción se ve afectada por muchas variables, tales como: color, orientación de la superficie con respecto a la radiación solar que llega y cubierta vegetal. En general, cuanto más oscuro sea el color del suelo, tanto más bajo será el albedo.

II.7.3.1.2 Intemperismo

Uno de los procesos más importantes en la formación y desarrollo de los suelos es el intemperismo, ya que permite que se alteren las rocas (Figura 9), liberando materiales que posteriormente se transportan y depositan en otro lugar.

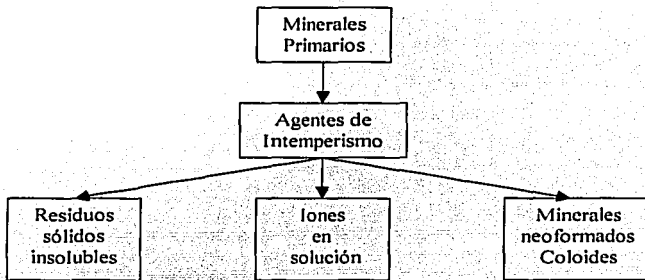


Figura 9. Productos resultantes del Intemperismo, (Ford, 1984)

El intemperismo se puede definir como:

- Alteración química y rompimiento mecánico de los materiales rocosos durante la exposición al aire, humedad y materia orgánica. (Robinson, 1990).
- Proceso de transformación y destrucción de minerales y rocas en la superficie terrestre, a poca profundidad, bajo la acción de agentes físicos, químicos u orgánicos. (Lugo et al., 1989).

El intemperismo puede ser de tres tipos:

Intemperismo físico (mecánico)- Conduce a la desintegración de las rocas, formando detritos de diversas dimensiones. Se produce principalmente por cambios de temperatura y presión ambiental, congelamiento y derretimiento de hielo en las fisuras de las rocas (gelifracción); evaporación y cristalización de sales contenidas en agua (en desiertos).

Predomina en zonas con climas secos, subpolares y polares en los que la termoclastia¹⁴-exofoliación¹⁵, bioclastia¹⁶, abrasión-deflación y el crecimiento de cristales de sales depositadas en las rocas, son algunos de los procesos más comunes que dan origen a este tipo de intemperismo.

Intemperismo químico- Se produce por la acción del agua, oxígeno y bióxido de carbono; el agua produce disolución, hidratación e hidrólisis que dan origen a la desintegración de los minerales. Por otro lado, el oxígeno es un agente energético y el ácido carbónico incrementan la concentración de iones hidrógeno. Este tipo de intemperismo es típico de zonas que presentan un clima caliente-húmedo y templado-húmedo, que incluye la segregación, la ruptura de rocas y minerales ocasionada por la actividad química.

Intemperismo biológico - Ocasionado principalmente por la acción de diversos animales, plantas y microorganismos, que contribuyen a la producción de diferentes ácidos y sustancias que alteran a las rocas.

II.7.3.2 Relieve

El relieve, como factor formador de suelo, está estrechamente relacionado con los procesos de destrucción de las rocas, ya sea por intemperismo (físico, químico o biológico) o por erosión, en la cual el material sufre un transporte desde el medio generador, hasta el momento en el que alcanza un estado dinámico estable sobre la corteza terrestre.

La influencia del relieve en la génesis de suelo se refleja a través del movimiento del material en las pendientes del terreno y del drenaje, siendo dos importantes factores los que se pueden distinguir: el ángulo y posición de la pendiente. El ángulo de la pendiente determinará el potencial de translocación¹⁷, la cantidad de precipitación recibida por unidad de área en la superficie, decreciendo dicha relación, al incrementarse la pendiente. Además, la posición del suelo con respecto a la pendiente tenderá a presentar una gran influencia en los procesos pedogénicos.

El relieve actúa fuertemente en las siguientes propiedades del suelo: profundidad, espesor, humedad relativa, color, grado de diferenciación de los horizontes, reacción del suelo, temperatura y tipo de material inicial.

¹⁴ Termoclastia.- Fragmentación o segregación superficial de una roca coherente como consecuencia directa de los cambios de temperatura que afectan a las mismas, y que se reflejan en tensiones mecánicas y producen variaciones en su volumen.

¹⁵ Exofoliación.- Fragmentación por cambios de presión en las rocas, produciendo un rompimiento en capas.

¹⁶ Bioclastia.- Fragmentación debida a la actividad de diversos organismos.

¹⁷ Translocación.- Proceso que se lleva a cabo por la acción del agua que se desplaza a través del suelo, normalmente es vertical y descendente, aunque puede presentar movimientos laterales u oblicuos.

II.7.3.3 Material Parental

La fuente primaria del material que compone a los suelos de la corteza terrestre, son las rocas y sedimentos que se encuentran en la superficie de la tierra (Tabla 7) y que están expuestos a los agentes atmosféricos y biológicos que inician los procesos de intemperismo físico, químico o biológico (O'Really, 1984).

Cuanto más joven sea el suelo, tanto mayor será la influencia y relación del material parental con éste. Conforme se llevan a cabo los procesos edafogénicos y de intemperización, así como la erosión, la influencia de los materiales originales tiene cada vez un valor más bajo.

Ignea	Sedimentaria	Metamórfica
Granito	Conglomerados	Cuarcita
Felsita	Arenisca	Mármol
Riolita	Limolita	Hornfels
Diorita	Lodolita	Pizarra
Andesita	Lutita	Filita
Gabro	Caliza	Esquisto
Dolerita	Dolomita	Gneiss
Basalto	Yeso	

Tabla 7. Clasificación geológica de los materiales parentales más comunes, (Miller y Donahue 1995)

En los suelos antiguos y extremadamente intemperizados, se presenta relativamente poca influencia del material inicial, a menos que se tenga una composición extrema, como en el caso de la arena de cuarzo estéril. La influencia de la meteorización es evidente en todas partes, rompe la roca, modifica y destruye las características físicas y químicas con lo que se lleva los productos solubles y algunos sólidos. Los residuos no consolidados son abandonados, pero el proceso de meteorización continúa.

Es por eso que, el material parental refleja principalmente el grado de intemperización presente, ya que durante éste se determina la cantidad y tipo de minerales que dan origen a un suelo. Así, las propiedades físicas de las rocas como: clivaje, porosidad, coeficiente de expansión, conductividad térmica, determinan la resistencia a ser intemperizados (Gerrard 1988; Ellis y Mellor 1995)

II.7.3.4 Organismos

Se encargan de la descomposición del material y contribuye a la formación de humus, que posteriormente formará parte del perfil de un suelo. Los ácidos orgánicos que se desarrollan donde hay vegetación en descomposición, tienden a incrementar los procesos de disolución del agua en su entorno.

El contenido de materia orgánica del suelo es pequeño, ya que sólo entre el 3 y el 5 % en peso es considerado para un suelo típico, en la parte superficial. Su influencia sobre las propiedades del suelo es, no obstante, mucho mayor que lo que pudiera creerse en comparación con el porcentaje de materia que lo constituye.

El hombre es considerado uno de los componentes más importantes dentro de los factores de génesis de suelos debido a su gran influencia con el medio y que puede modificar su tipogénesis (Primavesi 1984).

II.7.3.5 Tiempo

Al igual que el espacio, el tiempo se considera continuo e independiente de los otros factores formadores. El tiempo cero es el punto del tiempo en que se completa un suceso catastrófico desde el punto de vista edafológico, como lo sería un cambio repentino y abrupto en la topografía o en el nivel freático ocasionado por un levantamiento geológico, una erupción volcánica, la inclinación de la litosfera, etc con lo que se inicia la formación de un nuevo suelo.

La relación entre suelo y tiempo se puede analizar (Buol, et al., 2000), en función de una etapa relativa de desarrollo, fechas absolutas de horizontes y perfiles, la edad de pendientes, el grado de intemperismo.

II.7.4 Paleosuelos

El término paleosuelo (paleos - del griego "antiguo", solum - del latín "suelo"), se asigna a los suelos conformados en el pasado sobre antiguos paisajes, o a los originados bajo condiciones climáticas inestables que se reflejan en los cambios de vegetación (Ruhe 1956; Yaalon 1971; Bronger y Catt, 1989b).

Los Paleosuelos son suelos del pasado, constituidos por diferentes tipos de horizontes que han sido preservados de la acción erosiva por agentes externos y se conservan fosilizados dentro de una secuencia sedimentaria. La paleopedología, es la parte de la geología que se encarga de su estudio. Son abundantes en algunas secuencias sedimentarias, pero en varios casos, han sido enmascarados por procesos diagenéticos, lo que dificulta su interpretación (Retallack, 1990). Se encuentran en diversos registros dentro de la columna geológica, debido a la alteración física, química y biológica de los sedimentos y otros materiales, ocurrida durante épocas estables y representan hiatus, diastemas; discontinuidades (Wright 1986). También son encontrados frecuentemente en depósitos de ceniza volcánica, y la principal diferencia con los paleosuelos antiguos, es que están mucho menos intemperizados (Cambell, 1986; Wright, 1986).

Debido al condicionamiento climático que presentan los suelos, el estudio de las características de los paleosuelos permite conocer las condiciones climáticas que reinaron en el pasado, durante su formación.

Para realizar una correcta interpretación paleoclimática o geomorfológica de los paleosuelos (Bronger y Catt, 1989a), es de suma importancia diferenciar un suelo que se formó *in situ* de uno que ha sufrido uno o más depósitos

Si se trata de la parte más superficial y alterada del sustrato rocoso, los suelos son susceptibles de ser erosionados, lo que dificulta su presencia en el registro geológico. Los suelos que más fácilmente se conservan, son aquellos que presentan un perfil con horizontes resistentes (lateritas, costras calcáreas, etc.

Se considera que existen tres clases de paleosuelos (Ruhe 1965; Buol et al., 2000):

- ✓ Sepultados- Aquellos que fueron cubiertos por diferentes tipos de sedimentos los cuales finalizan su pedogénesis.
- ✓ Exhumados, (paleosuelos no sepultados)- Suelos que se formaron bajo condiciones climáticas totalmente diferentes a las actuales, que fueron sepultados, y posteriormente expuestos debido a la erosión (Fanning y Fanning, 1988) .
- ✓ Relictos, Son los suelos que nunca han sido sepultados, expuestos a varios ciclos de pedogénesis, de tal forma que sus efectos, se han superpuesto.

Las observaciones geomorfológicas, estratigráficas y pedológicas en campo son fundamentales para estudiar los paleosuelos, que junto con la micromorfología y mineralogía son esenciales para la identificación de las propiedades relictas (Bronger y Catt, 1989a). Cuando los rasgos relictos predominan en el perfil, el suelo es considerado como un paleosuelo.

III Marco General del Área de Estudio

El área de estudio (Figura 10), se localiza en el volcán del Nevado de Toluca, que forma parte de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT), de edad Cuaternaria (Urrutia y Del Castillo, 1977; Demant et al., 1978). La FVT es una cadena de grandes estrato-volcanes con orientación W-E, cercana al paralelo 19 que atraviesa el país, y la conforman múltiples volcanes entre los que se encuentran: el volcán de Colima, Tancitaro, Xinaltécatl (Nevado de Toluca), Popocatepetl, Iztaccihuatl, Matlacuéyatl (Malinche) y Citlaltépetl (Pico de Orizaba), entre otros; donde el vulcanismo dominante es de carácter calco-alcalino (Macías et al., 1997).

Aunque, también ha sido dividida (Aceves, 1996) de acuerdo a sus características morfológicas y estructurales en tres sectores principales:

- El sector occidental, activado en el Plioceno, que presenta una serie de grabenes¹⁸ en dirección NW-SE, asociados a la apertura del Golfo de California.
- La sección central, representado por un sistema de bloques fallados y basculados en dirección WSW-ESE, que rodean a una depresión central, y
- La parte oriental, que presenta estructuras distensivas que están representadas esencialmente por un sistema de fallas N-S que se relacionan con los grandes estrato-volcanes del FVT.

¹⁸ Graben- Valle formado por el hundimiento de un bloque limitado por fallas.

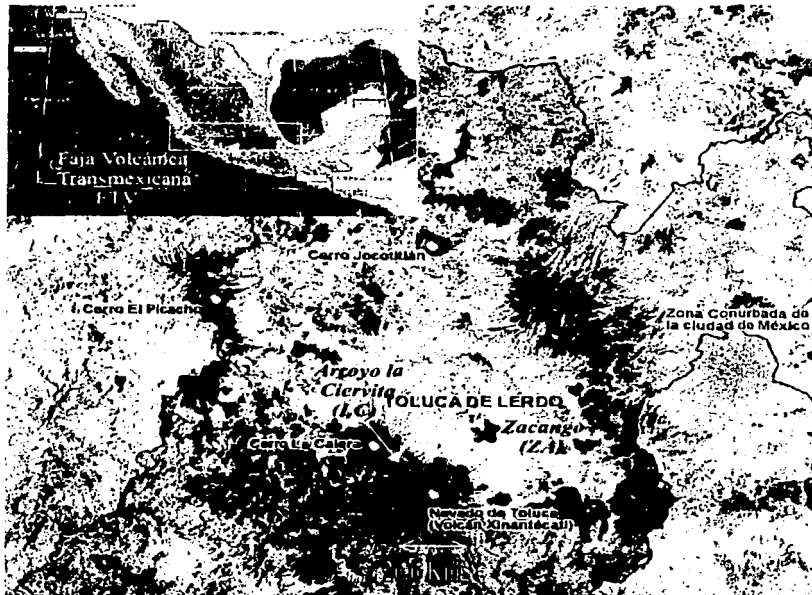


Figura 10. Ubicación de la zona de estudio, tomado y modificado de <http://www.mega.com.gt/mx>

El Nevado de Toluca o Xinantécatl (El hombre desnudo, en náhuatl), es uno de los cuatro volcanes más altos del país (4680 msnm) y un estratovolcán de tipo poligenético¹⁹ cuya composición es andecítica-dacítica (Macías et al., 1997). Hace 11,000 años mostró gran actividad, caracterizada por enormes depósitos de pómez. (Bloomfield y Valastro, 1977). Su última etapa de actividad fue hace 3200 años (Macías et al., 1997). Se localiza aproximadamente entre las coordenadas 19°-19°15'N y 99°40'-99°50'W, a 22 Km al SW de la ciudad de Toluca y a 60 Km de la Ciudad de México.

¹⁹ Volcán poligenético.- Son aquellos que tuvieron derrames amplicos de lava y fragmentos explosivos con efusión de materiales sólidos que dieron origen al edificio ígneo.

III.1 Geología

La historia del Nevado comenzó hace 1.5 millones de años, con una emisión de lavas andesíticas que construyeron el volcán. Una segunda etapa ocurrió hace 100,000 años con la intrusión del domo central y su destrucción explosiva (Bloomfield y Valastro, 1977; Solleiro et al., 2001).

La estructura más reciente del Nevado es la del cono central, está formado por la superposición de lavas y materiales detríticos, siendo dos los colapsos de mayor intensidad durante el Pleistoceno (Macías et al., 1997), y una menor durante el Holoceno. Se han reconocido diversas erupciones, las principales son:

- Flujos piroclásticos no fechados, con edades >50,000 años A.p.
- Flujos de pómez de color rosa (FPR), de 42,000 años A.p. aproximadamente (Macías et al., 1997).
- Flujos de bloques y cenizas grises (FRGB), datado entre 37,000 y 28,000 años (Macías et al., 1997).
- Pómez Toluca Inferior (LTP), fechado en 24,000 años A.p. (Bloomfield y Valastro, 1977).
- Pómez Toluca Superior (UTP), fechado en 10,500 años (Arce et al., 2002)
- Flujo piroclásticos fechados en 3200 años A.p. (Macías et al., 1997)

De acuerdo con la clasificación geomorfológica propuesta por (Aceves 1996), dichas erupciones constituyen parte de las laderas de flujos piroclásticos del Volcán Nevado de Toluca.

III.2 Clima

El clima dominante en el Nevado de Toluca es templado, subhúmedo que pasa a semicálido hacia el poniente y a semiseco al norte. En las elevaciones mayores, se presentan climas semifríos, subhúmedos.

Las condiciones climáticas reportadas en dos estaciones meteorológicas (García 1988; Sedov et al., 2002) indican que la temperatura media anual es de 12.7°C y la precipitación de 791.6 mm en la ciudad de Toluca a 2,675 msnm, y para el Nevado, a 4,140 msnm es de 4.2°C y 1,243.5 mm respectivamente.

III.3 Vegetación

Se consideran tres tipos de vegetación de acuerdo con el clima y la altitud (Rzadowsky et al., 1978; Sandoval et al., 1987; García et al., 1988; Solleiro et al., 2001):

- A una altitud de entre 2,300 y 2,700 m, en un clima de tipo subhúmedo con una temperatura media anual de 12 a 18 °C y una precipitación anual de 734 mm; con una vegetación de carácter agrícola (maíz y pastizales).
- A una altitud de 2,700 a 4,000 m, con un clima sub-frío y sub-húmedo presentando una precipitación anual de 1,100 mm y temperatura media de entre 4 y 12 °C. La vegetación dominante en esta zona incluye pinos y cedros.
- En la alta montaña, se presenta un clima frío con una precipitación anual de 1,229 mm, su vegetación está compuesta por pastos (zacate), y la temperatura media anual oscila de -3 a 4°C.

III.4 Suelos Modernos

FAO determino 28 unidades de suelos y 158 subunidades, de las cuales México cuenta con una gran diversidad de estos, ya que cuenta con 24 de las 28 unidades y 131 de las 158 subunidades. Los principales grupos de suelos de la región (Solleiro et al., 2001) son:

- Entre planicies y valles- Vertisoles, Cambisoles, y Phaeozems son los dominantes. En áreas mas jóvenes, se encuentran Histosoles y Fluvisoles.
- Suelos bajos en la parte alta- Se encuentran Leptosoles, Regosoles, Cambisoles y Andosoles ocrícos.
- Entre 2,000-2,700 msnmm en el Nevado de Toluca - Dominan los Andosoles, Cambisoles y algunos Luvisoles.
- De 2,700 a 3,700 msnm- Andosoles con horizontes A húmicos son los dominantes, que también son asociados a Regosoles y Leptosoles téfricos y ándicos .
- Suelos en la parte más alta (>3,700 m)- Regosoles téfricos, Leptosoles y algunos Crisoles se encuentran en esta zona. Para alturas a más de 4,000 m, los más comunes son los Leptosoles.

III.5 Paleosuelos del Nevado de Toluca

Los paleosuelos que hasta ahora han sido reconocidos y estudiados en esta área, se encuentran en la definición de paleosuelos sepultados por materiales volcánicos, tanto por flujos piroclásticos, como por piroclastos de caída, flujos piroclásticos y lahares.

En las dos localidades de estudio se han identificado 7 paleosuelos, mismos que se designaron como PT1-PT7 (Paleosuelos de Toluca), cuyas edades oscilan entre 13,000 y 100,000 años (Sedov et al., 2001; Solleiro et al., 2002). Las correlaciones de los paleosuelos de ambas localidades se muestran en la (Figura 10)

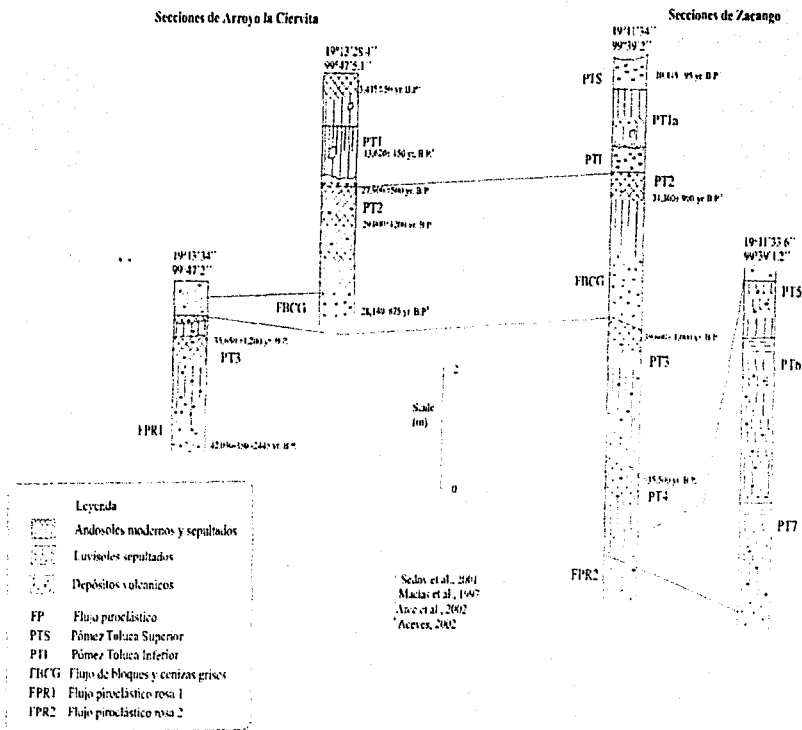
El primer paleosuelo PT1, presenta una edad aproximada de 13,000 años (Solleiro et al., 2001). Este suelo difiere del resto de los paleosuelos en el color, estructura, desarrollo de horizontes y se presume fue formado durante una fase más seca que la actual (Sedov et al., 2001 y 2002).

PT2, PT3, y PT4 muestran propiedades similares con un perfil del tipo Ah/AB/B/C. Son suelos con un horizonte de acumulación de materia orgánica (Ah) muy bien desarrollado, color oscuro, presentando un agrietamiento marcado (PT2 y PT3). Estas dos unidades comúnmente presentan más de un horizonte Ah, a diferentes profundidades, evidenciando que sufrieron varios procesos de acumulación de sedimentos y formación de suelo, originando pedocomplejos²⁰.

PT5, PT6 y PT7 son paleosuelos con propiedades diferentes a las que muestran los suelos más jóvenes. No tienen horizontes Ah, y han desarrollado horizontes de acumulación de arcilla (Bt), con colores pardos y estructura en bloques subangulares Su edad no se ha establecido con precisión, pero se considera que la formación de cada suelo requiere más de 10,000 años (Sedov et al., 2001) y representan periodos de gran estabilidad volcánica (Jasso et al., 2002). Algunas de las características encontradas en estudios previos, son expuestas en la Tabla 8a y 8b.

²⁰ Pedocomplejos: Aquellos perfiles que están constituidos por dos o más paleosuelos, superpuestos de forma vertical, cuyas características han evolucionado conjuntamente, de tal forma que su historia genética se ha superpuesto.

Figura 11, Relaciones estratigráficas entre los paleocuecos estudiados, de las secciones Arroyo la Ciervita y Zacango.



Área de Estudio

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Área de Estudio

Paleosuelo	Horizonte	Profundidad	Color en seco	Color en húmedo	Arena	Limo	Arcilla	C (%)	Fed (%)	Feo %
PT1	Ah	0-30	10 YR 5/3	10 YR 3/4	78.8	13.6	7.6	2.05	0.77	0.56
	BCw	30-75	10 YR 6/4	10 YR 4/4	72.5	16.1	11.4	0.86	1.10	0.41
	Bw	75-110	10 YR 6/4	10 YR 3/4	46.6	15.2	38.2	0.24	1.89	0.56
	BCw	110-135	10YR 6/4	10 YR 3/4	44.7	30.4	24.9	0.29	1.48	0.69
	C	135-145	10 YR 7/3	10 YR 4/1	84.2	8.4	7.4	0.14	0.45	0.25
PT2	Ah1	145-160	10 YR 4/2	10 YR 2/2	54.4	21.9	23.7	1.29	1.915	1.19
	Ah2	160-175	10 YR 4/2	10 YR 2/1	43	31.8	25.2	1.90	2.04	2.07
	Bw	175-205	10 YR 4/2	10 YR 2/2	39.5	28.4	32.1	0.52	1.78	1.69
	Ah	205-220	10 YR 4/3	10 YR 2/2	49.4	33.1	17.5	1.44	1.82	1.98
	AB	220-256	10 YR 5/3	10 YR 3/2	42.4	24.3	33.3	0.22	1.72	0.98
	Bw	255-290	10 YR 6/3	10YR 6/2	43.2	30.5	26.3	0.05	1.66	0.76
	BC	290-320	10 YR 6/3	10 YR 4/4	62.5	21.4	16.1	0.33	0.92	0.27
	Ceniza sup									
	Ah1	0-15	10 YR 3/3	10YR 3/1	68.1	18.6	13.3	0.21	0.305	0.49
	Ah2	15-45	10 YR 3/3	10 YR 2/1	87.9	8.1	4	2.21	1.54	0.87
AB	45-80	10 YR 4/2	10 YR 3/2	53.2	30.6	16.2	1.75	1.32	1.15	
Ah	80-95	10 YR 3/2	10 YR 2/1	49.1	26.6	24.3	2.67	1.555	1.23	
AB	95-120	10 YR 5/3	10 YR 3/2	43.6	30.2	26.2	1.59	1.58	1.01	
Ah	120-160	10 YR 4/3	10 YR 2/2	37	38.7	24.3	1.44	1.94	0.92	
Bw	160-200	10 YR 6/4	10 YR 3/4	49.2	28.9	21.9	0.88	1.60	1.26	
BCg	>200	10 YR 7/3	10 YR 3/4	38	38.2	23.8	0.02	0.78	0.76	
PT3	Ah	0-6/10	10 YR 4/2	10 YR 2/1	56.9	23.4	19.7	1.75	1.26	0.79
	AC	10-15/20	10 YR 5/2	10 YR 4/4	67.4	19.7	12.9	1.00	1.10	0.40
	Ah	20-40	10 YR 3/2	10 YR 2/1	72.4	16.3	11.3	2.97	1.71	0.99
	AB	40-70	10 YR 4/2	10 YR 2/1	63.8	20.9	15.3	0.98	1.34	0.68
	Bw	70-110/120	10 YR 5/3	10 YR 3/4	56	22.8	21.2	0.83	2.15	0.54
	BC	120-182	10 YR 7/4	10 YR 3/2	66.8	13.8	19.4	0.25	1.95	0.37

C- Carbono orgánico; Fed-Hierro extraído con solución de ditionito-citrato-bicarbonato; FeO-Hierro extraído con una solución de oxalato ácido.

Tabla 8a. Algunas propiedades características de los paleosuelos de arroyo la Ciervita, etapa uno, (Sedw et al., 2001).

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Área de Estudio

Paleosuelo	Horizonte	Profundidad	Color en seco	Color en húmedo	Arenas	Limo	Arcilla	(%) C	(%) Fed	(%) Feo
PT2	Ah1	0-20	10YR3/3	10YR2/1	53.3	28.4	20.3	2.82	1.07	1.26
	Ah2	20-45	10YR4/2	10YR2/1	54.8	16.5	26.7	2.20	0.65	0.99
	Bw	45-90	10YR5/3	10YR3/2	49	23.2	27.8	1.13	0.93	0.75
	BC	90-110	10YR7/3	10YR4/3	56.4	36.3	7.3	0.52	0.47	0.44
	C	110-210	10YR7/1	10YR4/2	89.5	7.9	2.6	0.01	0.20	0.57
PT3	Ah1	210-220	10YR5/2	10YR3/2	56.5	24.8	18.7	0.68	0.56	0.39
	Ah2	220-260	10YR3/3	10YR2/1	54.9	26.1	19	1.29	1.06	0.92
	AB	260-278	10YR4/2	10YR2/1	51	24.5	24.5	1.29	1.09	1.77
	Bw	278-335	10YR4/2	10YR3/2	51.1	25	23.9	1.75	1.21	1.44
	Bw	335-347	10YR5/2	10YR2/2	57.3	26	16.7	1.44	0.81	0.74
	BC	347-380	10YR5/3	10YR3/2	57.5	24.9	17.6	0.06	0.67	0.53
C	380-410	2.5YR7/2	10YR4/2	84.9	20.2	14.9	0.00	0.35	0.75	
PT4	Ahr	0-8	10YR6/4	10YR3/4	63.2	19.2	17.6	0.21	0.82	0.81
	Ah2	8-33	10YR5/4	10YR3/2	52	23.2	24.8	0.37	0.68	0.43
	Bw	33-60	10YR5/4	10YR3/2	48.6	26.9	24.5	0.21	0.84	0.50
	Bw	60-90	10YR6/4	10YR3/4	56.1	28	17.9	0.16	0.87	0.53
	BC	90-120	10YR7/4	10R4/6	59	27.7	13.3	0.03	0.68	0.46
	C	-	10YR7/4	10YR5/6	67.2	20	12.8	0.03	0.50	0.20
PT5	Bt	0-30	10YR5/4	7.5YR4/4	48.2	24.6	27.2	0.24	1.10	0.25
	BC	30-50	10YR6/6	10YR4/6	55.7	22.9	21.4	0.24	1.15	0.24
PT6	E	0-30	10 YR 7/4	10 YR 4/6	51.8	11.9	36.5	0.02	0.79	0.20
	Bt1	30-45	10 YR 5/4	7.5 YR 4/6	47.6	18.3	34.1	0.02	1.18	0.21
	Bt2	45-70	10 YR 5/4	7.5 YR 4/6	39.1	25	35.9	0.02	0.88	0.25
	Bt3	70-180	10 YR 4/4	7.5 YR 3/4	37.1	22.4	40.5	0.05	0.89	0.26
	BC	180-220	10 YR 6/4	10 YR 4/4	34	17.8	48.2	0.02	1.02	0.23
C	220-255	10 YR 5/3	10 YR 3/4	70.8	15.1	14.1	0.03	0.80	0.26	
PT7	E	255-270	10 YR 4/4	10 YR 3/4	60.6	12	27.4	0.03	0.79	0.23
	Bt1	270-300	10 YR 5/3	10 YR 3/2	43.5	24.4	32.1	0.03	0.90	0.36
	Bt2	300-330	10 YR 5/4	10 YR 3/4	51.6	20.8	27.6	0.05	1.29	0.40
	BC	330-390	10 YR 5/4	10 YR 3/6	50.9	28.1	21	0.03	0.88	0.20
	C	390-450	10 YR 4/2	10 YR 2/1	75.8	12.6	11.6	0.02	1.07	0.16

C- Carbono orgánico; Fed-I hierro extraído con solución de ditionito-citrato-bicarbonato; FeO-Hierro extraído con una solución de oxalato ácido.

Tabla 8b, Algunas propiedades características de los paleosuelos de Zaenago, etapa uno, (Sekov et al., 2001).

III.6 Ubicación de las Localidades de Estudio

En esta región se estudiaron dos localidades en el flanco norte del volcán (Figura 10):

La denominada “Arroyo la Ciervita (LC)”, en donde se muestreó dos secciones (Figura 12A y 12B):

En la sección uno se localizan los paleosuelos PT1 y PT2 sepultados por un flujo piroclástico fechado en 3,200 años aproximadamente (Macías et al., 1997).

La sección dos contiene al paleosuelo PT3 que esta sepultado por un flujo de bloques y cenizas grises, fechado en 28,000 años aproximadamente (Macías et al., 1997).

El otro punto de estudio es el denominado “Zacango (ZA)”. Aquí se obtuvieron muestras de siete unidades pedoestratigráficas localizadas en dos secciones (Figura 13A, 13B y 13C):

- La primera abarca los paleosuelos PT1-A a PT4,
- Mientras que la segunda sección comprende de PT5 a PT7.

El paleosuelo más joven (PT1-a) se encuentra sepultado por la Pómez Toluca Superior (PTS) con una edad de 10,000 años, aproximadamente (Arce et al., 2002). A pesar de no haber sido fechado, se correlaciona con PT1 de arroyo la Ciervita (Solleiro et al., 2002).



Figura 12. Paleosuelos estudiados en Arroyo la Ciervita: A) Suelo mesomorfo, PT1 y PT2. B) PT3 sepultado por un flujo de bloques y cenizas grises.

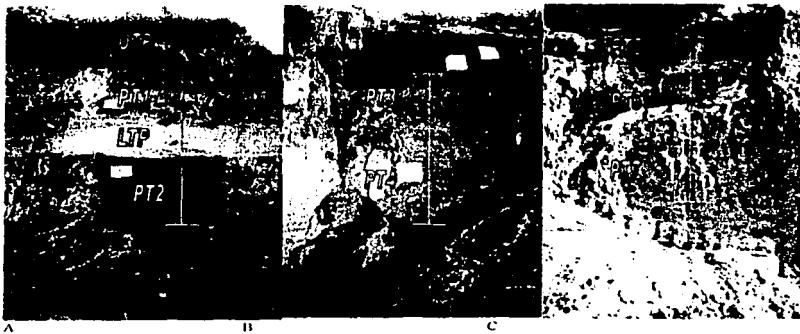


Figura 13. Paleosuelos estudiados en la localidad de Zoacanga: A) Vñmez Totolua Superior (UTP), PT1A, Vñmez Totolua Inferior (LTP) y PT2. ; B) Flujo de bloques y cenizas grises, PT3 y PT4; C) PT5, PT6 y PT7.

IV Metodología

Una vez localizado el lugar de estudio para el proyecto, se buscó toda la información disponible de la zona, así como los estudios geológicos, geofísicos, cartográficos existentes para tener una visión más amplia del objetivo que se persigue y obtener una interpretación adecuada que permita confirmar o descartar la hipótesis de trabajo.

En función de los estudios que se han realizado en la zona, se recibió la cooperación y apoyo de los Institutos de Geología y Geofísica de la UNAM, con lo cual se lleva a cabo análisis de carácter geológico y geofísico, dentro de un grupo de trabajo multidisciplinario, dividiendo el trabajo en tres grandes fases:

- Trabajo de campo, el cual abarcó tres etapas, realizadas en tres periodos diferentes,
- Trabajo de laboratorio y
- Trabajo de gabinete.

IV.1 En campo

Los puntos de estudio, se ubicaron con un sistema de posicionamiento global (GPS) y se hizo la descripción geológica - edafológica. Se llevó a cabo un desmonte de las secciones, se discutió sobre lo que se observó alrededor (geología) y se limpian los perfiles (cuyos espesores se encuentran entre 45 a 180 cm) de suelo del cual se obtienen las muestras para el análisis magnético.

El objetivo de limpiar los perfiles es contar con muestras lo más frescas posibles, y que no contengan rasgos de intemperismo o erosión que propicien una interpretación errónea. El muestreo se realizó de abajo hacia arriba, para evitar posibles contaminaciones que afecten los análisis. En este caso, el muestreo se efectuó a cada 10 cm, con excepción de PT5 que no presenta un desarrollo tan grande como el resto de los suelos, motivo por el cual se hizo el muestreo a cada 5 cm.

IV.2 En laboratorio

Las muestras son sujetas a estudios con el fin de determinar la clase y propiedades de los minerales magnéticos responsables de la magnetización remanente natural (NRM), así como otras características que podrían afectar la adquisición de las magnetizaciones.

Se analizaron las muestras de tres salidas a campo que corresponden a tres etapas diferentes (Tablas 9a, 9b y 9c).

- 1) Se realizaron los primeros análisis a 61 muestras cúbicas (T + #) tomadas en bolsas y clasificadas por suelos y horizonte dentro de cada unidad pedoestratigráfica, con las que se llenaron cubos de 8 cm³ para tener una primera aproximación del comportamiento de cada paleosuelo, y a las cuales se les midió la susceptibilidad en alta y baja frecuencia, la NRM y los parámetros de histéresis.
- 2) En la segunda etapa, el muestreo se llevó a cabo sobre 84 muestras cúbicas (LC + # y ZA + #) con un control sobre el tipo de suelo y profundidad del mismo, a las cuales, se les midió la susceptibilidad en alta y baja frecuencia, la NRM, IRM, ARM, parámetros de coercitividad y desmagnetizándose algunas muestras.
- 3) En la última etapa, se realizó el análisis de 103 muestras cúbicas (LC+0# y ZA+0#) cúbicas, a las cuales se les midió la susceptibilidad en altas y bajas frecuencias, NRM, ARM, y ARM inverso a diferentes campos (400, 700 y 1000 Oe), así como el IRM y el IRM inverso con diversos impulsos (cuyas equivalencias corresponden a los 100, 200, 300 y 1000 mT).

En ocasiones no fue posible tomar las muestras en los mismos sitios por lo que se colectaron en lugares diferentes (tres etapas), cuya distancia no fuera mayor a 10 m. Por lo que la equivalencia de las muestras de las tres etapas, son presentadas en las Tablas 9a, 9b y 9c para poder tener la mayor cantidad de información posible.

La logística para trabajar las muestras con los diversos equipos²¹ del laboratorio fue:

- Identificar las muestras (localización geográfica, paleosuelo, horizonte, profundidad, entre otras características).
- Pesar las muestras con balanzas de precisión Beco y Ohaus modelo E400D.
- Obtener las susceptibilidades en alta (4.7 kHz) y baja (0.47 kHz) frecuencia empleando un susceptibilímetro Bartington modelo MS2, un sensor dual tipo MS2B con el cual se obtienen los datos que proporcionan los elementos que permiten estimar los parámetros magnéticos, y así determinar la cantidad de minerales ferromagnéticos presentes en el suelo, tamaño y distribución de las partículas.
- Obtener las curvas de histéresis y sus parámetros, mediante un magnetómetro MICROMAG modelo 2900 con corrección de paramagnéticos.
- Medir con la NRM resultante de la suma vectorial de la ocurrencia de varias magnetizaciones que estén coexistiendo en la muestra, incluida la primaria

²¹ En el anexo I están las fotografías de los equipos utilizados.

- Obtener la ARM con un desmagnetizador Molspin Limited, y una unidad de magnetización remanente anhisterética parcial (pARM). Además de la medición de ARM, se llevo a cabo la medición del ARM inverso, para lo cual se introducen las muestras en dirección contraria a el caso del ARM. En esta etapa, las primeras muestras fueron medidas a diversos campos 40, 70, 100 mT, con un campo constante de 0.5 Oe, esto es para poder tener datos con los cuales se puede obtener factores como: S_{40} , S_{70} S_{100} . La medición del ARM y el ARM inverso, permite determinar la distribución completa de las partículas magnéticas, la cual se genera por la acción de dos campos magnéticos; uno de polaridad constante y otro de polaridad alterna con intensidad decreciente, y en general se considera análoga a la magnetización termoremanente.
- Obtener la IRM se lleva mediante un magnetizador de pulsos ASC Scientific modelo IM-10, el cual aplica pulsos en el voltaje, en este caso se uso a equivalentes de 100, 200, 300, 1000 mT para calcular los factores F_{100} , F_{200} , F_{300} , F_{1000} . Al igual que en el caso del ARM, también se obtienen sus inversos.

Quando las muestras no presentan una tendencia clara de saturación después de llegar a 1T en el IRM, se utilizó un magnetizador de impulsos MMPM9, modelo PM9, el cual permitió alcanzar hasta los 3T, lo que es útil para poder discriminar los tipos de minerales magnéticos que constituyen a las muestras (Figura 14).

- La obtención del campo medio destructivo (MDF), (Cisowski, 1981), utilizando el desmagnetizador, sin hacer uso de la unidad pARM, aplicando los mismos campos y pulsos que en los dos pasos anteriores.
- Para realizar la variación de susceptibilidad v.s temperatura, se uso un equipo Bartington, el cual consta de un susceptibilmetro modelo MS2, un sensor modelo MS2W, y un horno modelo MS2WFP. Con este equipo, cada muestra es calentada de los 20°C a los 650°C, a cada grado, para posteriormente enfriarlas a 50°C. Con esto se busca identificar la concentración mineralógica, y por ende, las fases mineralógicas presentes en el suelo.

Horizonte	Profundidad (cm)	ETAPA 1 (T)	ETAPA 2 (LC+#)	ETAPA 3 (LC+0+#)
Bw	0	T3	LC1	LC021
Bw	10	T3	LC2	LC020
Bw	20	T3	LC3	LC019
Bw	30	T3	LC4	LC018
BCw	40	T4	LC5	LC017
BCw	50	T4	LC6	LC016
C	60	T5	LC7	LC015
			LC8	
Ah1	70	T6	LC9	LC014
Ah2	80	T7	LC10	LC013
Ah2	90	T7	LC11	LC012
Bw	100	T8	LC12	LC011
Bw	110	T8	LC13	LC010
Ah	120	T9	LC14	LC009
Ah	130	T9	LC15	LC008
AB	140	T10	LC16	LC007
AB	150	T10	LC17	LC006
Bw	160	T11	LC18	LC005
Bw	170	T11	LC19	LC004
BC	180	T12	LC20	LC003
BC	190	T12	LC21	LC002
BC	200	T12	LC22	LC001
			LC23	
Ah	210	T23	LC24	LC037
AC	220	T24	LC25	LC036
AC	230	T24	LC26	LC035
Ah	240	T25	LC27	LC034
Ah	250	T25	LC28	LC033
AB	260	T26	LC29	LC032
AB	270	T26	LC30	LC031
AB	280	T26	LC31	LC030
Bw	290	T27	LC32	LC029
Bw	300	T27	LC33	LC028
Bw	310	T27	LC34	LC027
Bw	320	T27	LC35	LC026
BC	330	T28	LC36	LC025
BC	340	T28	LC37	LC024
BC	350	T28	LC38	LC023
BC	360	T28	LC38	LC022

PT1
PT2
PT3
PT4
PT5
PT6
PT7

Tabla 9a. Relación de horizontes estudiados en las tres etapas, para la localidad de Arroyo la Ciervita (LC), tomando como referencia la etapa uno para la correlación de estos. Donde cada color indica el suelo al cual pertenece cada muestra rotulada, (Sodak et al., 2001).

Horizonte	Profundidad (cm)	ETAPA 1 (T)	ETAPA 2 (ZA+H)	ETAPA 3 (ZA+0+H)
Bw	10	-	-	I
Bw	43	-	-	
Ah	102	-	-	II
Bw	115	-	-	p1a
C	117	-	-	III
C	119	-	-	
Ah1	130	T45	ZA23	ZA038
Ah1	140	T45	ZA24	ZA037
Ah2	150	T46	ZA25	ZA036
Ah2	160	T46	ZA26	ZA035
Bw	170	T47	ZA27	ZA034
Bw	180	T47	ZA28	ZA033
Bw	190	T47	ZA29	ZA032
Bw	200	T47	ZA30	ZA031
Bw	210	T47	ZA31	ZA030
Bw	220	T47	ZA32	ZA029
BC	230	T48	ZA14	ZA028
BC	240	T48	ZA15	ZA027
C	250	T49	ZA16	ZA026
C	260	T49	ZA17	ZA025
			ZA18	
Ah1	270	T50	ZA19	ZA024
Ah	280	T51		ZA023
Ah	290	T51		ZA022
Ah	300	T51		ZA021
AB	310	T52		ZA020
Bw	320	T53		ZA019
Bw	330	T53		ZA018
Bw	340	T53		ZA017
Bw	350	T53		ZA016
BC	360	T53		ZA015
BC	370	T53		ZA014
B2	380	T54		ZA013
BC	390	T55		ZA012
BC	400	T55		ZA011
BC	410	T55		ZA10
C	420	T56		ZA09

PT1
PT2
PT3
PT4
PT5
PT6
PT7

Tabla 9b. Relación de horizontes estudiados en las tres etapas, para la localidad de Zacargo (ZA), tomando como referencia la etapa uno para la correlación de estos. Donde cada color indica el suelo al cual pertenece cada muestra rotulada, (Sakov et al., 2001).

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Metodología

Horizonte	Profundidad (cm)	ETAPA 1 (T)	ETAPA 2 (ZA+#)	ETAPA 3 (ZA+0+#)
Ahr	430	T57	ZA1	ZA08
Ah2	440	T58	ZA2	ZA07
Ah2	450	T58	ZA3	ZA06
Bw1	460	T59	ZA4	ZA05
Bw1	470	T59	ZA5	ZA04
Bw1	480	T59	ZA6	ZA03
Bw1	490	T59	ZA7	ZA02
Bw2	500	T60	ZA8	ZA01
			ZA9	
Bt	505	T43	ZA10	ZA00
Bt	510	T43	ZA11	ZA01
Bt	515	T43	ZA12	ZA02
Bt	515	T43	ZA13	ZA03
Bt	515	T43	T40	ZA04
C	520	T44	T40	ZA05
C	520	T44	T32	ZA06
C	525	T44	T33	ZA07
C	525	T44	T34	ZA08
C	530	T44	T35	ZA09
			T36	
E	540	T32	T37	ZA064
E	550	T32	T38	ZA063
Bt1	560	T33	T39	ZA062
Bt1	570	T33	T40	ZA061
Bt2	580	T34	T42	ZA060
Bt2	590	T34		ZA059
Bt3	600	T35		ZA058
Bt3	610	T35		ZA057
Bt3	620	T35		ZA056
Bt3	630	T35		ZA055
Bt3	640	T35		ZA054
Bt3	650	T35		ZA053
Bt3	660	T35		ZA052
BC	670	T35		ZA051
C	680	T36		ZA050
C	690	T36		ZA049
C	700	T37		ZA048
Bt1	710	T39		ZA047
Bt1	720	T39		ZA046
Bt2	730	T40		ZA045
Bt2	740	T40		ZA044
BC	750	T41		ZA043
BC	760	T41		ZA042
BC	770	T41		ZA041
BC	780	T41		ZA040
C	790	T42		ZA039

PT1
PT2
PT3
PT4
PT5
PT6
PT7

Tabla 9c. Relación de horizontes estudiados en las tres etapas, para la localidad de Zacarzo (ZA), tomando como referencia la etapa uno para la correlación de estos. Donde cada color indica el suelo al cual pertenece cada muestra rotulada, (Sedov et al., 2001).

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Metodología

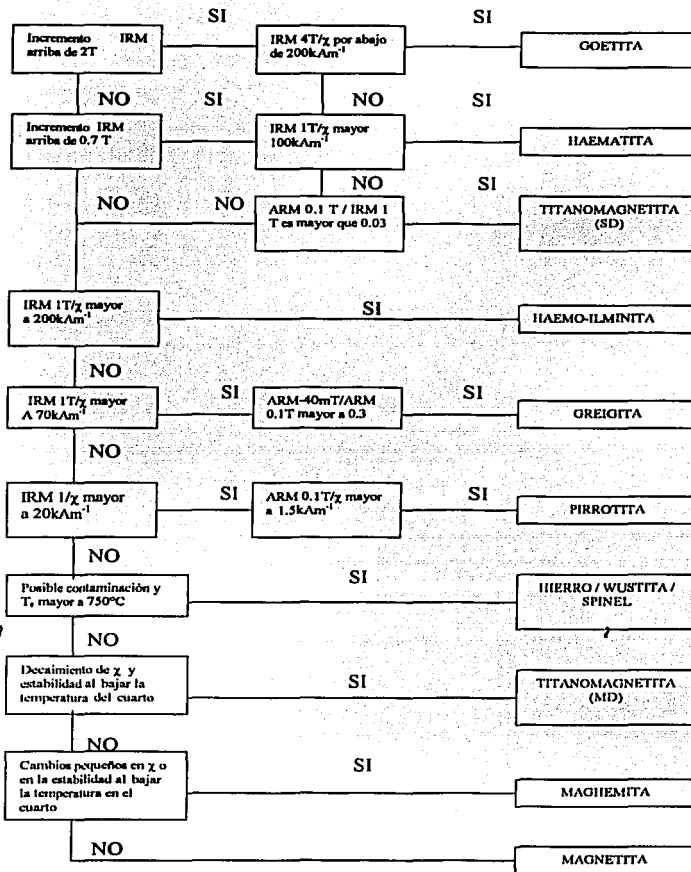


Figura 14. Mediciones magnéticas que se pueden realizar para discriminar entre los principales minerales magnéticos encontrados comúnmente en la naturaleza, (Maher y Thompson, 1999).

IV.3 En Gabinete

Esta parte involucra el cálculo de diversos factores magnéticos, así como las relaciones entre éstos, que resultan útiles para la interpretación de la información que es asociada con los procesos primarios a los que está sujeto el material, entre otros están (Tabla 10):

Parámetro Magnético	Composición	Concentración	Tamaño de partícula
Tc	*	-	-
F	*	-	-
HIRM	*	-	-
Js	*	*	-
Jrs	*	-	*
Estudios con bajas temp.	*	-	*
X	-	*	-
ARM	-	*	-
pARMs	-	-	*
Xfd	-	*	*
Hc	-	-	*
Hcr	-	-	*
Jrs / Js	-	-	*
Jrs / Js v.s. Hcr / Hc	-	-	*
ARM / X, Jrs / X, ARM / Jrs	-	-	*
Js / X vs. Hcr	-	-	*
Desmag. pbr C.A.	*	-	*

* Existe parámetro, - No hay parámetro para dicha medición

Tabla 10. Relación de parámetros magnéticos, tenues de (Dalan y Kucurjuz 1998)

Diversos autores como Cisowski (1981); Opdyke-Chanell (1986); Maher (1986); Dearing (1999); Dalan y Banerjee (1998); Jordovana et al., (1997), Yamazaki e Ioka (1997); Bogalo (1999); Maher-Thompson (1999); Verosub y Roberts (1995), entre otros, proponen algunos de estos parámetros y factores entre los que se encuentran:

(X)- Susceptibilidad Magnética, definida como la relación entre la magnetización inducida y la intensidad de un campo aplicado. Es medido en un campo alterno con intensidad menor a 0.1 mT, y es una primera aproximación de la concentración de minerales paramagnéticos y del tamaño de partícula.

Puede tomarse en altas (X_{hf} o K_{hf} , a 0.465KHz) y bajas (X , X_{lf} , K o K_{lf} , con 4.65KHz) frecuencias. X y X_{hf} son valores normalizados en función de la masa, así como (K) lo está con el volumen. K es asociada a con material que se encuentra consolidado, mientras que en el caso de X es utilizado para materiales no consolidados.

Además, refleja la intensidad con la que penetra el campo al mineral y su grado de magnetización (orientación) con respecto al campo.

(X_{RPS})—La susceptibilidad dependiente de la frecuencia, se obtiene con la diferencia entre susceptibilidades (baja menos alta), normalizada por la baja, y es útil para la identificar la presencia de material en estado superparamagnético (SP).

(X v.s T) Susceptibilidad v.s temperatura — Permite identificar la mineralogía magnética dentro de la muestra, observándose diversos comportamientos en las curvas que se asocian a diversas fases mineralógicas, así como la posible transformación de estos en función de sus temperaturas de Curie y de Neel, dependiendo del comportamiento magnético del mineral.

(NRM)- La Magnetización Natural Remanente es la resultante de todas las magnetizaciones que se encuentran presentes en un material. Esta depende de la mineralogía, concentración y tamaño de partícula de los minerales magnéticos dentro de la muestra.

(ARM x)-Magnetización anhisterética remanente, se obtiene al someter una muestra a un campo alterno bajo la acción de un pequeño campo constante de 0,5 Oe que es proporcionado por el (pARM). La (x) son los valores del campo (en Oe) que pueden ser aplicados, puede tomar valores negativos, lo que implica que se mide el "campo inverso"; tomándose en este caso valores de 400, 700 y 1000 Oe así como sus "inversos". Esto involucra que la orientación de la muestra es opuesta a como se tomo en el "campo directo";

(SARM)-Magnetización Anhisterética Remanente de Saturación, es alcanzada al someter la muestra a un campo alterno de 1000 Oe y es útil para el cálculo de otros factores, además de ser empleado para ver el contenido de ferrimagnéticos.

(X_{norm})-Es la normalización de la X por un campo constante (0.5 Oe) proporcionado por una unidad pARM. Este parámetro es sensible tanto a la concentración de magnetita como al tamaño de grano magnético, siendo más efectiva para los estados SD y PSD.

(S_x)-Son los factores que se obtienen al hacer el cociente ARM x inverso y el SARM, con lo que se ve la saturación de los minerales al ser sometidos a un campo alterno, manteniendo un campo constante. En este caso los valores de x son 400, 700 y 1000 Oe.

(IRM_x)-Magnetización Isotermal Remanente, es el valor de la remanencia magnética inducida a una muestra ocasionada por la aplicación de diversos campos magnéticos a través de impulsos eléctricos. La (x) es el valor del campo aplicado, puede ser positivo ("campo directo") o negativo ("campo inverso"), lo que está en función de la orientación de la muestra al momento de hacer análisis. Para este caso fue de 100, 200, 300 y 1000mT, tanto directo como inverso. que son característicos de un dominio magnético múltiple.

(SIRM)-Magnetización Isotermal Remanente de Saturación, es el campo en el cual la muestra alcanza su máxima saturación, en este caso se maneja a 1 T, es empleado para estimar el contenido de minerales ferrimagnéticos aunque depende también del tamaño de partícula de minerales de alta coercitividad. Además de ser útil para calcular otros factores como los F_x.

(F_x)-Se obtiene al hacer el cociente IRM_x inverso y el SIRM, con lo que se ve la saturación de los minerales al ser sometidos a un impulso producido por una corriente alterna. Para el caso de F₁₀₀, es útil para estimar el posible cambio mineralógico y tamaño de grano; así como F₃₀₀ evalúa la posible proporción de cambio de magnetita a hematita.

(HIRM_x)- La "Dureza" de la Magnetización Isotermal Remanente, se calcula como el promedio de la IRM_{-x} y la SIRM. Es empleado para evaluar de forma cualitativa, la concentración de minerales antiferromagnéticos con una alta coercitividad (tomando el IRM₋₁₀₀). Es indicador, cualitativo, del contenido de partículas muy finas de tipo ferrimagnético como magnetita (considerando IRM₋₃₀₀) presente en las muestras estudiadas.

(SARM/SIRM)- Que al igual que X_{arm}/X, son usados como indicadores de partículas que presentan dominios sencillos y pseudosencillos estables.

(ARM₄₀/SIRM)- Relación que permite ver cualitativamente la estabilidad existente en las muestras.

(SARM/X)-Este cociente es inversamente proporcional con el logaritmo de la concentración de magnetita, presenta una gran dependencia de la susceptibilidad, la concentración de los minerales magnéticos y los valores "R" (Cisowski 1981), también puede reflejar el tamaño de los minerales magnéticos.

Ciclos de histéresis- La combinación de los parámetros de histéresis permiten estimar las posibles características magnéticas de las muestras, donde la forma de la curva es un indicador del comportamiento magnético que constituyen a las muestras (Figura 15). Así, las partículas de magnetita en estado sencillo (SD) presentan valores de Mrs/Ms menores a 0.5, Bcr/Bc aproximándose a 1.0; mientras que las partículas multidominio (MD) presentarían Mrs/Ms menores o iguales a 0.05 y Bcr/Bc mayores o iguales a 4; por lo que entre ambas regiones se encontraran los pseudodominio sencillos (PSD).

Metodología

Diagrama de Day- Permite inferir el comportamiento del material contenido en las muestras dentro de los diferentes dominios magnéticos (Figura 16).

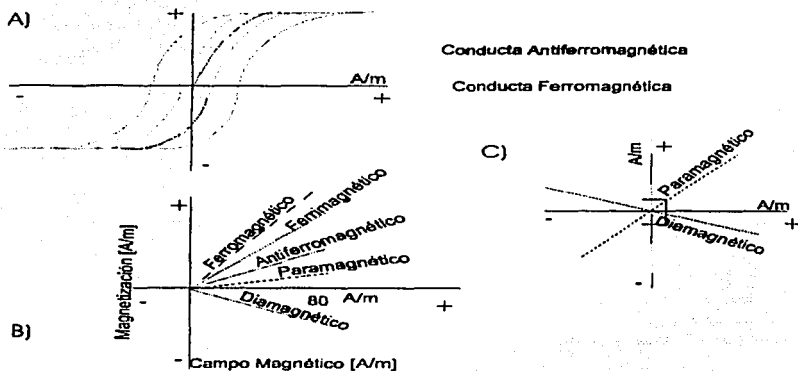
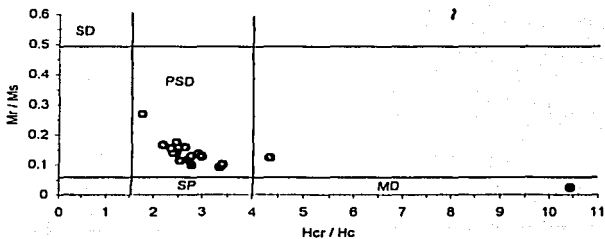


Figura 15, Comportamiento de los ciclos de histéresis, (Dearing 1999)



SD- Dominio sencillo PSD- Dominio pseudo sencillo MD- Dominio múltiple SP- Superparamagnético

Figura 16, Ubicación de las partículas magnéticas dentro de un diagrama de Day (1977); en Opdyke y Channell 1986

(MDF)- El Campo Medio Destructivo es el valor del campo alterno aplicado, al cual, la magnetización remanente natural (NRM) alcanza la mitad de su valor. Es considerado como otra forma de obtener información asociada con la coercitividad de las muestras de estudio.

($X_{f(10\%)}$ v.s SIRM/Xarm)- Al graficar estos parámetros lo que se puede interpretar es el comportamiento que presentan los minerales magnéticos, es decir, hacia el extremo superior izquierdo (0-5%) se encuentra el material ferromagnético grueso con alta coercitividad. Lo opuesto (inferior derecho y mayor al 5%) es asociado a un comportamiento ferrimagnético fino de baja coercitividad (Maher y Taylor 1988).

(X v.s $X_{f(10\%)}$) - Con el cual se pueden asociar (Dearing 1999) los ambientes de los minerales y materiales contenidos en las muestras (Figura 17a y 17b).

X vs.. SARM- Relación con la que se puede inferir la concentración y tamaño de los minerales de forma cualitativa, incrementándose la concentración de la parte inferior izquierda hacia la superior derecha, y el tamaño de forma inversa, es decir, de la superior izquierda a la inferior derecha (Figura 17c).

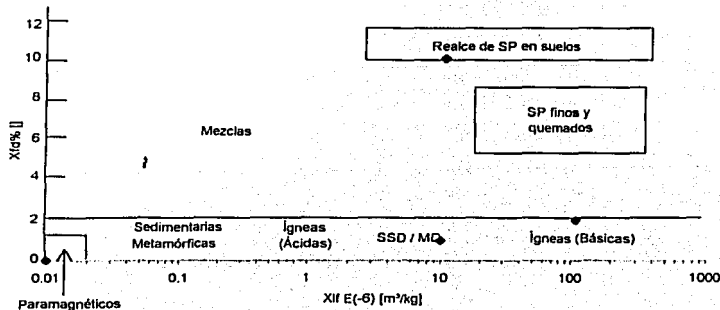


Figura 17a. Comportamiento de muestras en función de diversos dominios, (Dearing 1999)

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Metodología

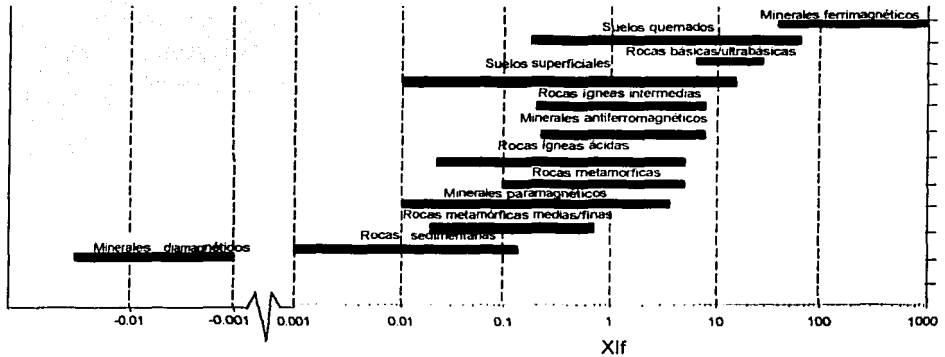


Figura 17b. Comportamiento de diversas muestras en función de diferentes fuentes, (Dearing 1999).

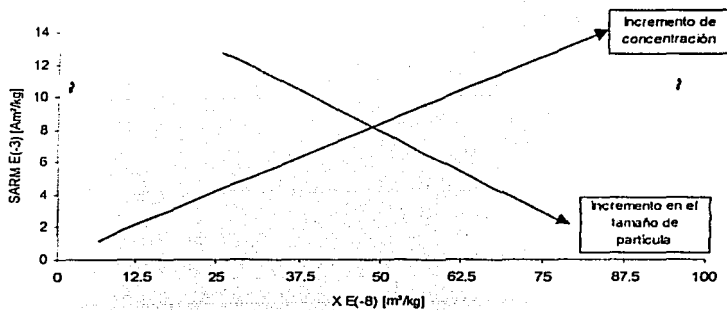


Figura 17c. Relación de la concentración y tamaño de partícula, modificado de Dalan y Banerjee 1998.

V Resultados

En este capítulo se presentan los resultados más significativos de las propiedades magnéticas de los paleosuelos de la región de estudio. Dado que se realizó una gran cantidad de análisis, estos aparecen en los anexos al final del presente trabajo.

V.1 Localidad: Arroyo la Ciervita

Unidad Pedoestratigráfica Uno (PT1)

La unidad se encuentra sepultada por un flujo piroclástico en la cual se desarrolla un suelo moderno con un perfil Ah-Bw. Dicha unidad tiene un espesor de 70 cm, en donde se reconocieron tres horizontes (Bw-BCw-C). Los valores de susceptibilidad magnética (X) fluctúan entre los 178 y los $277 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$ presentando una tendencia creciente con la profundidad. Un decremento se observa en los últimos 10 cm de esta unidad, con $259.45 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$ que corresponde al límite entre los horizontes BCw-C (Figura 18a).

La magnetización natural remanente (NRM) presenta tres máximos que se ubican en 10, 30 y 50 cm de profundidad, y corresponden a la transición de horizontes. No se observa tendencia alguna con la profundidad, aunque sí una repetición de su comportamiento con máximos ubicados a los 30 cm (Bw) y 50 cm (BCw), siendo este último ligeramente menor (Figura 18b).

Lo opuesto al comportamiento de la susceptibilidad se observa en los valores de la magnetización anhisterética remanente de saturación (SARM), que disminuyen con la profundidad. Presenta una fase relativamente estable entre los 30-40 cm (límite entre Bw y BCw) y un ligero repunte en los últimos 10 cm (C) del paleosuelo (Figura 18c). La magnetización remanente isoterma de saturación (SIRM), muestra la misma estabilidad alrededor de 30-40 cm de profundidad, con dos máximos relativos a 10 y 50 cm (Bw y BCw respectivamente) y un decremento en los últimos 10 cm (C) del paleosuelo (Figura 18d).

Los factores de frecuencia ($X_{f_{100}}$) se encuentran entre 1 y 3 %, con dos máximos, uno en la parte superficial de la unidad (0 cm) y otro a 20 cm (Figura 18e).

De los experimentos de susceptibilidad v.s. temperatura se obtuvieron temperaturas de Curie entre 476.5 y 570.5 °C, presentando una tendencia a disminuir con la profundidad, marcándose claras diferencias entre los horizontes (Figura 18f).

Los parámetros de histéresis (Mr, Ms, Hc, Hcr) sobre el diagrama de Day denotan la mezcla de dominios sencillos y múltiples (Figura 19a). El campo destructivo medio de tres

muestras: LC2 (C), LC10 (C) y LC14 (BCw) es de 11, 14.5 y 17.5 mT, lo que denota una tendencia a disminuir con la profundidad (Figura 19b).

El valor promedio de siete muestras a diversos campos, para los factores S_x (Figura 20a) son: en S_{40} 0.3749 sin saturación. Tampoco se satura en S_{70} pues tiene 0.7470. Para S_{100} es 0.9882 que se observa a partir de los 10 cm y un máximo en el horizonte C.

Los valores medios en los factores F_{100} (0.6717), F_{200} (0.8796), F_{300} (0.9316) no presentan saturación, aunque sí se observa en F_{300} entre los 10-30 cm y a los 50 cm. F_{100} , F_{200} y F_{300} muestran una tendencia a crecer con la profundidad, con excepción del horizonte C. F_{1000} (0.9625) tendría un comportamiento más homogéneo, de no ser por las muestras ubicadas a 30 y 50 cm que rompen con la posible tendencia creciente (Figura 20b, 20c 20d y 20e).

Por el contrario, la "dureza"²² que presenta la magnetización remanente isoterma (HIRM), tiende a decrecer con la profundidad presentando una tendencia a incrementarse en los últimos 30 cm de la unidad (Figura 21a). Tanto la relación SARM/SIRM como ARM_{40} /SIRM decrece con dos mínimos sobresalientes en 10 y 50 cm (Figura 21b y 21c).

Además, la relación SARM/ X_{Ir} también presenta una tendencia a disminuir, y un ligero repunte en la parte final del suelo, en la transición entre unidades (Figura 21d).

Para el caso de IRM_{100} /SIRM, se observan dos fases decrecientes, con un espesor de 20 cm cada una. La primera comienza a 10 cm, y la segunda a 40 cm, mismos que coinciden con un horizonte Bw y con la transición Bw-BCw respectivamente (Figura 21e).

La relación $SIRM/X_{arm}$ contra la $X_{RP\%}$ presenta una clara separación entre los horizontes Bw y C. En general, los horizontes B poseen valores menores que los C, cuyo comportamiento magnético es de tipo ferrimagnético (Maher y Taylor 1988) con baja coercitividad y de tamaño de partícula más fina (Figura 22a).

En el caso de $X_{RP\%}$ contra la susceptibilidad se observan 3 grupos, en la parte media se ubica el horizonte C y a los extremos los horizontes BCw y Bw respectivamente que denotan en general (Dearing, 1999), que los horizontes C y Bw no presentan partículas superparamagnéticas (SP) y su susceptibilidad corresponde a rocas ígneas ácidas (Figura 22b).

El análisis de SARM contra susceptibilidad presenta un comportamiento decreciente, lo que indica (Dalan y Banerjee, 1998), un incremento en el tamaño de partícula con menor concentración de minerales magnéticos en el horizonte C. En los horizontes Bw se observa un comportamiento opuesto (Figura 22c).

²² Dureza magnética.- Facilidad para hacer la magnetización cero.

Unidad Pedostratigráfica Dos (PT2)

El muestreo tiene un espesor de 140 cm. Este suelo presenta mayor desarrollo que la unidad anterior, encontrándose horizontes del tipo Ah1, Ah2, Bw, Ah, AB, Ah, Bw, y BC, característico de un pedocomplejo que comprende varias etapas de formación, que han sido superpuestas. La susceptibilidad magnética oscila entre 90.08 y $178.14 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$, presentando una clara tendencia creciente desde el comienzo de la unidad, hasta 120 cm de profundidad, otra que decrece desde 120 cm hasta 150 cm, con ligero repunte en 140 cm. Hacia el final de la unidad, presenta un ligero decremento (últimos 30 cm). El cambio en las pendientes (mínimos relativos), caracteriza la transición entre los horizontes del suelo (Figura 18a).

Existen cuatro máximos en el NRM ubicados a los 90 (Ah2), 110 (Bw), 140 (Ah) y 190 (BC) cm de profundidad. Se observan dos fases relativamente estables, una a los 120-130 cm en un horizonte Ah (muestras LC08 y LC09), y la otra entre 150 y 170 cm asociados a horizontes Ah y Bw respectivamente. En los siguientes 20 cm, se presenta un ligero repunte, para decrecer en los últimos 10 cm de la unidad (Figura 18b). El comportamiento de este parámetro muestra la presencia de tres fases de desarrollo, misma que se reflejan en la relativa repetición del mismo patrón, que denotan al pedocomplejo.

Los valores de la SARM marcan tres tendencias crecientes ubicadas al inicio de la unidad, en 120 y 150 cm de profundidad. Los mínimos relativos corresponden en general, a la transición entre los horizontes Bw y A dentro del perfil. El comportamiento observado en la SIRM aumenta con la profundidad, observándose cuatro mínimos ubicados en los 80, 130, 150 y en los últimos 10 cm de la unidad, asociados a los horizontes Ah y a la transición hacia Bw (Figura 18c y 18d).

Los valores de los factores de frecuencia ($X_{f_{17\%}}$) están comprendidos entre el 1 y el 13%, observándose un marcado decremento a partir de los 170 cm. No hay una tendencia clara con la profundidad, aunque sí una repetición del patrón de la curva. Los valores más altos son de los horizontes Ah y BC (Figura 18e), con un patrón similar al observado en la SIRM.

De los experimentos de susceptibilidad v.s. temperatura, las temperaturas en promedio están entre 407 y 542 °C, donde se observa de forma general, una ligera tendencia a crecer con la profundidad (Figura 18 f).

Los parámetros de histéresis (Mr, Ms, Hc, Hcr) sobre el diagrama de Day denotan la mezcla de tipo pseudo-sencillo con tendencia a dominio sencillo. El campo destructivo medio de 3 muestras LC23 (B), ZA10 (B2) y T10 (AB) es 14.7, 7.9 y 8 mT (Figura 19a y 19b).

El valor promedio de catorce muestras para S_{40} es 0.5786, se satura en S_{70} pues es de 0.7885 y es de 1.0018 para S_{100} (Figura 20a). Para F_{100} es 0.7037, en F_{200} 0.8901, en F_{300} 0.9212 y para F_{1000} es de 0.9944. La saturación se observa prácticamente a partir de los 110 cm para F_{300} (Figura 20b, 20c, 20d y 20e), además de observarse en F_{1000} la repetición del patrón, que se asocia a las diferencias entre horizontes.

El HIRM tiende a crecer de forma homogénea con la profundidad en dos ocasiones, la primera dentro de los primeros 40 cm de la unidad y la segunda de 150 a 180 cm. Presenta además, una clara fase decreciente de los 120 a los 150 cm y más estable en los últimos 20 cm de la unidad. Tanto la relación SARM/SIRM como $ARM_{40}/SIRM$ muestran condiciones similares, decreciendo en su mayor parte con la profundidad, aunque presenta una tendencia creciente en los primeros 20 cm y una estabilidad relativa hacia el final de la unidad. Tiene tres máximos: a 80, 130 y 170 cm de profundidad. Además, la relación $SARM/X_{lr}$ presenta máximos en los horizontes A que preceden a los B dentro del perfil, por lo que se consideran como la transición entre horizontes (Figura 21a, 21b, 21c, 21d).

La relación $IRM_{100}/SIRM$ presenta una disminución con la profundidad, excepto para el intervalo de 100-140 cm, donde el comportamiento de la curva es creciente, con un ligero decremento de los horizontes Ah a 120 cm (Figura 21e).

En la gráfica $SIRM/X_{arm}$ contra $X_{f9\%}$, los horizontes A se encuentran por debajo de los B, los horizontes A abarcan la parte inferior derecha del gráfico, lo que indica una mayor concentración de minerales ferrimagnéticos, menos coercitivos y más finos (Maher y Taylor 1988). En comparación con las unidades que subyacen y sobreyacen a ésta, estos valores son menores, es decir, tienden más a un carácter ferromagnético (Figura 23a).

En el caso de $X_{f9\%}$ contra X denotan en su mayoría (Dearing, 1999), que el contenido de SP es mayor en los horizontes B que en los A; se observa que los horizontes Ah y AB tienen una ligera tendencia decreciente de SP con la profundidad (Figura 23b).

En $SIRM/SARM$ contra $X_{f9\%}$, en general los horizontes B son mayores que los A, siendo estos los menos contaminados, observándose que los BC son los valores más altos (Figura 23c).

Unidad Pedoestratigráfica Tres (PT3)

El espesor de esta unidad es de 150 cm, con un perfil complejo del tipo Ah-AC-Ah-AB-Bw-BC. Presenta mayor desarrollo que la unidad uno, sobre todo en los horizontes B. Los valores de susceptibilidad fluctúan entre 86 y 237×10^{-8} presentando una tendencia a crecer con la profundidad; mostrando tres decrementos muy marcados a 240 cm, 280 cm y 340 cm, los dos primeros asociados a horizontes A, y el último a la transición de horizontes B-BC (Figura 18a).

Resultados

La NRM presenta una tendencia a decrecer con la profundidad desde los 220 cm hasta los 260 cm con una fase estable entre los 240-250 cm y una fase creciente a partir de los 260 cm. Tienen cuatro mínimos en 280, 300, 320 y 340 cm que corresponde a un horizonte AB, dos horizontes Bw y un BC respectivamente, además de presentar el máximo en 330 cm asociado a un horizonte BC (Figura 18b).

Los valores de la SARM son homogéneos, decreciendo entre los 260 y 300 cm. Presenta dos fases de relativa estabilidad de 10 cm cada una, la primera a los 220 cm y la otra hacia el final de la unidad (350-360 cm). El mínimo se ubica en 340 cm (BC-C). En la SIRM se observa que la tendencia es creciente, presenta cinco mínimos importantes (240, 260, 280, 320 y 340 cm) que en general se asocian con la transición de horizontes. En los últimos 20 cm del muestreo se observa una relativa estabilidad (Figura 18c y 18d).

Los factores de frecuencia $X_{f\%}$ están entre el 1 y el 8% (positivos), y no presentan una clara tendencia con la profundidad, aunque sí una relativa repetición de patrones. Muestran un cambio abrupto en 350 cm que corresponde a un horizonte BC a (Figura 18e).

De los experimentos de susceptibilidad v.s. temperatura se obtuvieron temperaturas promedio que varían entre 488 y 537 °C, con una tendencia a crecer con la profundidad (Figura 18f).

Los parámetros de histéresis (Mr, Ms, Hc, Hcr) sobre el diagrama de Day denotan la mezcla de dominios sencillos y múltiples (Fig.8.1a). El campo destructivo medio de 3 muestras LC28 (Ah), T25 (Ah) y T24 (AC) es de 15.1, 8 y 4.5 mT (Figura 19a y 19b).

El valor promedio de dieciséis muestras para S_{40} es 0.4917, no se satura en S_{70} pues es de 0.8867 y 0.9979 para S_{100} . Los valores de F_{100} son 0.7096, presentando saturación, para F_{200} es de 0.9141, F_{300} con 0.9545 que se observa prácticamente a partir de los 250 cm y en F_{1000} es de 0.9979 (Figura 20a, 20b, 20c, 20d, 20e).

El HIRM tiende a crecer con la profundidad, presentando cambios abruptos en 240, 280, 320 y 350 cm asociado con la transición de horizontes, con el máximo en esta última (BC); tanto la relación SARM/SIRM, $ARM_{40}/SIRM$ como SARM/ X_{1f} presentan un comportamiento similar, una dominante tendencia decreciente con la profundidad con máximos a 240, 260, 280 y 320 cm y una estabilidad relativa hacia el final de la unidad (Figura 21a, 21b, 21c y 21d). En el $IRM_{100}/SIRM$, se observa una relativa estabilidad, con una fase decreciente entre los 280-310 cm (Figura 21e).

Se observa que en $SIRM/X_{nm}$ contra $X_{f\%}$ (Maher y Taylor 1988), presenta coercitividades cuyos valores van de medios a altos, con un dominio de partículas ferromagnéticas gruesas (Figura 24a).

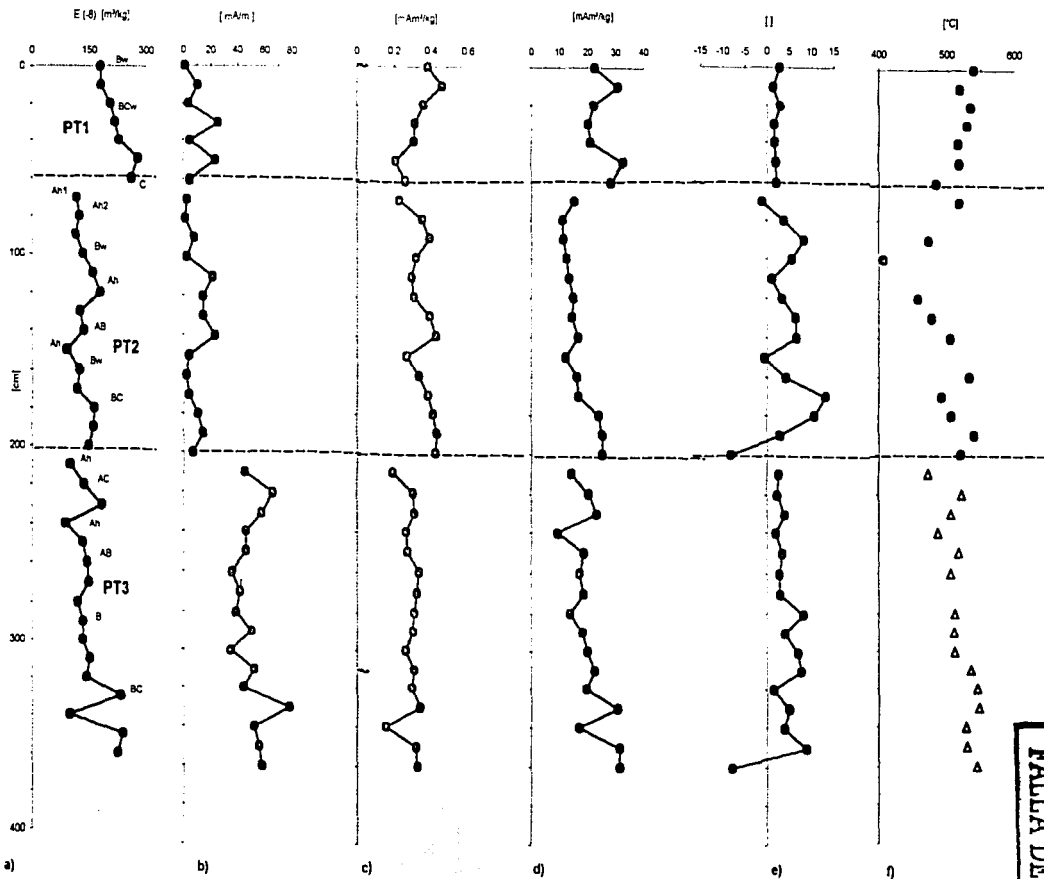
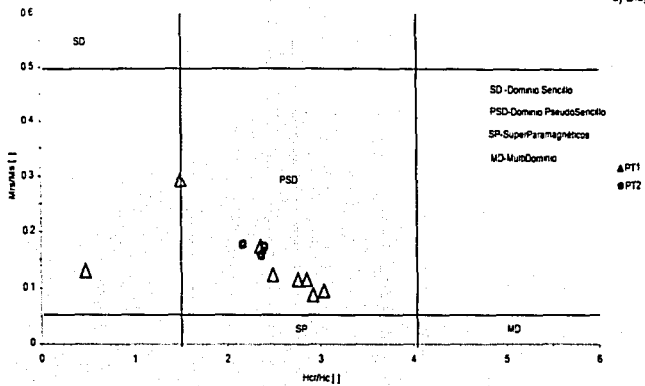


Figura 18. Parámetros Magnéticos de Arroyo la Ciervita: a) XLI, b) NRM, c) SARM, d) SIRM, e) Xfd%, f) Temperatura de Curie

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

66A



b) Campo medio destructivo (MDF)

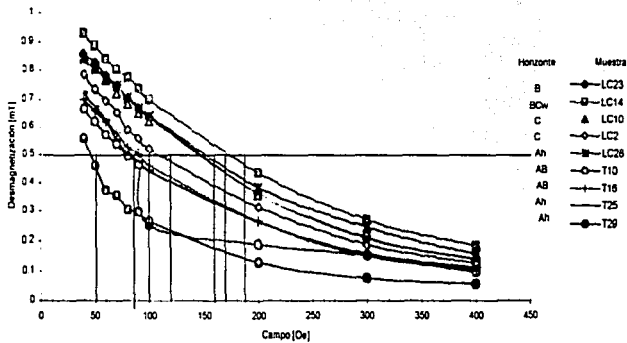


Figura 19, Parámetros Magnéticos de Arroyo la Cievita:

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

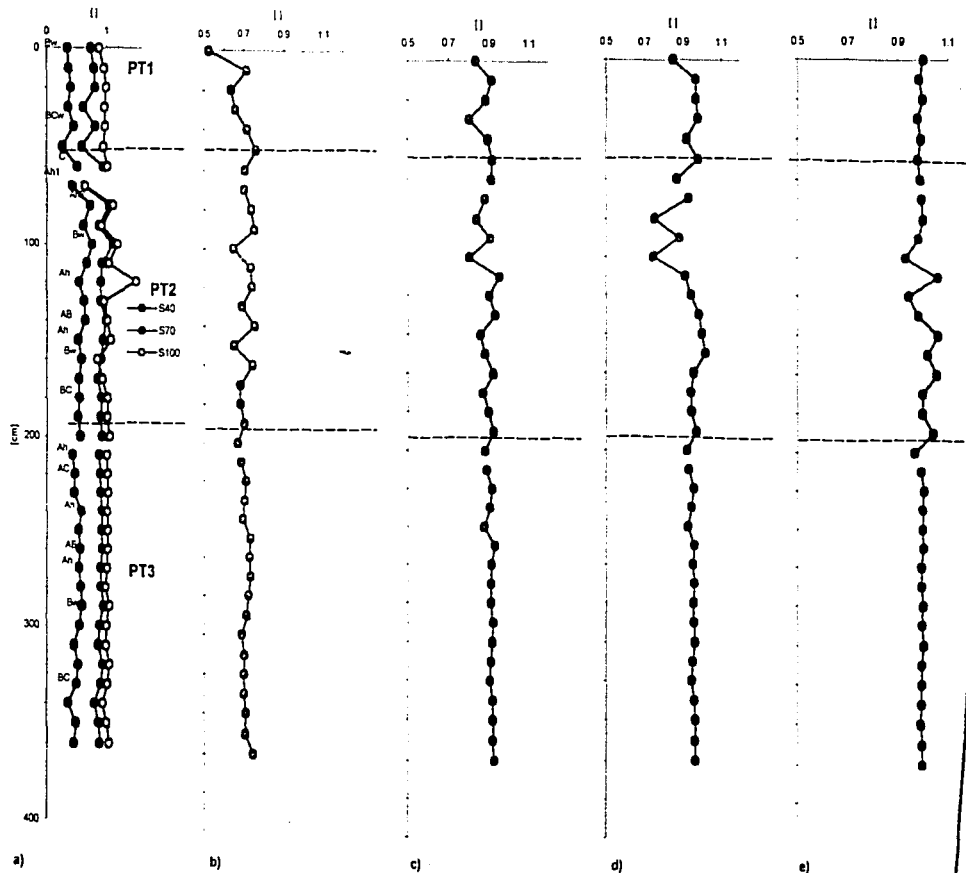


Figura 20, Parámetros Magnéticos de Arroyo la Clevita a) Sx, b) F100, c) F200, d) F300, e) F1000

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

66C

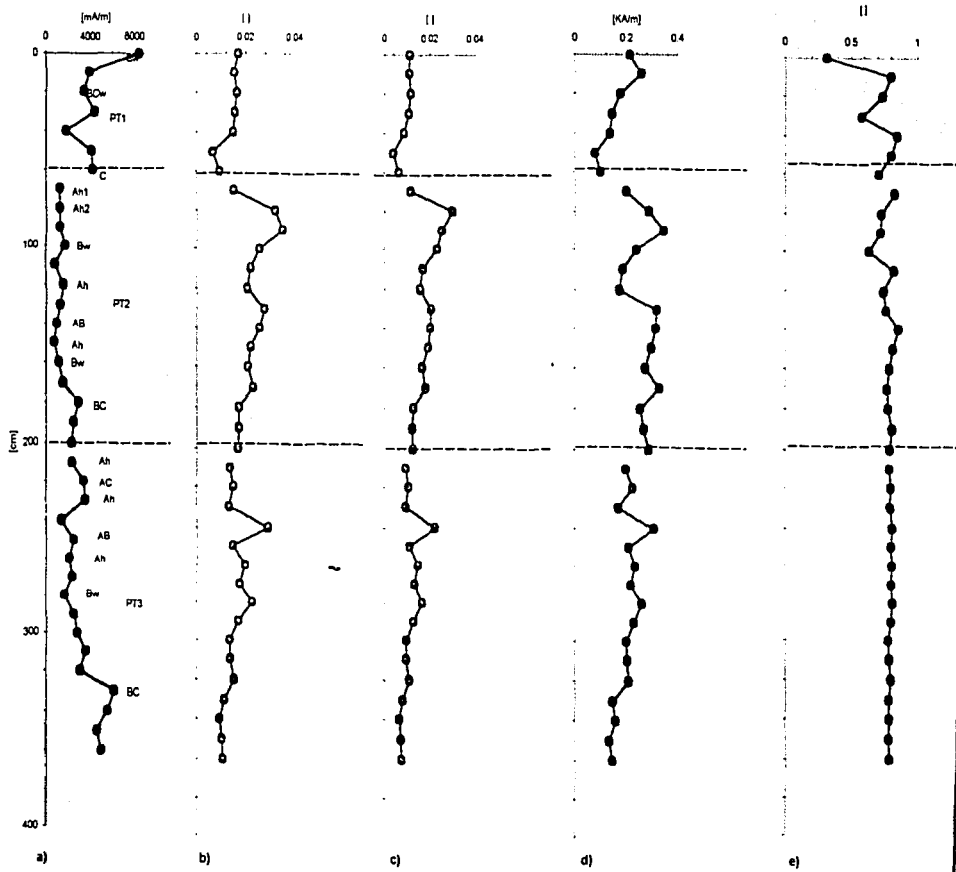


Figura 21. Parámetros Magnéticos de Arroyo la Cievrita: a) HIRM, b) SARM/SIRM, c) ARM40/SIRM, d) SARM/IRM
e) IRM100/SIRM

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

69D

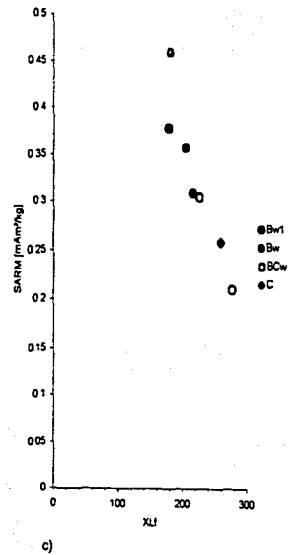
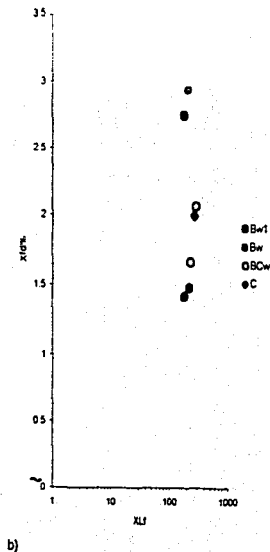
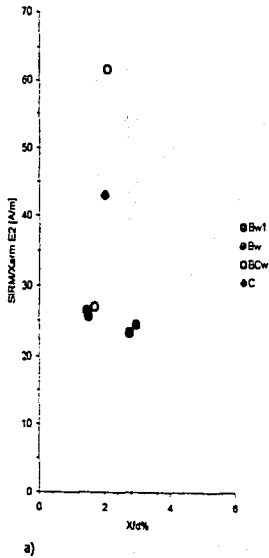


Figura 22. Relación de parámetros (LC-PT1): a) SIRM/Arm v.s Xld%, b) Xfd% v.s X, c) SARM v.s X

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

66E

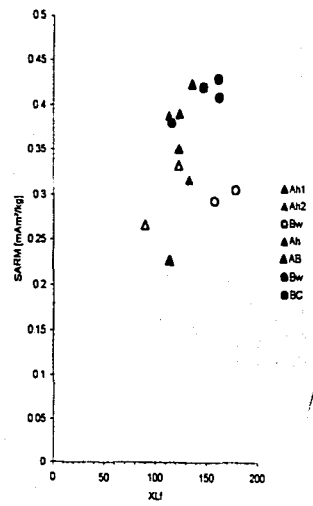
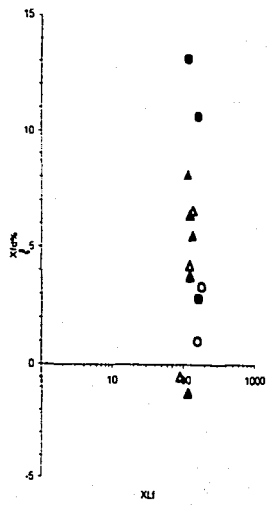
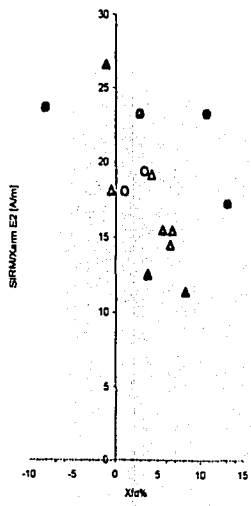
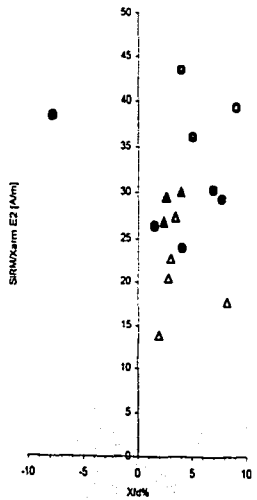


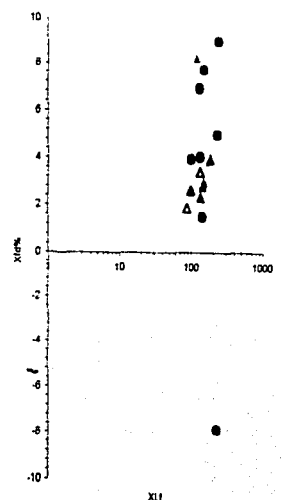
Figura 23, Relación de parámetros (LC-PT2): a) SIRM/Arm E2 v.s Xfd%, b) Xfd% v.s X, c) SARM v.s X

66F

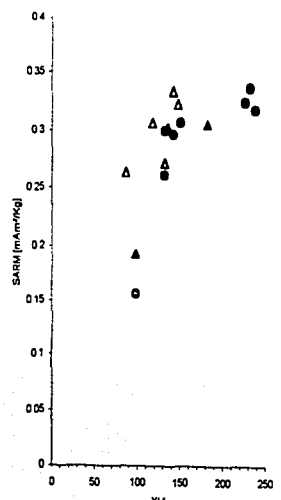
TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



a)



b)



c)

Figura 24. Relación de parámetros (LC-PT3): a) SIRM/Xarm v.s Xld%, b) Xld% v.s X, c) SARM v.s X

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

69

En la relación X_{IRM} contra susceptibilidad (Dearing, 1999), se observa que los horizontes Bw presentan un mayor contenido de SP, mientras que en los horizontes Ah los valores son más bajos (Figura 24b).

En el caso de SARM contra susceptibilidad (Dalan y Banerjee, 1998), en general se observa que ocupan la parte superior derecha del diagrama donde se presentan las mayores concentraciones de minerales y el menor tamaño de partícula, siendo los horizontes BC los que muestran la mayor concentración (Figura 24c).

V.II Localidad: Zacango

Unidad Pedoestratigráfica Uno-a (PT1a)

Esta unidad tiene un espesor de 130 cm y está compuesta por un perfil del tipo Bw-Ah-C. La susceptibilidad magnética fluctúa entre 112 y $233 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$ aumentando con la profundidad hasta los 100 cm, para posteriormente decrecer hacia el final del paleosuelo (Figura 25a).

La NRM tiende a crecer con la profundidad en los últimos 30 cm; por el contrario, tanto la SARM como la SIRM presentan la misma notable disminución alrededor de los últimos 30 cm (Figura 25b, 25c y 25d).

Los factores de frecuencia (X_{IRM}) se mantienen prácticamente constantes entre 1 y 4%, no se observa una tendencia clara, excepto por las muestras situadas a 43 y 119 cm, en la transición Bw-Ah y C de PT1a con PT2 (Figura 25e).

De los experimentos de susceptibilidad v.s. temperatura, se observan temperaturas de Curie promedio entre 492 y 530 °C, y una tendencia a disminuir con la profundidad (Figura 25f).

El valor promedio de las seis muestras indica que para S_{40} es de 0.3781, en S_{70} es 0.7791 y 0.9694 para S_{100} , observándose que no se saturan las muestras, aunque sufren un decremento hacia el final de la unidad. En S_{100} las muestras que posiblemente se saturan son los horizontes Bw y C, de los cuales, los primeros presentan también una saturación a F_{300} y F_{1000} . En el caso de F_{100} es 0.6813, para F_{200} 0.9011, para F_{300} 0.9463 y para F_{1000} 0.9912, al igual que los factores S_{40} , S_{70} y S_{100} no presentan saturación. (Figura 26a, 26b, 26c, 26d, 26e)

El HIRM tiende a crecer homogéneamente con la profundidad hasta los 115 cm, a partir de los cuales presenta un decremento notable hacia el final del paleosuelo. Tanto la relación SARM/SIRM, $ARM_{40}/SIRM$ y $IRM_{100}/SIRM$ no presentan un comportamiento claro con la profundidad (Figura 27a, 27b, 27c y 27e), aunque sí el mismo patrón que el HIRM, pero variando el orden de magnitud.

La relación SARM/X, presenta máximos a los 43 y 115 cm que corresponden a los horizontes Bw, el mínimo se ubica a los 102 cm (Ah), con una disminución hacia los últimos 20 cm de la unidad (Figura 27d).

SIRM/ $X_{f_{SP}}$ contra $X_{f_{SP}}$, muestra una marcada diferencia entre los horizontes, siendo en términos generales el horizonte A mayor que el C y éste mayor que el B, lo que refleja (Maher y Taylor 1988), que estos últimos dos horizontes contienen minerales más finos, ferrimagnéticos y de baja coercitividad (Figura 28a).

En la relación $X_{f_{SP}}$ contra susceptibilidad se destacan en general los horizontes Bw por ser los que presentan una mayor dependencia de la frecuencia. Los horizontes C en la parte media, los B y Ah en la parte inferior, por lo que tienen un menor contenido de SP y su susceptibilidad coincide con la de las rocas ácidas (Dearing, 1999). Lo que podría indicar un menor grado de pedogénesis; los horizontes de la parte superior presentan granos SP y granos no SP gruesos o $SP < 0.005 \times 10^{-6}$ m (Figura 28b).

En la gráfica SARM contra susceptibilidad (Dalan y Barnejee, 1998), los horizontes Bw presentan una mayor concentración con el menor tamaño de partículas observándose lo contrario en los horizontes Ah y C (Figura 28c).

Unidad Pedoestratigráfica Dos (PT2)

Esta unidad tiene 140 cm de espesor, con horizontes Ah1-Ah2-Bw-BC-C, donde el mayor desarrollo se encuentra en el horizonte Bw. La susceptibilidad oscila entre 88 y 260×10^{-8} m³/Kg, en general aumenta con la profundidad, con un decremento entre 150 - 210 cm, y un repunte abrupto alrededor de los 180 cm que coincide con un horizonte Bw (Figura 25a).

También se observa una estabilidad relativa entre los 150-160 cm que corresponden al horizonte Ah2.

El comportamiento observado en el NRM, presenta su máximo a 200 cm indicando la transición entre los horizontes Bw-BC decreciendo al final de la unidad. Los datos de SARM y SIRM muestran un comportamiento opuesto entre sí, es decir, para la SARM es decreciente con la profundidad mientras que para SIRM es creciente (Figura 25b, 25c, 25d).

Los factores de frecuencia ($X_{f_{SP}}$) están entre 1 y 7%, tienden a disminuir con la profundidad, presentando un cambio notable en la pendiente a 180 cm (crece), y máximos relativos en las muestras previas al cambio de horizonte (Figura 25e).

Las temperaturas de Curie promedio de los experimentos de susceptibilidad v.s. temperatura son de 477 a 516 °C, y se incrementan con la profundidad. (Figura 25f).

Los parámetros de histéresis (Mr, Ms, Hc, Hcr) sobre el diagrama de Day denotan la mezcla de dominio sencillo y pseudo-sencillo. El campo destructivo medio de 3 muestras ZA24 (Ah1), ZA30 (BC) y ZA31 (BC) es 28.5, 24.3 y 25.9 mT lo que denota una tendencia a disminuir con la profundidad (Figura 29a y 29b)

El valor promedio de catorce muestras para S_{40} es 0.4892, se satura en S_{70} pues es de 0.8924 a los 150 cm y 1.0151 para S_{100} , presentan una evidencia relativa de saturación a la misma profundidad y al final de la unidad. Si se observa una tendencia a decrecer con la profundidad (Figura 26a).

Los promedios para los parámetros F_x son: en F_{100} 0.7775, para F_{200} 0.9242, el F_{300} 0.9524 y F_{1000} 0.9951; saturándose en F_{300} . Presenta dos tendencias la creciente que va desde el comienzo de este suelo hasta los 190 cm (Bw), que es el máximo, y una decreciente hasta el final de esta unidad (Figura 26b, 26c, 26d, 26e).

El HIRM tiende a crecer con la profundidad, presentando tres decrementos en 190 (Bw), 220 (BC) y 260 cm de profundidad que corresponde a un horizonte C. Tanto la relación SARM/SIRM como ARM_{40} /SIRM presenta una clara tendencia decreciente (Figura 27a, 27b y 27c).

La SARM/X disminuye con la profundidad con un máximo a los 200 cm y en los últimos 10 cm del paleosuelo. La relación IRM_{100} /SIRM aumenta con la profundidad, presentando una disminución notable a los 180 cm. (Figura 27d y 27e).

Se observan dos tendencias en $SIRM/X_{RM}$ contra $X_{RM\%}$, una de tipo lineal de los horizontes BC, C y Bw ubicada en la parte superior izquierda del diagrama; y la segunda que comprende los horizontes Ah1 y Ah2 ubicados en la parte inferior derecha que denotan el aumento de ferrimagnéticos así como la disminución en el tamaño de grano y coercitividad (Maher y Taylor 1988). El resto es asociado a una tendencia a ferromagnéticos, con granos gruesos y alta coercitividad; siendo relativamente estables en Bw y más gruesos que los horizontes C (Figura 30a).

La relación $X_{RM\%}$ contra susceptibilidad, donde los horizontes Ah1 y Ah2 ocupan la parte superior del diagrama, indica (Dearing, 1999), que existe una mayor dependencia de la frecuencia y por ende, un mayor contenido de SP. Los horizontes Bw y BC se ubican en la parte media, mientras que los C en la parte inferior, en los cuales la susceptibilidad coincide con la de rocas ígneas ácidas (Figura 30b).

Para SARM contra susceptibilidad en la cual se observa (Dalan y Banerjee, 1998), que la concentración es mayor en los horizontes Ah y Bw, asociados con un menor tamaño de partícula, mientras que en los BC el comportamiento es opuesto, indicando la presencia de partículas de mayor tamaño (Figura 30c).

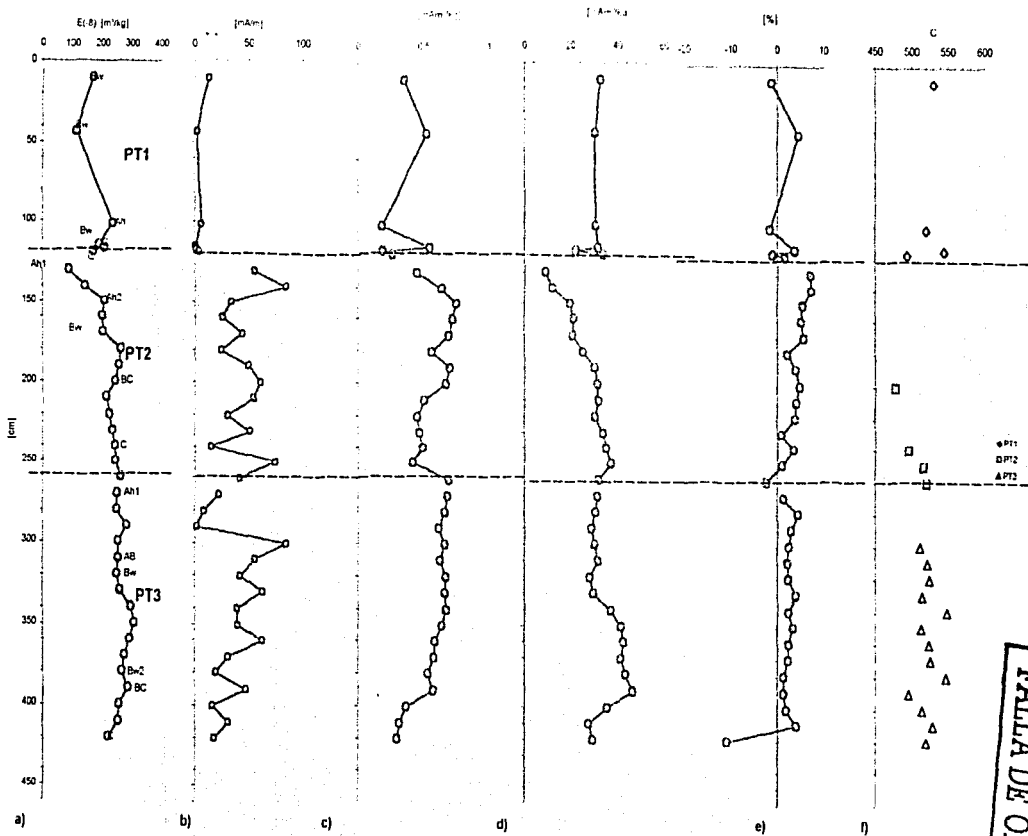


Figura 25, Parámetros Magnéticos de Zacango. a) XLI, b) NRM, c) SARM, d) SIRM, e) $XI_d\%$, f) Temperatura de Curie

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

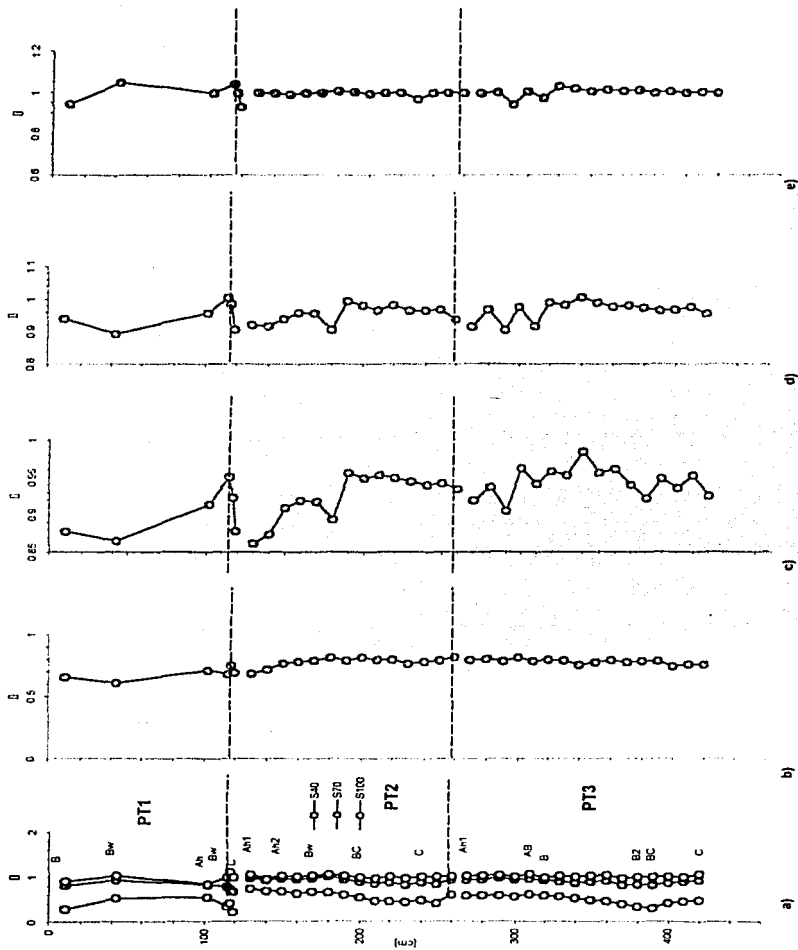


Figura 26; Parámetros Magnéticos de Zacango a) S40, b) S70, c) S100, d) S200, e) S300, f) S1000

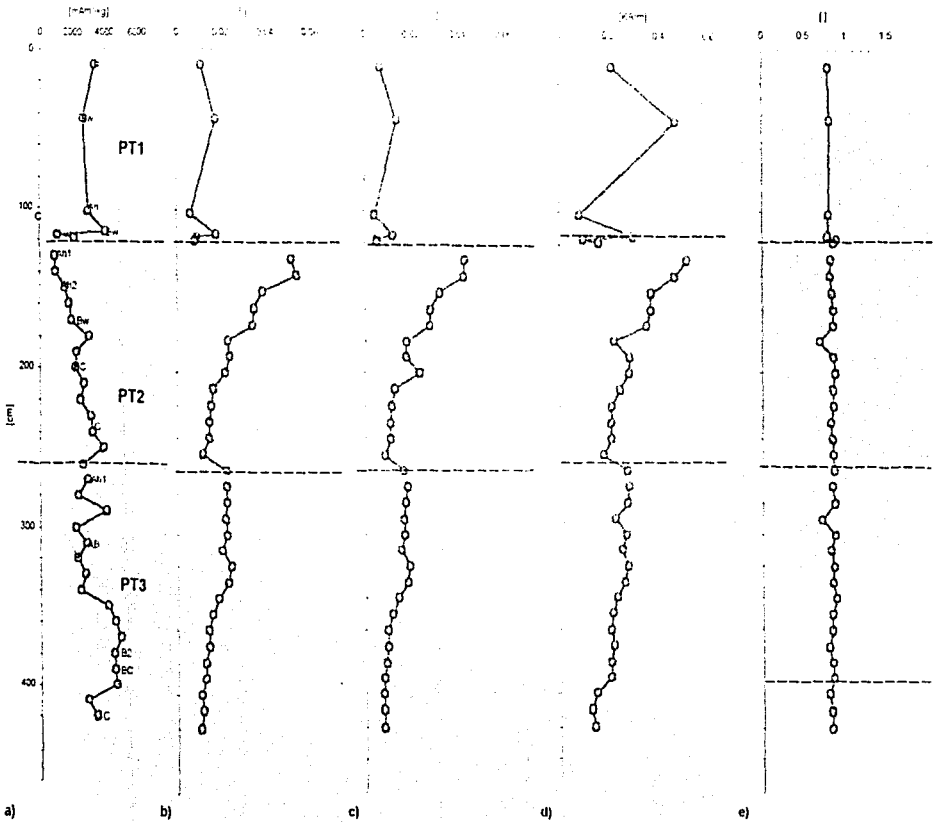


Figura 27, Parámetros Magnéticos de Zacango, a) HIRM, b) SARM/SIRM, c) ARM40/SIRM, d) SARMXL1, e) IRM100/SIRM

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

69c

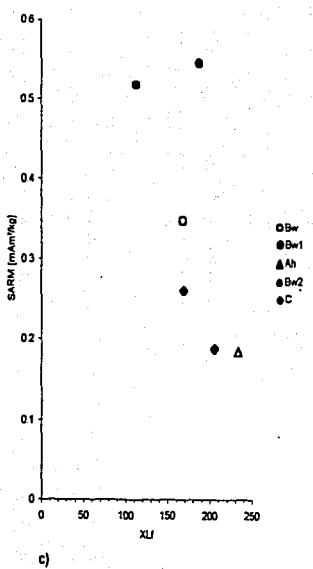
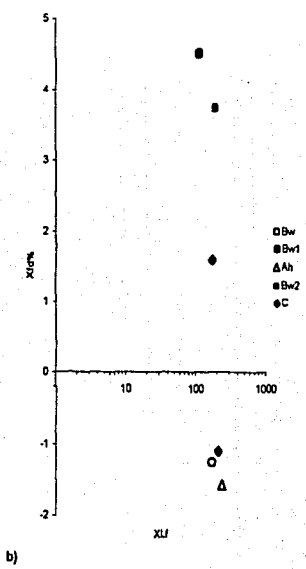
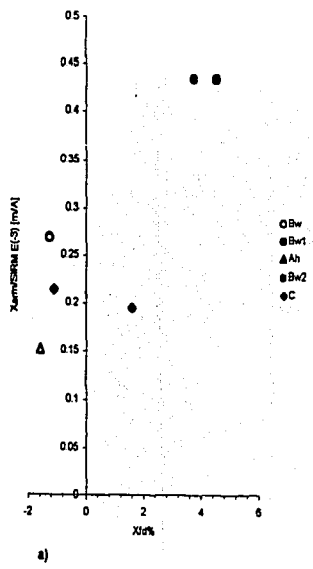
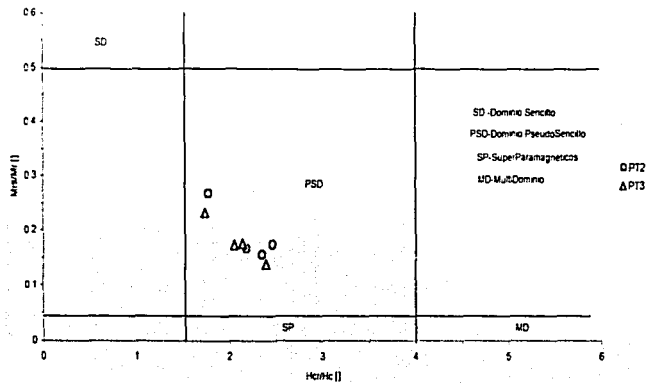


Figura 28, Relación de parámetros (ZA-PT1a): a) SIRM/Xarm v.s. Xfd%, b) Xfd% v.s. X, c) SARM v.s. X.

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

a) Diagrama de Day



b) Campo medio destructivo (MDF)

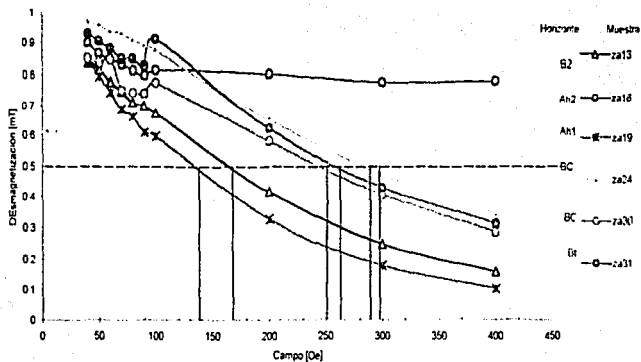
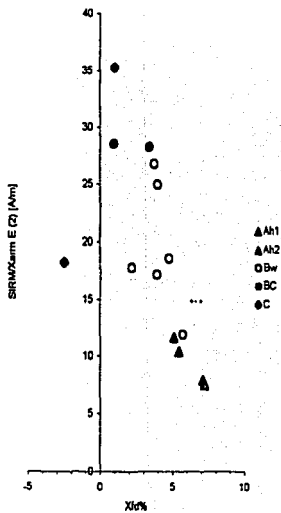


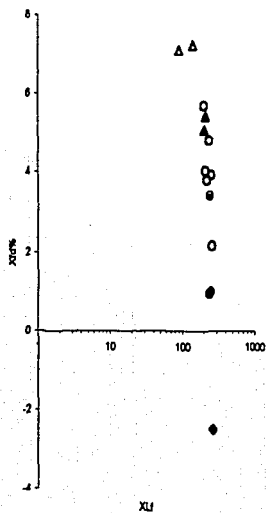
Figura 29, Parámetros Magnéticos de Zacango.

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

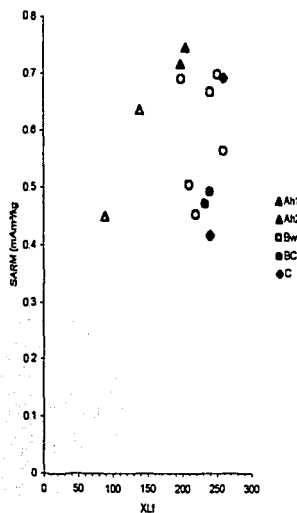
69E



a)



b)



c)

Figura 30, Relación de parámetros (ZA-PT2): a) SIRM/Xarm v.s. Xld%, b) Xld% v.s. X, c) SARM v.s. X.

TESIS CON
FALLA DE
ORIGEN

69 F

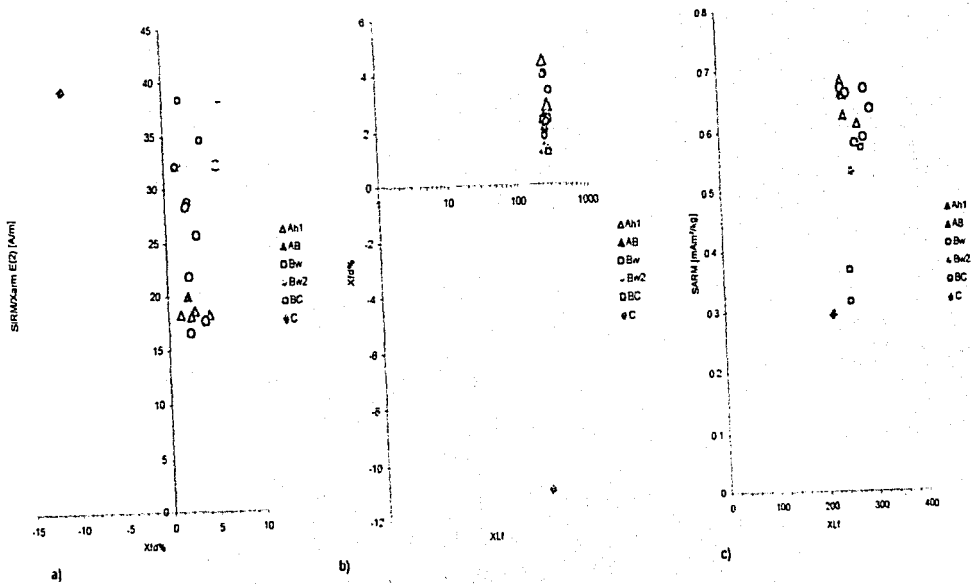


Figura 31, Relación de parámetros (ZA-PT3): a) SIRMxarm v.s. Xtd%, b) Xtd% v.s. X, c) SARM v.s. X.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Unidad Pedoestratigráfica Tres (PT3)

Esta unidad tiene aproximadamente 160 cm de espesor, con horizontes de tipo Ah1-AB-Bw1-Bw2-BC-C, presentando al igual que la unidad anterior un mayor desarrollo en el horizonte Bw; la susceptibilidad oscila entre los 216 y $305 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$, con una tendencia creciente con la profundidad hasta los 350 cm, a partir del cual decrece hasta el final de la unidad.

Presenta dos cambios sobresalientes (máximos relativos) alrededor de los 290 cm con 279×10^{-8} , los 350 cm con 305×10^{-8} y 390 cm con 284×10^{-8} que corresponden a los horizontes Ah1, Bw1 y Bw2-BC respectivamente (Figura 25a). La NRM, con tendencias decrecientes progresivamente, en su mayoría coinciden con los cambios de horizontes. Hay cuatro notables cambios ubicados en 310, 330, 360 y 390 cm que corresponden a los horizontes AB-Bw, Bw, Bw, Bw2-BC respectivamente (Fig.25b).

La SARM presenta una clara tendencia decreciente con la profundidad, no así la SIRM, ya que en el intervalo de 330 a 390 cm presenta una fase creciente y posteriormente tiende a decrecer hasta el final de la unidad (Figura 25c y 25d).

Los factores de frecuencia $X_{f_{90\%}}$ entre el 1 y el 4%, tienden a decrecer de forma homogénea con la profundidad, con mínimos relativos en 280, 330, 350 y 410 cm (Figura 25e). La mayor disminución se encuentra en el horizonte C.

Las temperaturas de Curie promedio en los experimentos de susceptibilidad v.s. temperatura varían entre los 495 y los 551°C, observándose una tendencia creciente con la profundidad, siendo más marcada hacia el final de la unidad (Figura 25f).

Los parámetros de histéresis (Mr, Ms, Hc, Hcr) sobre el diagrama de Day denotan la mezcla de dominios pseudo-sencillo a sencillo (Figura 29a y 29b). El campo destructivo medio de la muestra ZA19 (AB) es de 13.4 mT.

El valor promedio de las muestras para S_{40} es 0.4892, en S_{70} es de 0.8924 y de 1.051 para S_{100} , no se presenta una clara evidencia de saturación, pero si una tendencia a decrecer con la profundidad en S_{40} , mientras que para S_{100} presenta tres fases de relativa estabilidad al inicio de la unidad (330 y 370 cm de profundidad). Para el valor de F_{100} es 0.7807, en F_{200} es 0.9437, saturándose en F_{300} con 0.9638 y en F_{1000} es de 0.9990 (Figura 26a, 26b, 26c, 26d, 26e).

El HIRM no tiene una clara relación con la profundidad, aunque a partir de los 350 cm se exhiben dos fases de 30 cm cada una. La primera es creciente y le sigue una de relativa estabilidad, con un decremento en los últimos 10 cm de la unidad. Las relaciones SARM/SIRM y ARM_{40} /SIRM presentan una clara tendencia decreciente. Esta última con un cambio abrupto a los 300 cm donde se repite dicha tendencia, siendo relativamente

estable desde los 400 cm con un ligero incremento en los últimos 10 cm de la unidad. (Figura 27a, 27b, 27c, 27d).

Para $IRM_{100}/SIRM$ se observa una ligera tendencia decreciente con la profundidad, hay tres mínimos a los 290, 370 y 400 cm respectivamente (Figura 27e).

En el gráfico $SIRM/X_{min}$ contra $X_{RP\%}$ los horizontes B2, BC y C ocupan la parte superior izquierda del mismo, los horizontes B la parte media y los Ah y AB la inferior derecha, por

lo que estos dos últimos contienen (Maher y Taylor 1988), partículas más finas, ferrimagnéticas y con menor coercitividad que el resto de los horizontes (Figura 31a).

En $X_{RP\%}$ contra susceptibilidad, los horizontes Ah1 están en la parte superior, lo que refleja (Dearing, 1999), un mayor contenido de SP, mientras los horizontes B se ubican en la parte media del diagrama y los horizontes BC y C en la parte inferior que coinciden con el de las rocas ígneas ácidas (Figura 31b).

La gráfica SARM contra susceptibilidad, refleja (Dalan y Barnejee, 1998) la menor concentración en los horizontes BC y C con las partículas más gruesas que el resto de los horizontes (Figura 31c).

Unidad Pedoestratigráfica Cuatro (PT4)

El muestreo de esta unidad abarcó aproximadamente 80 cm de espesor, identificándose los horizontes Ahr-Ah-Bw1-Bw2. Su susceptibilidad oscila entre los 210 y $253 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$ con un comportamiento homogéneo, con una tendencia a decrecer con la profundidad, excepto dos muestras. La primera ubicada a 440 cm (Ah) con $253 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$ y la otra a los 490 cm (Bw1) con $247 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$, que se comportan notablemente diferente y que corresponden a los cambios entre los horizontes Ahr-Ah y Bw1-Bw2 respectivamente (Figura 32a).

El comportamiento que se observa en el NRM no es claro, pero puede observarse una "fase" decreciente entre 450 a 480 cm, con máximos relativos coincidiendo a los 430, 450 y 490 cm (Figura 32b).

La SARM muestra un decremento a partir de los horizontes Ah2 y hasta el final de la unidad, ubicándose el mínimo a los 480 cm. El comportamiento de la SIRM es más estable, aunque presenta el mismo mínimo que se observa en SARM (Figura 32c y 32d).

La $X_{RP\%}$, entre 0 y 3%, tiende a decrecer con la profundidad, aunque a partir de los 480 cm presenta un cambio, incrementándose hasta el final del suelo. Así mismo, se observa un máximo relativo a los 450 cm, en la transición hacia el horizonte Bw1 (Figura 32e).

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Resultados

Las temperaturas de Curie promedio de los experimentos de susceptibilidad v.s. temperatura oscilan entre los 505 y 540°C, con valores que aumentan ligeramente con la profundidad (Figura 32f).

Los parámetros de histéresis (Mr, Ms, Hc, Hcr) sobre el diagrama de Day denotan la mezcla de dominios pseudo-sencillo con tendencia a los multidominio sobre el sencillo.

El campo destructivo medio de 2 muestras ZA11(B2) y ZA13(BC) es de 29.1 y 16.5 mT (Figura 33a y 33b).

El valor promedio de las muestras para S_{40} es 0.5277, en S_{70} es 0.9002 y de 0.9929 para S_{100} , en donde se observa la saturación en S_{100} , a excepción del horizonte ubicado en 470 cm. Para F_{100} es 0.7747, en F_{200} es 0.9458, en F_{300} es 0.9676 y en F_{1000} es de 0.9905; prácticamente saturándose a los 440 cm en F_{300} (Figura 34a, 34b, 34c, 34d, 34e).

Tanto los valores de HIRM como los de $ARM_{40}/SIRM$ decrecen con la profundidad a partir de los 440 cm teniendo un repunte en los últimos 20 cm del paleosuelo para el caso de la HIRM (Figuras 35a y 35c). En la relación $SARM/SIRM$ se presenta una clara tendencia decreciente hacia el final de la unidad, el $IRM_{100}/SIRM$ crece desde el inicio hasta los 470 cm para posteriormente ir decreciendo paulatinamente hacia el final de la unidad, donde es "prácticamente estable" (Figura 35b y 35e). La $SARM/X$, se observa una ligera disminución con la profundidad, mostrando un ligero incremento 490 cm de profundidad (Figura 35d).

La relación entre $SIRM/X_{arm}$ contra $X_{f0\%}$ en general indica que (Maher y Taylor 1988), los horizontes Bw2 y Ah1 son los de mayor coercitividad, grosor y carácter ferromagnético, siendo el comportamiento de los horizontes Ah2 opuesto y el del horizonte Bw1 la transición (Figura 36a).

$X_{f0\%}$ contra susceptibilidad marca que los horizontes Ah1 y Ah2 ocupan la parte superior del diagrama, lo que denota (Dearing, 1999) una mayor concentración de SP, y los horizontes B se ubican en la parte inferior y media. Su susceptibilidad corresponde a rocas igneas (Figura 36b).

SARM contra susceptibilidad permite inferir, (Dalan y Barnejee, 1998), que la mayor concentración de minerales magnéticos es hacia la superficie de la unidad pedoestratigráfica donde presenta el menor tamaño de partícula (Figura 36c).

Unidad Pedoestratigráfica Cinco (PT5)

Esta unidad tiene en promedio 50 cm de espesor, donde se determinó dos horizontes (Bt y C), cuya susceptibilidad oscila entre los 114 y $195 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$, presentando una clara tendencia creciente. El comportamiento que presenta el NRM es decreciente con la

profundidad excepto con dos cambios abruptos en los 515 y 525 cm de profundidad, puede considerarse dos "fases" decrecientes, una entre 505 y 530 cm, con máximos relativos que coinciden en los 430, 450 y la otra entre 535 y 545 cm (Figura 32a y 32b).

La SARM y SIRM presentan una tendencia creciente con la profundidad. Los factores de frecuencia, $X_{f\%}$ se encuentran entre un 2 y 4%, en donde se observa un cambio notable en la transición de horizontes, que diferencia perfectamente las tendencias de estos horizontes con la profundidad. Presenta dos mínimos relativos a los 510 y 520 cm de profundidad mientras que el máximo está a los 525 cm (Figura 32c, 32d, y 32e).

Las temperaturas de Curie promedio de los experimentos de susceptibilidad v.s. temperatura es de 516 °C, y crece con la profundidad (Figura 32f).

Los parámetros de histéresis (Mr, Ms, Hc, Hcr) sobre el diagrama de Day denotan la mezcla de dominio pseudosencillo a multidominio. El campo destructivo medio de dos muestras T44 (BC) y T45(Ah1) es de 6.2 y 3.9 mT, que disminuye con la profundidad (Figura 33 a y 33b).

El valor promedio de S_{40} es 0.6656, en S_{70} es 0.9415 y de 1.0093 para S_{100} . Para F_{100} es 0.7184, en F_{200} es 0.8880, en F_{300} es 0.9497 y en F_{1000} es de 1.0147; prácticamente presenta tendencias crecientes en los cuatro factores, y no se observa una saturación, más que para F_{1000} (Figura 34a, 34b, 34c, 34d y 34e).

Tanto en la relación HIRM, ARM_{40} /SIRM como SARM/SIRM no se observa una tendencia clara (Figura 35a, 35c y 35b), no así para el caso de IRM_{100} /SIRM que tiende a crecer con la profundidad; mientras que SARM/X, no presenta ninguna relación o tendencia (Figura 35e y 35d).

Para $SIRM/X_{min}$ contra $X_{f\%}$ refleja (Maher y Taylor 1988), que en general los horizontes BC ferromagnéticos tienen un mayor contenido de SP respecto a los Bt y menor tamaño de partícula (Figura 37a).

En $X_{f\%}$ contra susceptibilidad los horizontes BC están sobre los Bt, lo que denota (Dearing, 1999), un mayor contenido de SP, y las susceptibilidades en ambos casos coinciden con las rocas ígneas ácidas (Figura 37b).

En el caso de SARM contra susceptibilidad (Dalan y Bernejee, 1998), indica que los horizontes BC tienen una mayor concentración de minerales magnéticos con menor tamaño de partícula (Figura 37c).

Unidad Pedostratigráfica Seis (PT6)

Esta unidad tiene en promedio 170 cm de espesor, y junto con PT3 son las unidades con mayor desarrollo (sobre todo de horizontes B) de esta localidad. Presenta horizontes del tipo E-Bt-BC-C, y dentro del Bt hay tres subhorizontes denominados como Bt1, Bt2 y Bt3.

La susceptibilidad oscila entre los 142 y $459 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$, presentando una clara tendencia creciente con la profundidad en tres fases que comienzan a los 580, 600 y 650 cm respectivamente, y presenta un máximo a los 680 cm, que corresponde a la transición Bt3-BC (Figura 32a).

El NRM muestra una tendencia creciente con un máximo a los 670 cm que corresponde a la transición de horizontes Bt3-BC. La tendencia observada en las relaciones SARM y SIRM es opuesta, ya que para la primera es creciente con la profundidad hasta los 610 cm, para posteriormente disminuir hasta el final de la unidad. Por el contrario, la SIRM es creciente, presentando un cambio que sobresale a los 660 cm, donde tiende a decrecer con un ligero repunte en los últimos 10 cm de la unidad (Figura 32b, 32c y 32d).

Los factores de frecuencia ($X_{f\%}$), entre el 1 y 4%, presentan una clara tendencia a decrecer de forma homogénea con respecto a la profundidad desde los 620 cm hasta los 670 cm (Figura 32e).

Las temperaturas de Curie promedio resultantes de los experimentos de susceptibilidad v.s. temperatura oscilan entre los 508 y 575°C, siendo mayores hacia la parte superficial de los horizontes (Figura 32f).

Los parámetros de histéresis (Mr, Ms, Hc, Hcr) sobre el diagrama de Day denotan la mezcla de multidominio a superparamagnéticos (Figura 33a y 33b). El campo destructivo medio de dos muestras T34(Bt2) y T37(C) es de 6.8 y 8 mT.

El valor promedio para S_{40} es 0.6137, en S_{70} es 0.9243 y de 0.9940 para S_{100} , no presenta evidencias de saturación que se reflejen en estos factores. Para F_{100} es 0.7709, en F_{200} es 0.9151, en F_{300} es 0.9503 y en F_{1000} es de 0.9969. En general las tendencias son crecientes en los cuatro factores, y no se observa que presenten saturación alguna (Figura 34a, 34b, 34c, 34d y 34e).

En HIRM se observan dos tendencias decrecientes, una a partir de los 590 cm y la otra a los 660 cm. Con una fase intermedia creciente en los 630 cm, y un incremento hacia al final de la unidad (Figura 35a).

Tanto la relación $ARM_{40}/SIRM$ como la $SARM/SIRM$ presentan una clara tendencia a decrecer con la profundidad en tres fases a los 580, 610 y 650 cm, que coinciden con tres

horizontes Bt's (Bt1-Bt2 y Bt3). Para la relación $IRM_{100}/SIRM$ no se observa una tendencia clara con la profundidad (Figura 35b, 35c y 35e).

SARM/X presenta valores menores en la parte superior al inicio del PT, que los observados en la unidad anterior, siendo la tendencia creciente hasta los 610 cm, donde comienza a disminuir hasta el final del paleosuelo. Además, se observan tres fases de relativa estabilidad. Una en los primeros 20 cm de la unidad, seguida de otra ubicada a 600 cm de profundidad y la última que se localiza a 690 cm (Figura 35d).

Para $SIRM/X_{arm}$ contra $X_{fp\%}$, son los horizontes E, C y BC los que poseen (Maher y Taylor, 1988), partículas ferromagnéticas de mayor coercitividad y más gruesas con respecto a los horizontes Bt (Figura 38a).

La relación $X_{fp\%}$ contra susceptibilidad no muestra una tendencia clara con la profundidad, en especial para el horizonte Bt3 que es el más evolucionado, aunque se puede observar que los horizontes Bt1, Bt2, BC y C se encuentran en la parte media de la distribución. Las susceptibilidades están en (Dearing, 1999) el dominio sencillo estable (SSD) y multidominio (MD), (Figura 38b).

En la gráfica SARM contra susceptibilidad se puede observar que los horizontes E son de menor concentración de minerales magnéticos (Dalan y Banerjee, 1998), los horizontes Bt₃ tienen mayor concentración y menor tamaño de partícula que los horizontes BC (Figura 38c).

Unidad Pedoestratigráfica Siete (PT7)

El muestreo de esta unidad tiene en promedio 90 cm de espesor y cuenta con horizontes Bt-BC-C. Presenta una susceptibilidad que oscila entre los 240.53 y $288.18 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$, con una clara tendencia creciente con la profundidad en dos fases que comienzan a los 740 y 770 cm siendo éstos los mínimos relativos (Figura 32a).

El comportamiento que presenta el NRM es creciente con la profundidad a partir de los 750 cm hasta el final de la unidad, el máximo está a los 740 cm y presenta un decrecimiento abrupto en los últimos 10 cm. Tanto la SARM como la SIRM presentan una tendencia a decreciente, con un cambio pronunciado asociado al horizonte C. La SIRM muestra una fase de relativa estabilidad que va de los 750 a los 780 cm, con el mínimo en los últimos 10 cm del paleosuelo (Figura 32b, 32c y 32d).

La $X_{fp\%}$, entre el 1 y el 15%, presenta dos tendencias crecientes con respecto a la profundidad a partir de los 720 y a los 750 cm, con el valor máximo de toda la localidad, en la muestra ZA039 (C) a los 790 cm, y una fase relativamente estable en los primeros 20 cm de la unidad (Figura 32e).

Las temperaturas de Curie promedio en los experimentos de susceptibilidad v.s. temperatura oscilan entre los 529 y 543 °C (Figura 32f). Los parámetros de histéresis (Mr, Ms, Hc, Hcr) sobre el diagrama de Day denotan la mezcla de dominio pseudosencillo a multidominio (Figura 33a y 33b). El campo destructivo medio de 2 muestras T38 (E) y T41(BC) es de 9.5 y 10.9 mT.

El valor promedio en S_{40} es 0.5789, S_{70} es 0.9057 y de 1.0000 para S_{100} , no presenta evidencias claras de saturación que se reflejen en los factores S_{40} ni en S_{70} y sólo para S_{100} hay algunos indicios de esto (Figura 34a). Para F_{100} es 0.8061, en F_{200} es 0.9546, en F_{300} es 0.9685 y en F_{1000} es de 1.0007; en general tampoco presentan tendencias a la saturación en los factores, no así en F_{300} , donde prácticamente se observa que la saturación está en toda la unidad, aunque con un ligero decremento de 20 cm a partir de los 750 cm, mismo que corresponde a un horizonte BC (Figura 34b, 34c, 34d y 34e).

El HIRM no presenta una tendencia clara con la profundidad, pero sí una repetición de comportamientos relativa, identificándose claramente tres de estos: al inicio de la unidad (Bt), 730 cm (horizonte BC) y a los 750 cm (horizontes BC y C) con una disminución al final del PT, (Figura 35a).

En la relación SARM/SIRM y ARM_{40} /SIRM se observa una clara tendencia a decrecer dos fases, en las muestras ZA046 (Bt1) y ZA044 (Bt2), además de presentar un cambio abrupto en los últimos 10 cm que corresponden al horizonte C del paleosuelo, (Figura 35b y 35c). SARM/X presenta una tendencia creciente en sus primeros 30 cm, para después disminuir con la profundidad con un repunte en el horizonte C. Tiene una fase de estabilidad de 20 cm, iniciada a los 750 cm asociada con el horizonte BC. (Figura 35d).

En el caso de la relación IRM_{100} /SIRM tiene una ligera tendencia a decrecer con la profundidad con dos mínimos a los 730 y 770 cm que corresponden a un horizonte Bt2 y un BC respectivamente (Figura 35e).

$SIRM/X_{arm}$ contra X_{fms} (Maher y Taylor 1988), indica que en los horizontes Bt y BC poseen un mayor contenido de granos finos ferrimagnéticos de baja coercitividad que en los horizontes C (Figura 39a).

X_{fms} contra susceptibilidad muestra que el horizonte C se ubica en la parte superior, mientras que los horizontes Bt en la parte media y los BC en la inferior. Esto indica que (Dearing, 1999) existe una dependencia de la frecuencia, con un notable contenido de partículas SP en el horizonte C. Su susceptibilidad corresponde a rocas ígneas ácidas (Figura 39b).

En la gráfica SARM contra susceptibilidad (Dalan y Banerjee, 1998), se denota que los horizontes BC presenta la menor concentración con un mayor tamaño de partícula, y los horizontes Bt1 los de mayor concentración y menor tamaño de partícula (Figura 39c).

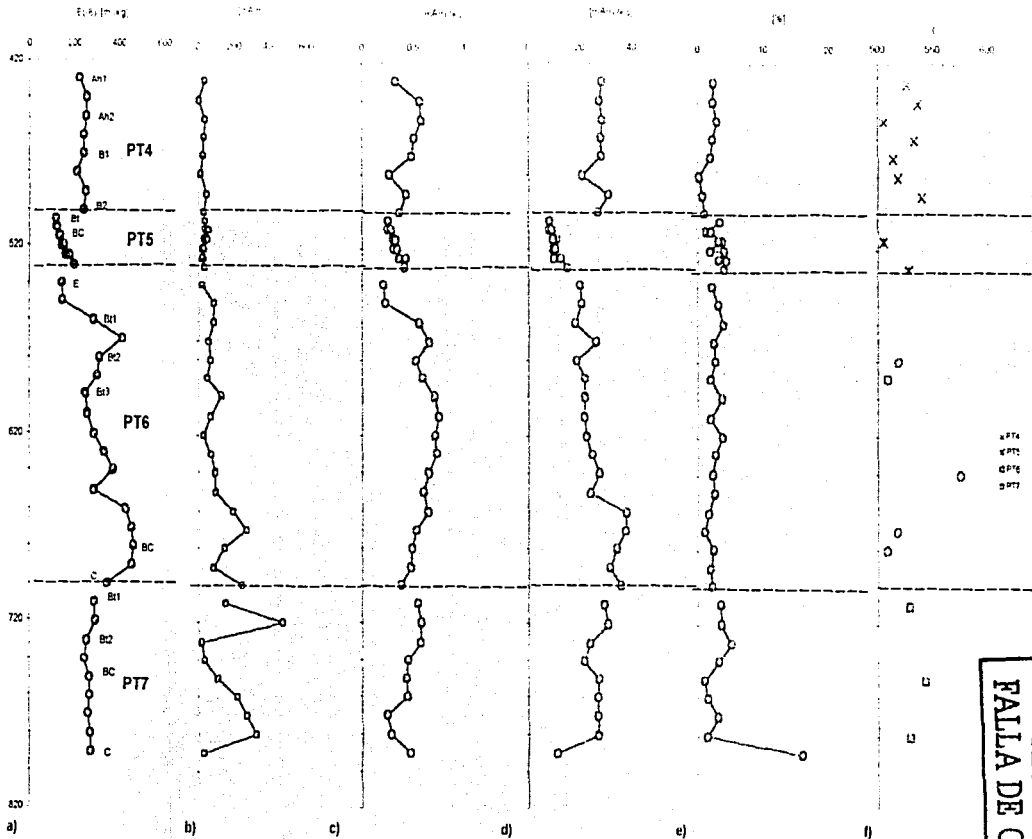
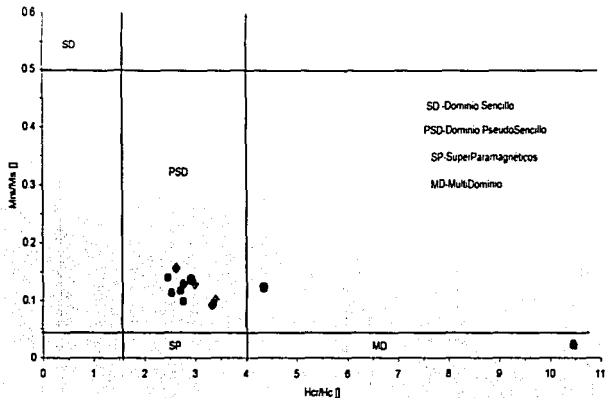


Figura 32. Parámetros Magnéticos de Zacango. a) XLI, b) NRM, c) SARM, d) SiRM, e) Xfd%, f) Temperatura de Curie

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

76 A

a) Diagrama de Day



b) Campo medio destructivo (MDF)

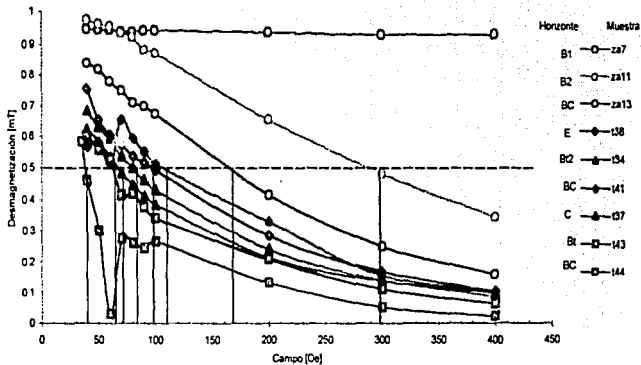


Figura 33. Parámetros Magnéticos de Zacango.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

76B

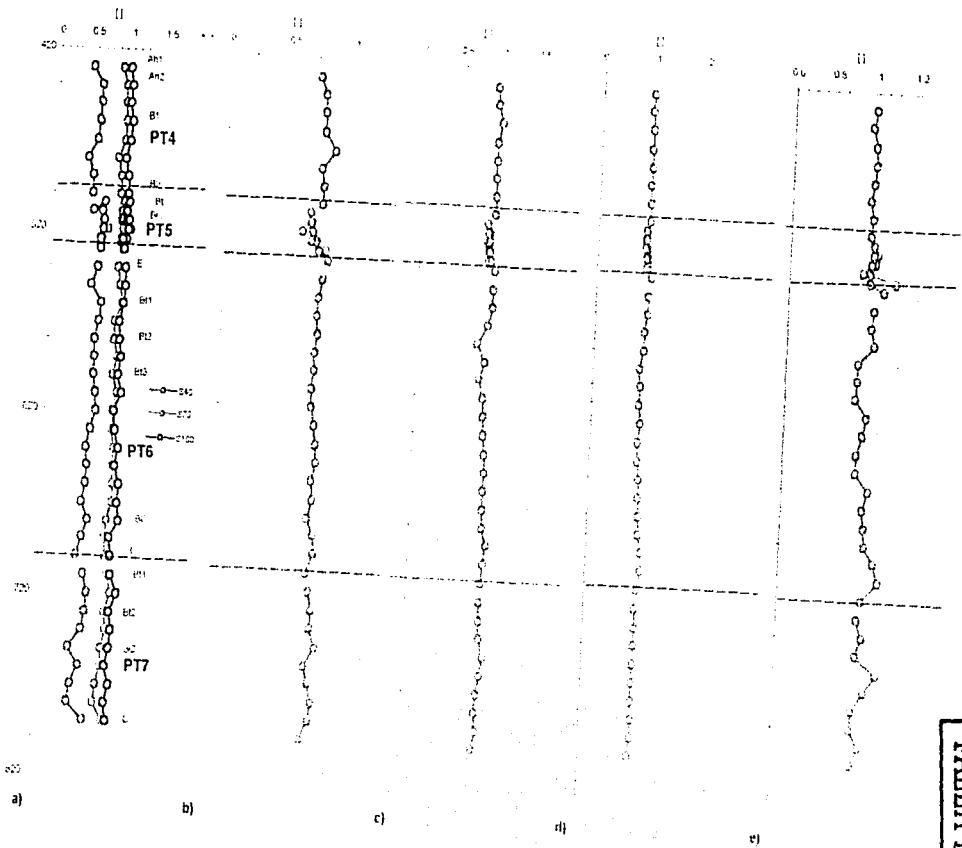


Figura 34 (Parámetros Magnéticos Zacanga) a) G_z, b) F110, c) F200, d) F300, e) F1000

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

760

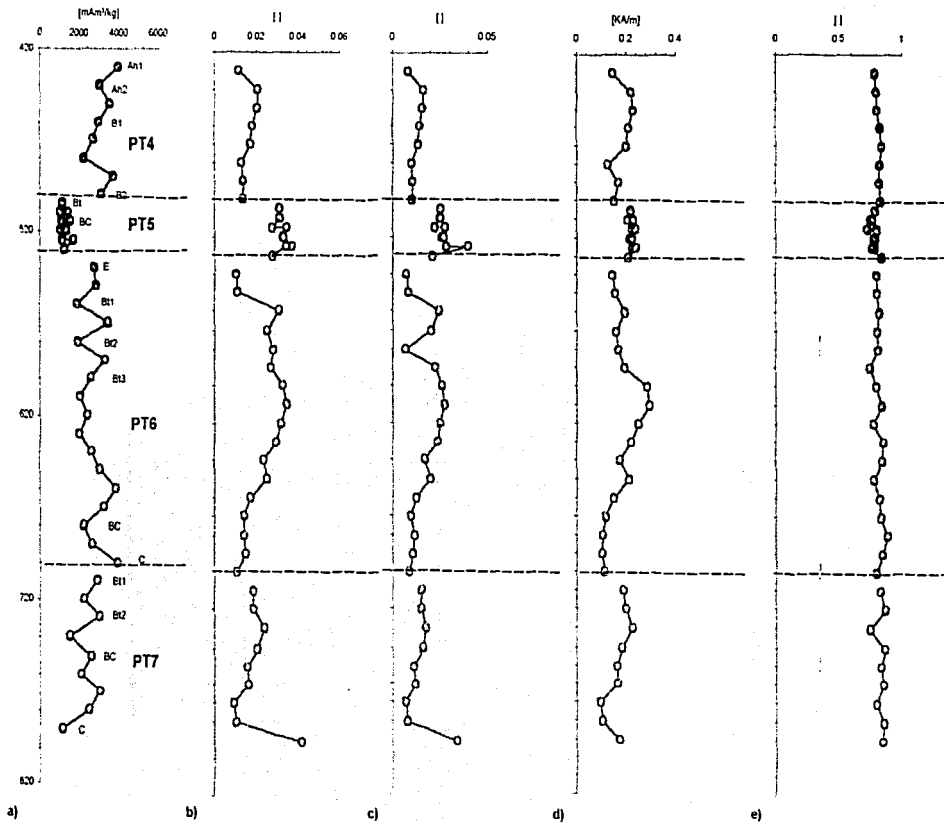
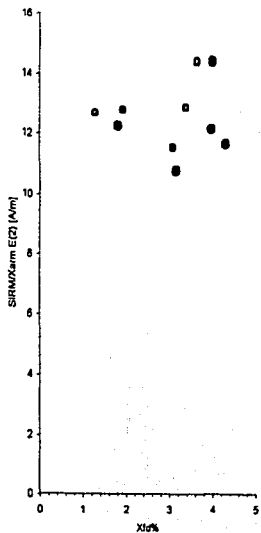


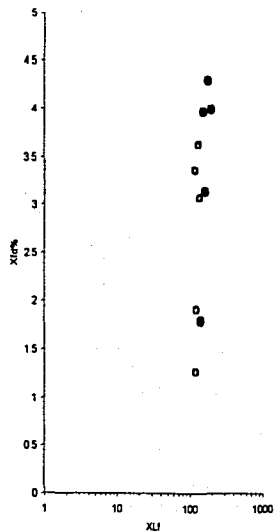
Figura 35. Parámetros Magnéticos de Zacango. a) HIRM, b) SARM/SIRM, c) ARM40/SIRM, d) SARM/XL, e) IRM100/SIRM

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

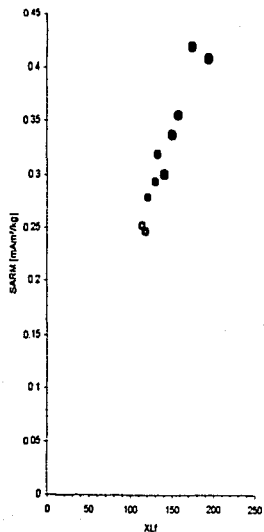
969



a)



b)



c)

Figura 37, Relación de parámetros (ZA-PTS): a) SIRM/Xarm v.s. Xfd%, b) Xfd% v.s. X, c) SARM v.s. X.

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

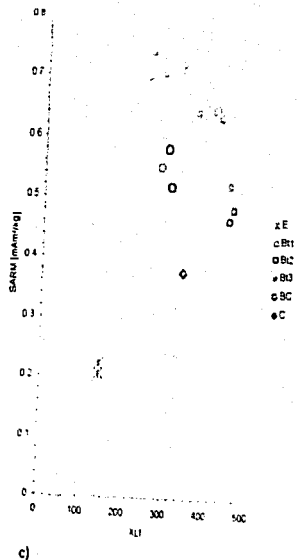
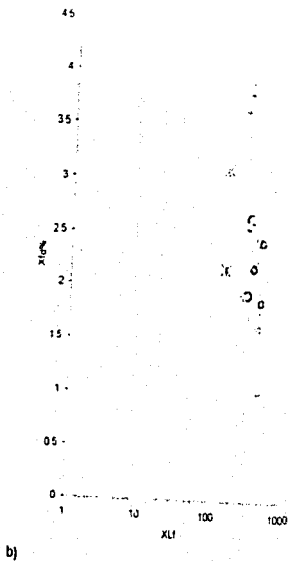
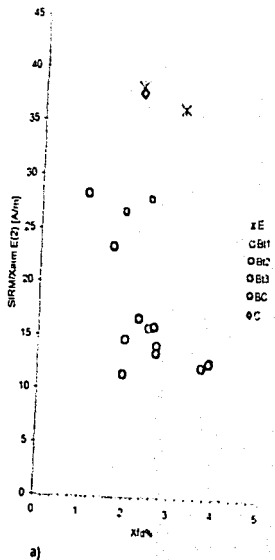


Figura 38. Relación de parámetros (ZA-PT6): a) SIRM/Xarm vs. Xfd%, b) Xfd% vs. X, c) SARM vs. X.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

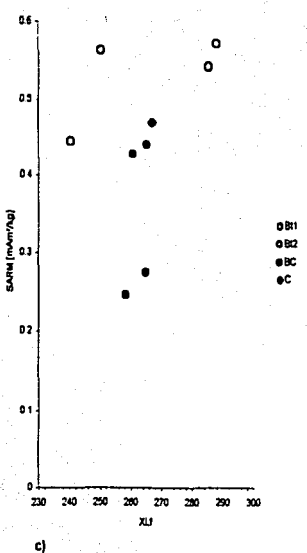
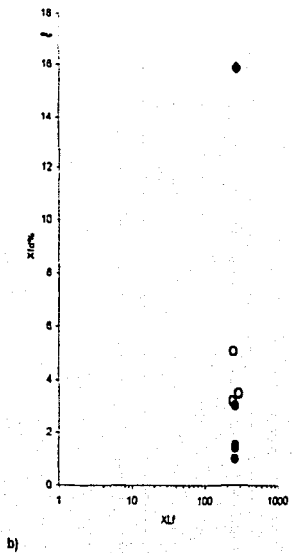
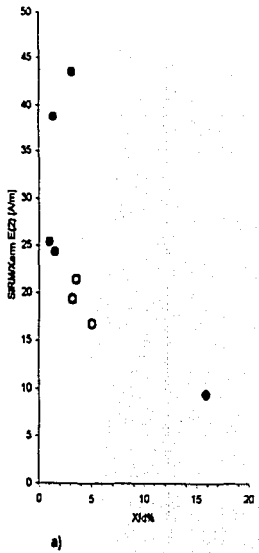


Figura 39, Relación de parámetros (ZA-PT7): a) SIRM/Xam v.s. Xld%, b) Xld% v.s. X, c) SARM v.s. X.

76H

LESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

VI Discusión

Los resultados de las mediciones magnéticas efectuadas permiten diferenciar cada uno de los paleosuelos estudiados, manteniendo un comportamiento específico en las dos secuencias: Arroyo la Ciervita (LC) y Zacango (ZA). De hecho, cada unidad PT1, PT2 y PT3 tanto en LC como en ZA, exhiben patrones similares en los diferentes parámetros analizados; existen algunas diferencias que son ocasionadas a las condiciones del sitio. A continuación se presentan dichas similitudes y variaciones entre las tres primeras unidades de cada localidad que han permitido correlacionar con mayor facilidad a los paleosuelos.

VI.1 Comportamiento Magnético de las Unidades Pedoestratigráficas

PT1 en ambas secciones no presentan las mismas relaciones estratigráficas. Mientras que en ZA se ubica claramente entre la Pómez Toluca Superior e inferior, en LC sobreyace a PT2. Tampoco con respecto al resto de los PT's para las dos secciones. Es por ello que resulta de interés analizar los parámetros magnéticos que ayuden a correlacionarlas.

Se observa que los valores medios de susceptibilidad y NRM (Figuras 18 y 25 a, b), para PT1 son más altos en (LC) que los encontrados en (ZA) Un comportamiento similar se denota con los horizontes Bw cuyos valores son cercanos a la media, con un notable decremento asociado con los horizontes C. En SARM y SIRM (Figura 18 y 25 c,d) se observa una estabilidad de los horizontes Bw y un cambio notable debido a la presencia de los horizontes C. Del mismo modo, los factores de frecuencia y la temperatura de Curie (Figuras 18 y 25 e, f) son similares en los horizontes comunes para ambas localidades. El comportamiento de los factores F_x y S_x (Figuras 20 y 26) es parecido, mostrando estabilidad en los horizontes Bw y el cambio en los horizontes C. También es común para ambos perfiles su tendencia a decrecer con la profundidad en IIRM, SARM/SIRM, SARM/X (Figuras 21 y 27 a, b, d) con el repunte en el cambio de horizonte. El gráfico SIRM/ X_{ARM} v.s. X_{IRM} (Figura 22 y 28 a) es semejante con los horizontes C en la parte superior y los B en la inferior. En X_{IRM} v.s. X (Figura 22 y 28 b), los horizontes C están en la parte media y en la superior los B, características que podrían ser asociadas a la actividad agrícola. Este comportamiento indica un predominio de partículas gruesas en C y más finas en Bw, formadas por intemperismo. De hecho, los valores de arcillas de estos horizontes son mayores en comparación con los C (Tabla 8).

A pesar de que tanto PT2 como PT3 se ha correlacionado por la edad (Sedov et al., 2001; Solleiro et al., 2002) en ambas localidades, es interesante analizar las diferencias que existen en su comportamiento magnético.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Discusión

En general se observa que para PT2 y PT3, el promedio de susceptibilidades (Figuras 18 y 25 a) es superior en (ZA) que en (LC). Tienen un patrón similar en PT2 en los horizontes que aparecen en ambos perfiles, los máximos corresponden a los horizontes Ah, BC, y los mínimos a los horizontes Bw. En LC se presenta el mayor número de máximos y mínimos, y curvas suavizadas en ZA a causa del mayor número de horizontes que muestra PT2 en LC.

Los máximos en LC corresponden con horizontes C y los mínimos con A, marcando la ciclicidad de la actividad volcánica y pedogenética.

Tanto para (ZA) como para (LC), los experimentos de susceptibilidad v.s. temperatura muestran similitudes para PT2 y PT3 en los horizontes B, cuyos valores corresponden al promedio de las temperaturas en la unidad, y siempre por encima de ésta se ubican los horizontes C.

En general las temperaturas (Figuras 18 y 25e) determinadas son mayores en PT3 que en PT2, y en ambos tienden a crecer con la profundidad.

Se observa que los patrones en la SIRM, factores S_x y F_x (Figuras 18 y 25 d, 20 y 26) son similares tanto para PT2 como PT3 en ambas localidades, aunque los valores promedio para ZA son más altos. Esto es asociado con las condiciones locales, ya que en LC hubo varios eventos volcánicos que interrumpieron la pedogénesis, mientras que en el caso de ZA hubo una mayor estabilidad del paisaje; corroborándose así lo reportado en otros trabajos (Jasso et al., 2002). Esto se ve reflejado en la tendencia a crecer con la profundidad presentando una brusca disminución al cambiar de unidad pedoestratigráfica.

En la SARM (Figura 18 y 25 c), para PT2, el patrón es similar, con tres máximos notables, pero en (LC) la tendencia es creciente con la profundidad, mientras que en (ZA) la tendencia es opuesta. En PT3 (LC) se observa prácticamente estable, no así para (ZA), donde se visualizan dos tendencias a disminuir con la profundidad

Los horizontes comunes en ambos perfiles de PT2 y PT3 muestran gran similitud en los tres parámetros S_x (S_{40} , S_{70} y S_{100}) y F_x (F_{100} , F_{200} , F_{300} y F_{1000}) pero con mayor estabilidad en (LC); (Figuras 20 y 26).

Para las gráficas SIRM/ X_{min} v.s. X (Figuras 23, 24, 30 y 31 a), se observa en PT2 la tendencia a disminuir con los horizontes BC, y en la parte superior izquierda le siguen los horizontes Bw, Ah1 y Ah2. En PT3, el patrón también es común en el horizonte BC, en la parte superior Ah y B en la media inferior.

En el gráfico de X_{100} v.s. X (Figuras 23, 24, 30 y 31 b), los horizontes comunes en ambas localidades también muestran comportamientos parecidos.

Por otro lado, PT4 es un paleosuelo cuya morfología es similar a la que tiene PT3 de Zacango, por lo mismo sus propiedades magnéticas también son semejantes (Xlf, NRM, $X_{RP\%}$, Sx, Fx, SARM/SIRM, ARM_{40} /SIRM, SARM/Xlf, IRM_{100} /SIRM: Figuras 32a, b, c, 26, 27 b, c, d, e), aunque se observan diferencias claras como en SARM y HIRM (Figuras 32c y 35a). De hecho, esta unidad muestra e l valor por medio más alto de HIRM que indicaría una concentración alta de minerales antiferromagnéticos de alta coercitividad, siendo mayores en Ah, evidenciando un grado más avanzado de intemperismo. Los valores altos de Xlf y bajos de $X_{RP\%}$ en B se asocian con un intemperismo menor.

En este horizonte también se encuentra la mayor concentración de ferrimagnéticos, aunque en la parte más profunda de este perfil hay una proporción mayor de antiferromagnéticos, evidenciado por valores bajos de SIRM.

La relación SARM/SIRM muestra la presencia de partículas ferrimagnéticas finas en Ah y de ferromagnéticas gruesas en B. Si bien el biplot SIRM/Xarm (Figura 36a), señala un predominio de ferromagnéticos gruesos, hay una mezcla de PSD en todos los horizontes. La proporción de arcilla en este paleosuelos, por otro lado, es similar en todo el perfil (Tablas 8a y 8b).

Los tres paleosuelos más antiguos poseen una morfología marcadamente diferente al de los paleosuelos jóvenes, y por lo mismo, notables diferencias en sus propiedades magnéticas.

PT5 es un paleosuelo que ha sufrido una fuerte erosión y por eso sólo tiene dos horizontes Bt y BC, los cuales muestran los valores más bajos de Xlf (Figura 32a) de todas las secuencias, que coinciden con los de SIRM (Figura 32d), indicando la presencia de minerales antiferromagnéticos. Los valores de HIRM (Figura 35a) son bajos y también señalan el dominio de minerales antiferromagnéticos de alta coercitividad. La relación SARM/SIRM es alta en Bt indicando una concentración alta de ferromagnéticos de granos grueso (Figura 35b) en tanto los biplot (Figura 37a, b, c) muestran que este tipo de partículas son comunes en todo el suelo, cayendo dentro del campo de PSD y SP (Figura 33a).

PT6, el paleosuelo de mayor grado de desarrollo (Sedov et al., 2001; Jasso et al., 2002) tiene propiedades magnéticas relacionadas con dicho desarrollo. Los valores de Xlf son los más altos de toda la secuencia, especialmente en Bt y BC, que indican la alta concentración de minerales magnéticos que existe en esos horizontes. Morfológicamente, Bt se subdividió en tres: Bt1, Bt2 y Bt3. Dichas divisiones coinciden y se distinguen claramente por medio de los parámetros analizados. Particularmente, Bt3 muestra diferencias marcadas en Xlf, NRM, SIRM, SARM/SIRM, F_{1000} (Figuras 32a, b, d, 34e, 35b) y en el diagrama de Day (Figura 29a).

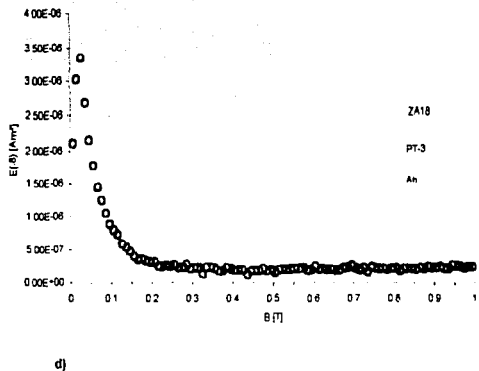
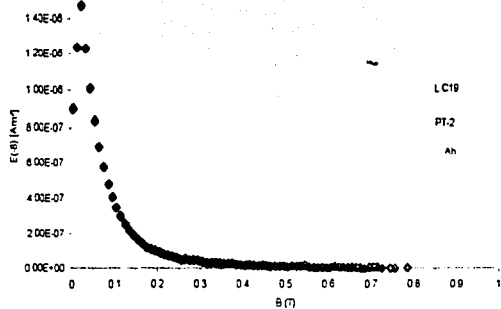
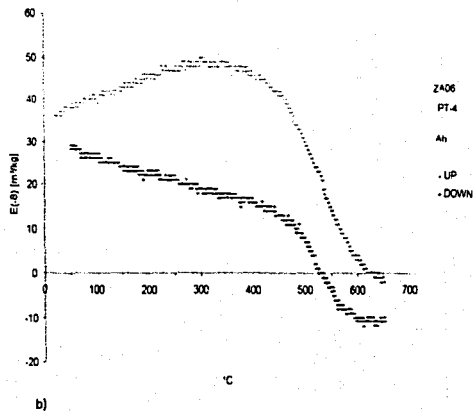
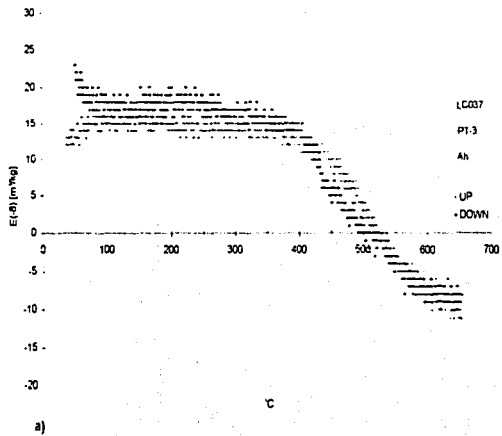


Figura 40, a) y b) X vs Temperatura, c) y d) fases magnéticas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Este comportamiento coincide con los elevados contenidos de arcilla que fueron encontrados en Bt3 (Tablas 8a y 8b), aunque en BC, a pesar de que la proporción es alta, la influencia de este tipo de partículas no es tan marcada. Esta situación puede ser resultado de las variaciones en el tipo de arcilla que se ha encontrado en los horizontes: en Bt domina la caolinita, mientras que en BC y C se presenta un contenido más alto de haloisita (Sedov et al., 2002).

Estas diferencias mineralógicas están estrechamente relacionadas con el grado de evolución del suelo. A mayor desarrollo, la haloisita evoluciona a caolinita, por lo que el horizonte Bt es más desarrollado. El diagrama de Day indica que las partículas que dominan este suelo son de tipo MD y en Bt es clara la presencia de MD-SP (Figura 33a).

Finalmente, PT7 tiene un comportamiento que lo sitúa en un punto de evolución intermedio entre los paleosuelos más jóvenes (PT2-PT4) y el más desarrollado PT6. Por el patrón que exhibe Xif (Figura 32a), PT7 es similar a PT3 y PT4, pero el de NRM, SARM y Sx, es parecido a PT6 (Figura 32b, 32c y 34a).

VI.2 Comportamiento Magnético de los Horizontes

De acuerdo con los parámetros y factores magnéticos analizados, tanto en los perfiles de Zacango (ZA) como de Arroyo la ciervita (LC), es posible caracterizar, de forma generalizada, cada uno de los horizontes que los conforman. De esta forma, se tiene que:

- Los horizontes E, ubicados sólo en ZA, presentan valores bajos en algunos de sus parámetros magnéticos como es el caso de: la susceptibilidad magnética, SARM, $X_{RM\%}$, HIRM, $ARM_{100}/SIRM$, $SARM/X$, $IRM_{100}/SIRM$ y $SARM/SIRM$. No así en el caso de la NRM, los factores Fx y Sx, los cuales muestran valores similares al resto de los horizontes.

Esto permite inferir que dichos horizontes presentan una posible composición de titanomagnetitas, con una coercitividad baja que se asocia con poco intemperismo, una concentración magnética de tipo ferro-ferrimagnético. Además de tener una fase magnética.

Presentan una alta estabilidad magnética a la remanencia, así como una fuerte interacción de SD, además de presentar en la mezcla un dominio de los SP sobre los SD.

El comportamiento magnético de estos horizontes coincide con su génesis, ya que son resultado del lavado de materiales como arcillas y óxidos de hierro, de tal forma que permanecen en él las partículas más estables (cuarzo).

- Para los horizontes Ah, que se encuentran en ambas localidades, presentan tendencias crecientes que se observan en la susceptibilidad magnética, SARM y $X_{R75\%}$, son más bajos que los encontrados en otros horizontes. Lo contrario se observa en F_{100} , ARM₄₀/SIRM, IRM₁₀₀/SIRM y SARM/SIRM.

Es por eso que las mezclas mineralógicas probablemente en su mayoría están constituidas por titanomagnetitas con algo de goetitas y hematitas, así como posibles transiciones entre éstas.

Tienen una sola fase magnética, son altamente estables, con baja coercitividad y contenido de hierro; que se reflejan en un menor interperismo. Presenta un comportamiento magnético de tipo ferro-ferrimagnético con una contribución del 30% de paramagnéticos.

Este comportamiento magnético está relacionado con su alto contenido de materia orgánica (Tabla 8a y 8b) que tienden a retener humedad y tal vez bacterias de tipo magnetotáticas que influyen el patrón magnético observado. Asimismo, se considera que los minerales magnéticos son producidos esencialmente por procesos de pedogénesis, que genera partículas de grano fino.

- En los horizontes AB, ubicados en ambas localidades, las propiedades magnéticas como: la susceptibilidad, NRM, F_{100} , Factores S_x , e IRM₁₀₀/SIRM tienden a ser bajos, pero mayores que en A. También se observa que en $X_{R75\%}$, F_{200} , ARM₄₀/SIRM y SARM/X presenta valores más altos que los observados en B y C.

Estos horizontes reflejan una mezcla que contienen en su mayoría titanomagnetitas y magnetitas con fases de transición entre éstas. Son de baja coercitividad y por tanto menor interperismo. Presenta un menor contenido de SP sobre los SD, con partículas más grandes, probablemente MD. Hay una fuerte interacción de las partículas SD. Además se observa una disminución en su comportamiento ferro-ferrimagnéticos, con un aporte de aproximadamente el 20% de paramagnéticos y un incremento de pedogénesis debido a la contribución hecha por la magnetita.

- Los horizontes Bw de ambas localidades, presentan una tendencia creciente con la profundidad en varias de sus propiedades magnéticas, como son: la susceptibilidad, la NRM, F_{100} , y ARM₄₀/SIRM. Lo contrario se refleja en $X_{R75\%}$ y F_{300} .

De ahí que, estos probablemente contengan titanomagnetitas con un menor contenido de magnetitas a hematitas, de una sola fase magnética, y cuya mezcla de PSD es dominada por una tendencia a MD, en donde los posibles SP están lejos del límite de SP/SD que son influenciados más por los SD. Tienen una alta concentración de ferro-ferrimagnéticos con un 25% de contribución de paramagnéticos.

Son más altas las coercitividades, mismo que reflejan un mayor intemperismo, además de ser más estables a la remanencia y el incremento de pedogénesis originado por el aporte de la magnetita.

Las propiedades magnéticas observadas, son reflejo del mayor intemperismo que muestran estos horizontes, en comparación con los Ah y C sobre y suprayacentes, respectivamente. Desde el punto de vista pedogenético, son los horizontes B (ó Bw) en donde se encuentran los procesos de transformación mineral más pronunciados (el subíndice w significa weathering = intemperismo), aunque no es tan intenso como para destruir a las partículas originales. Por lo que, en ocasiones se presentan comportamientos opuestos.

- El comportamiento de los horizontes BCw, presentan el comportamiento creciente en la NRM, X_{IR76} , F_{100} , F_{300} , F_{1000} , HIRM, SARM/X y SARM/SIRM. La tendencia decreciente está presente en la SARM, SIRM, F_{200} , ARM_{40} /SIRM y IRM_{100} /SIRM.

Por lo tanto, su composición es de titanomagnetita, con un posible incremento de magnetita a hematita, con una fase magnética. Su comportamiento es de tipo ferro-ferrimagnético secundario con un 36% de contribución paramagnética. Esta cerca del límite SP/SD, que es dominado por SP. Tiene altas coercitividades e intemperismo, no así la interacción entre los campos para los SD y la estabilidad a la remanencia.

El comportamiento observado en este tipo de horizontes (BC o BCw) indica que también han sido afectados por intemperismo, aunque hay en ellos una fuerte influencia del material parental.

- Los horizontes Bt, ubicados en ZA, tienen valores altos en la susceptibilidad magnética, SARM, SIRM, F_{1000} , Factores Sx, SARM/X e IRM/SIRM. Lo contrario se encuentra en la NRM, F_{100} , F_{200} , F_{300} , HIRM, ARM_{40} /SIRM y SARM/SIRM.

Se puede observar una disminución tanto en el contenido de titanomagnetita, la proporción magnetita - hematita, así como en el tamaño de partículas; por lo que se da una importante contribución de partículas pequeñas con una tendencia al límite SD/PSD.

Tiene una fuerte interacción magnética de los SD, además de ser altamente estables con menor coercitividad e intemperismo.

Presenta un comportamiento ferro-ferrimagnético con una contribución del 30% debida a los paramagnéticos.

Los horizontes Bt, desde el punto de vista pedogenético, son ricos en partículas de tamaño de arcilla (Tabla 8b), formada por el intemperismo de los minerales primarios. Asimismo, la liberación del hierro contenido en los ferromagnesianos (Piroxenos y anfíboles) y su recristalización en diferentes óxidos de hierro como hematita son procesos comunes. Así, las propiedades magnéticas encontradas están relacionadas con los mecanismos de formación del horizonte.

- El horizonte C, en las dos localidades, tiene una tendencia creciente en parámetros magnéticos como F_{100} , factores S_x , y SARM. Lo opuesto se puede observar en la SIRM, X_{600} , F_{200} y F_{300} .

Presenta una composición de titanomagnetitas con una posible disminución en la transición de magnetita a hematita, aumenta el contenido en su comportamiento ferro-ferrimagnético con un aporte del 19% de los paramagnéticos. Además de tener una gran fuerza de interacción entre las partículas SD que se ve reflejado en el dominio ejercido sobre la mezcla de PSD.

VI.3 Composición Mineralógica Magnética

La composición mineralógica (magnética) que conforman a los paleosuelos del Nevado de Toluca es de tipo titanomagnetita, con algunas intrusiones de hematita, magnetita y goetita, que se ve reflejado en SIRM/X, SARM/SIRM, IRM, entre otros (Figura 14), así como en F_{300} y la temperatura de Curie. La composición de las titanomagnetitas presentan en general entre un 8 y un 30% en su contenido de Titanio. La fracción de arena fina se tiene un predominio de plagioclasas, vidrio volcánico ferromagnesianos sobre todo en PT1 a PT4 (Tabla 11), mostrando valores más bajos en vidrio, Piroxenos y anfíboles en PT5 a PT7. Esto explica la posible contribución de paramagnéticos en las diferentes unidades.

Los experimentos de susceptibilidad magnética contra temperatura, permiten resaltar que los paleosuelos estudiados están constituidos en su mayoría por cuatro posibles minerales y las transiciones entre estos. Los datos de los ciclos de histéresis reflejan que sólo se encuentra una fase magnética. Por lo que más bien, la magnetización se encuentra en función del tamaño de partícula y no del número de fases mineralógicas.

Dichas fases se encuentran en su mayoría bajo un comportamiento magnético de tipo ferromagnético, donde predomina una tendencia gradual hacia los ferrimagnéticos que es más acentuada hacia la parte superficial de cada una de las unidades.

Míneral	PT1 *	PT2 *	PT3 *	PT4	PT5	PT6	PT7
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Plagioclasas	35.75	49.85	51.05	52.45	51.65	60.08	52.92
Vidrio	41.95	24.65	34.2	17.45	12.15	9.7	13.9
Piroxenos	15.45	16.2	20.05	18.05	12.5	11.05	12.68
Anfíboles							
Cuarzo	1.5	3.37	6.8	4.7	11.8	7.7	5.34
Otros	5.35	5.92	5.0	7.3	11.95	11.43	15.2

Tabla 11. Porcentaje de minerales para la fracción fina de los paleosuelos del Nevado de Tolú (* promedio de ambas localidades). (Jasso et al., 2002)

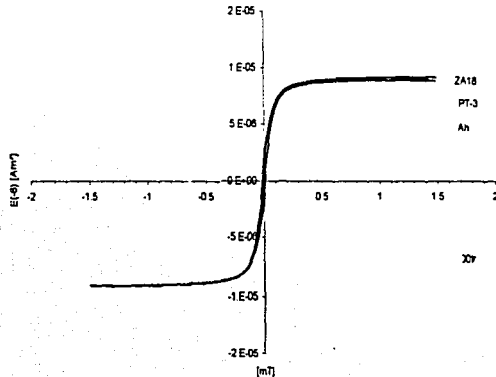
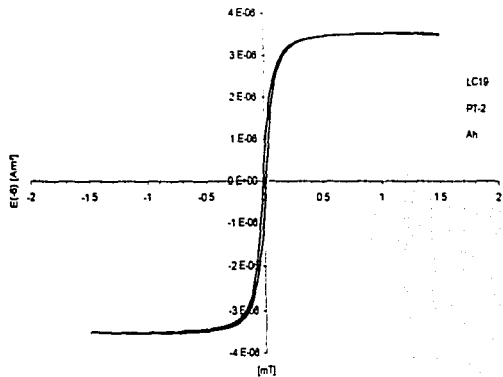
Esto es apoyado por los resultados obtenidos con otros parámetros como lo son la susceptibilidad y la SIRM (Figuras 18, 25, 32 a y d).

Las unidades estudiadas muestran un comportamiento bastante inestable (magnéticamente), mismo que se ve reflejado en los ciclos de histéresis que son demasiado constreñidos, así como en los factores S_x y F_x (Figuras 20, 26 y 34). Esto no es tan evidente en la parte superficial, siendo las unidades PT3 y PT6 en donde se aprecia una mayor estabilidad relativa reflejada en la amplitud que se observa en los "eventos" de estas unidades. Es en las partículas más finas donde se observa que existe la mayor inestabilidad (Jiles, 1991).

Aunque el dominio magnético que prevalece en los diagramas de Day (Figuras 19, 29 y 33a) en estos paleosuelos es de tipo PSD, debido a que se trata de una mezcla bastante heterogénea, llega a presentar tendencias hacia los SD y MD, siendo más influenciados en su mayoría por los límites SP/PSD y PSD/MD, mismos que se reflejan en otros factores y parámetros como X_{HPO} , $X_{SARM/SIRM}$ entre otros (Figuras 18, 25, 32 a y c; 21, 27, 35 b), donde se corrobora que las partículas más finas son poco estables.

En base a los campos medios destructivos, F_{100} y $IRM_{100}/SIRM$, (Figuras 19, 29 y 33b; 20, 26 y 34 e; 21, 27 y 35 e) las unidades presentan en su mayoría un relativo aumento lineal en su coercitividad con la profundidad, lo que indica que en la parte superficial el presenta menor grado de intemperismo. La inestabilidad mostrada en los paleosuelos posiblemente debe a la repetición de depósitos de material volcánico dentro de la secuencia.

Al igual que en el caso de la estabilidad magnética, son las unidades PT3 y PT6 donde se tiene un mejor registro de las condiciones que prevalecieron al momento del depósito del material. En los comportamientos de la SARM/SIRM, X y F_x , se encontró que para el caso de PT3 en ambas localidades es hacia el final de la unidad donde se tienen los indicios más claros, ya que los ciclos son más abiertos y por ende reflejan mejor las condiciones de estabilidad en el paisaje (Figuras 18, 25 y 32 a; 20, 26 y 34; 21, 27, y 35b).

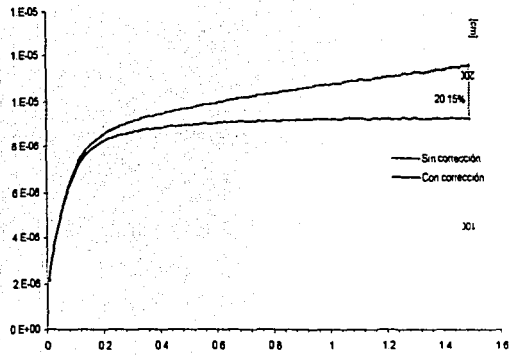
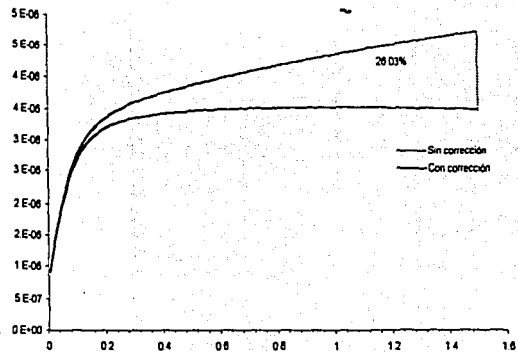


a)

b)

LC-19

ZA-18
PT3-Ah2



d)

Figura 41, a) y b) Ciclos de histéresis, c) y d) Corrección paramagnética

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BFA

c)

Para PT6, la susceptibilidad muestra tres eventos asociados con los diferentes horizontes, siendo el BC el más homogéneo.

Apoyados en los ciclos de histéresis (Figuras 41 a y b), estos paleosuelos muestran una fuerte concentración magnética y poca estabilidad.

VI.4 Correlación de Susceptibilidad Magnética con Propiedades Físico-Químicas

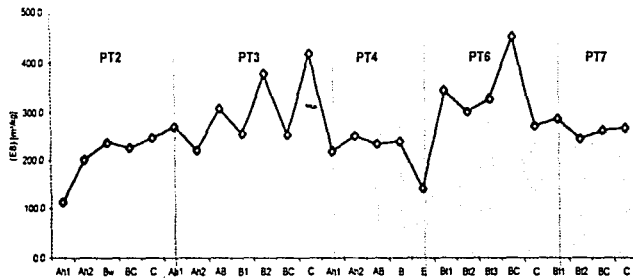
Al analizar la influencia que presentan algunas de las propiedades físico-químicas de los paleosuelos con respecto a la susceptibilidad magnética (X), (Figura 42a), se observa que ésta aumenta en relación con el contenido de arcilla, sobre todo en los horizontes A, Bw y Bt. No así en los horizontes C, donde los máximos de susceptibilidad no corresponden a los máximos de arcilla, pues son resultado de minerales magnéticos de grano grueso. Esta correlación entre arcilla y susceptibilidad es más evidente en el paleosuelo PT6 (Figura 42b).

La relación entre la X y el contenido de carbono orgánico, no se observa una clara correlación, aunque puede señalarse que son inversamente proporcionales en su comportamiento, sobre todo para las unidades PT2, PT3 y PT4.

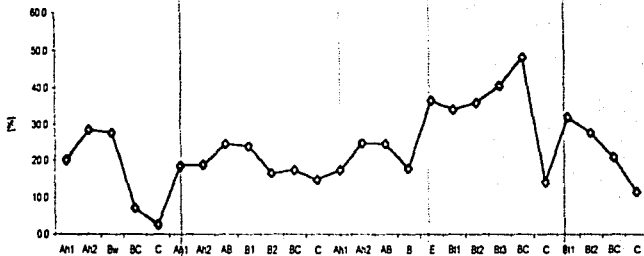
El contenido de Fed (hierro extraído con ditionito), útil para observar el hierro liberado por el intemperismo, tiene una relación inversa a X en PT2, PT3 y PT4, aunque es directa en PT6. En el caso de Feo (hierro extraído con oxalato), empleado para ver el hierro amorfo, presenta un comportamiento similar a Fed en PT2 y PT3, pero diferente en PT6 (Figura 42c).

Estas observaciones son un indicador del hierro liberado durante el intemperismo, que forma minerales como hematita y goetita, producen una señal magnética de menor intensidad, que la originada por los minerales litogénicos presentes en los horizontes C. Sin embargo, en el caso de PT6, el suelo de mayor desarrollo, es notoria la influencia de los procesos pedogenéticos en la formación de partículas magnéticas.

a) Susceptibilidad magnética en bajas frecuencias



b) Contenido de arcilla



c) Contenido de hierro extraído con ditionito (Fed), oxalato (FeO), y carbono orgánico (O).

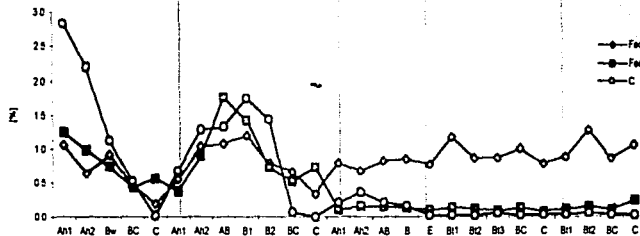


Figura 42. Gráficas comparativas entre X y propiedades físico-químicas de los paleosuelos PT2, PT3, PT4, PT6 y PT7

85A

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

VI.5 Correlación con otros Trabajos

Para llevar a cabo la correlación de los resultados obtenidos con otros trabajos (Figura 43), se tomó como base los resultados de susceptibilidad magnética por ser los más fáciles, rápidos y no destructivos. Debido a la facilidad de manejo, son los primeros en llevarse a cabo cuando se requiere emplear estas técnicas para la interpretación y caracterización de diversas condiciones ambientales y de depósito. Por otro lado, la mayor parte de los trabajos sobre propiedades magnéticas en suelos y otros depósitos, en general, sólo hacen referencia a esta propiedad.

A diferencia de otros estudios, las unidades que se analizaron no presentaron el característico realce magnético ("enhancement") reportado en otros trabajos dentro de las mediciones de susceptibilidad magnética. Es decir, que no presentan el incremento hacia la parte superficial, encontrados en suelos sujetos a procesos de quelatación ocasionados por diversas etapas de oxidación-reducción, ocurridas durante la pedogénesis, en ciclos de humedad y sequía (Le Borgne, 1955 y 1960; Maher 1986). Por el contrario, estas unidades (Nevado de Toluca), presentan un incremento en la susceptibilidad directamente proporcional con la profundidad, en donde se observa claramente la relativa repetición de los diversos eventos que sufrieron cada uno de los paleosuelos, mostrando una inestabilidad acentuada de las condiciones que imperaron al momento del depósito. Dicha inestabilidad, presente en ambas localidades, se ve reflejada en los máximos, que tienden a coincidir con los cambios de horizonte. Es para Zacango, en términos generales, donde se encuentran los valores más altos.

Por otro lado, son notablemente diferentes las características magnéticas reportadas en ambientes lacustres (Ortega, 1992; Caballero 1997; Ortega y Urrutia 1997; Ortega et al., 2000; Ortega et al., 2001; Vázquez, 2002), donde los periodos con pobre desarrollo vegetal, inestabilidad del suelo y solifluxión se asocian a valores altos de susceptibilidad, no así los bajos, que abarcan periodos con un amplio desarrollo de bosques y maduración del suelo. En los paleosuelos del Nevado, son los horizontes Ah (relacionados con el contenido de humus) los que presentan tendencias crecientes.

En los estudios de loess-paleosuelos, relativamente más fáciles de estudiar porque sus condiciones de depósito son más homogéneas, las tendencias crecientes son asociadas a las partes con mayor intemperismo, mientras que las decrecientes son relacionadas a posibles procesos hidromórficos en el material cuyo comportamiento magnético es de tipo ferrimagnético (Terhorst et al., 2001)

Trabajos en sedimentos marinos (región costera del Coatzacoalcos, Comunicación personal con M.C. Glicinia Ortiz, 2002) en general presentan un marcado dominio decreciente en su comportamiento, que refleja las posibles características propias del realce magnético reportado por otros autores. Ocasionado probablemente, entre otros factores, a la contaminación y dinámica misma de la región.

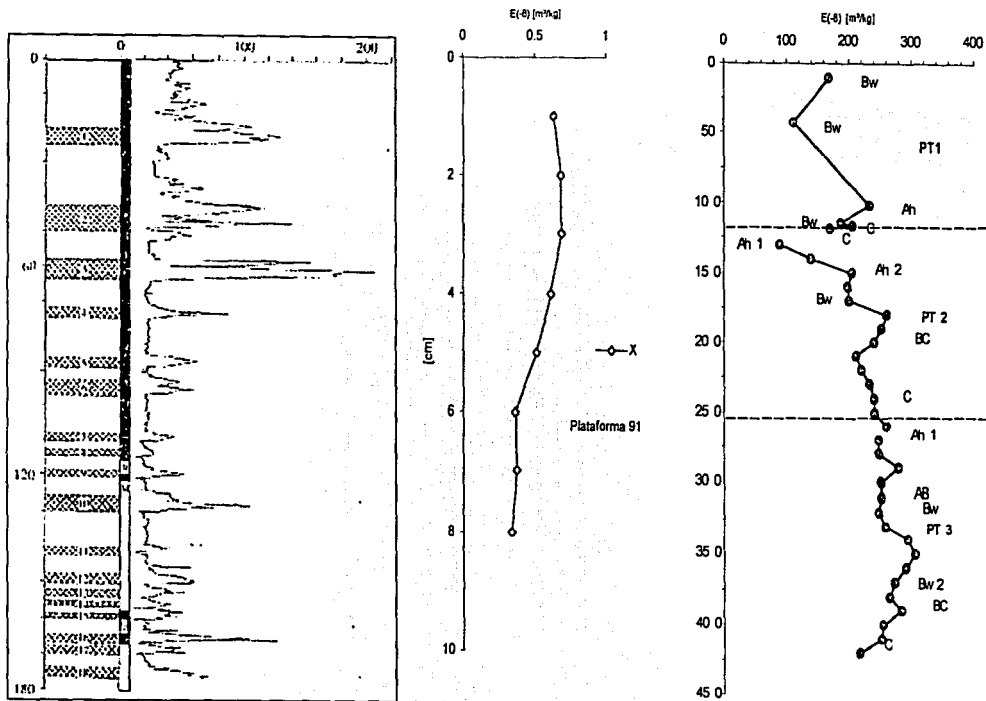


Figura 43, Diversos registros de Susceptibilidad magnética: a) Secuencia Loess-paleosuelos (China; Dodonov et al., 2002), b) Secuencia de sedimentos marinos (Veracruz), c) Secuencia de paleosuelos volcánicos (Toluca).

86A

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

VII Conclusiones

Las principales conclusiones de este trabajo, sobre las siete unidades pedoestratigráficas (PT1-PT7) de edad Cuaternaria del Volcán Nevado de Toluca son las siguientes:

- 1.- Se establecieron las propiedades magnéticas de los paleosuelos de las localidades estudiadas, tales como: X, NRM, HIRM, ARM, IRM, entre otras; así como las relaciones entre éstas. Esto permite llevar a cabo una caracterización más detallada de las unidades, con lo que se enfatiza la ventaja de la investigación sobre otros trabajos publicados a nivel internacional, en donde las interpretaciones se basan principalmente en el análisis de X.
- 2.- los valores de susceptibilidad tanto en Zacango como en Arroyo la Ciervita reflejan que la naturaleza del material parental corresponde a mezclas de rocas ígneas ácidas.
- 3.- los paleosuelos se caracterizan por presentar una sola fase magnética, indicando que la magnetización está en función del tamaño de partícula y no del número de fases mineralógicas.
- 4.- el comportamiento magnético (concentración) dominante es de tipo ferro-ferrimagnético, presentando una fuerte inestabilidad magnética en las partículas finas.
- 5.- El dominio magnético que prevalece es de tipo pseudosencillo (PSD). Esto es debido a que se trata de mezclas heterogéneas; además, presentan ligeras tendencias hacia los dominios sencillos (SD) y multidominios (MD), encontrándose principalmente en los límites superparamagnético (SP) / PSD y PSD / MD.
- 6.- La composición magnética está dominada por titanomagnetitas con un fuerte enriquecimiento de magnetita, posiblemente hematita y goetita; presenta una diferenciación de acuerdo al tipo de horizonte pedogenético.
- 7.- Presenta un comportamiento magnético diferente para cada uno de los horizontes de los paleosuelos, donde:
 - Los horizontes Ah se caracterizan por presentar los valores más bajos de X, (con excepción de los horizontes E), su comportamiento magnético es ocasionado por partículas de grano fino (SP) y minerales ferrimagnéticos de grano fino (magnetita). Por eso se infiere que este mineral es producto de procesos pedogenéticos que disminuyen el tamaño de grano y concentran las partículas.

Conclusiones

- Los horizontes B presentan valores intermedios de X, (más altos que en Ah y más bajos que en C). Su comportamiento magnético es debido a partículas de mayor tamaño que Ah, pero en menor concentración. Los minerales magnéticos dominantes son de tipo antiferromagnético de alta coercitividad, (hematita y goetita), que son producto del intemperismo de los minerales primarios.
- Los horizontes C presentan los valores más altos de X. Su comportamiento magnético es originado por partículas de grano grueso, con una menor concentración. Los minerales magnéticos dominantes son del tipo de titanomagnetitas, cuyo origen es litogénico. A pesar de su baja concentración, producen una señal magnética intensa.
- Los horizontes E presentan valores muy bajos de X, (similares a los Ah), su comportamiento magnético es influenciado por minerales diamagnéticos (plagioclasas), de tamaño fino, en bajas concentraciones.
- Los horizontes Bt presentan valores de X altos, (mayores que en Ah y Bw). Su comportamiento magnético es ocasionado por minerales de grano fino, con una fuerte interacción de partículas SD, en el límite SD/PSD. Además, poseen un alto contenido de titanomagnetitas y menor concentración de magnetita y hematita.

8.- Es notable que la intensa señal magnética de los horizontes C es causada por minerales litogénicos, mientras que la del resto de los horizontes es originada a la pedogénesis, principalmente por la acción del intemperismo.

9.- con respecto a la correlación entre las propiedades magnéticas y pedogenéticas puede resaltarse que:

- No presentan una buena correlación entre el contenido de carbono orgánico y la X, aunque se piensa que la actividad biogénica para la concentración de partículas magnéticas es importante.
- Existe una buena correlación entre el tamaño de partícula de los paleosuelos y la X, sobre todo en los paleosuelos PT6 y PT7, los cuales presentan los contenidos más altos de arcilla.
- Fue notable la correlación entre el comportamiento magnético de los horizontes E y sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas. Destaca el hecho de que fue posible determinar su presencia, ya que en ocasiones, suelen ser confundidos con ceniza volcánica.

10.- Las propiedades magnéticas poseen un patrón de comportamiento característico en cada unidad pedoestratigráfica estudiada. De esta forma, tanto PT1 como PT1a en ambas localidades presentan valores y tendencias similares entre sí, pero contrastantes con respecto al resto de las unidades. Este comportamiento coincide con sus propiedades pedogenéticas, ya que se trata de un Cambisol.

Las unidades PT2, PT3 (ZA y LC) y PT4 (ZA), clasificados como Andosoles, poseen un comportamiento similar en sus propiedades magnéticas. PT6, el paleosuelo más desarrollado de todos (Luvisol), tiene un patrón diferente. Finalmente PT7, a pesar de que genéticamente es similar a PT6, muestra un comportamiento semejante a PT4: y lo ubica en un estado intermedio (transicional) entre los Andosoles y los Luvisoles.

11.- Los patrones de comportamiento en X de los paleosuelos volcánicos es bastante diferente (no se observa el enheacement) al observado en las secuencias de loess-paleosuelos de Asia y Europa. Esto se debe a que en estas últimas, los minerales magnéticos presentes en el material parental son escasos, de tal forma que los procesos pedogenéticos concentran y neoforman minerales que contribuyen con una señal magnética más intensa en los horizontes pedogenéticos (sobre todo en Ah). En el caso del material volcánico, los minerales magnéticos litogénicos producen una señal magnética tan fuerte, que la concentración y neofonnación de minerales no son capaces de compensar.

12.- Los análisis de las propiedades magnéticas, pese a las grandes ventajas que presentan con respecto a otras técnicas, por sí mismas no son aplicables para llevar a cabo una completa interpretación paleoambiental. De este modo, el alcance que puede presentar como herramienta de interpretación, está en función de las condiciones que ostenta la zona de estudio, es decir, de los diversos factores físicos, químicos, biológicos y geológicos que influyen en los constituyentes de las rocas y sedimentos.

En el caso de los paleosuelos del Nevado de Toluca, cada nuevo depósito de ceniza provocó una "recarga" de magnetización que se ve reflejada en la señal magnética de las unidades estudiadas, lo que dificulta la determinación de las propiedades magnéticas, y por tanto de las condiciones ambientales al momento del depósito.

Es por eso que, el análisis de otros parámetros magnéticos (y no sólo la X), han determinado la variabilidad espacial de los depósitos.

Por esta razón, resulta necesario hacer un mayor número de estudios, apoyándose en otras herramientas y técnicas que permitan reconocer la señal paleoambiental. Esto, para tener una mejor caracterización e interpretación no solo de los paleosuelos, sino también de otro tipo de ambientes que permitan una mejor reconstrucción paleoambiental del país.

Bibliografía

Aceves Q.J.F., 1996, "Geología y Geomorfología del volcán Nevado de Toluca", Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, pp 116.

Arce J.L., Macías J.L., Velásquez S.L., 2002, "The 10.5KA Plinian Eruption of Nevado de Toluca Volcano, México: Stratigraphy and Hazard Implications", Geological Society of American Bulletin (en prensa)

Arredondo Guerrero P., 2001, "Propiedades Magnéticas de los Basaltos de la Parte Centro - Norte del Campo Volcánico de Camargo, Chihuahua", Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, pp 109.

Atkinson D. Christopher, 1986, "Tectonic Control on Alluvial Sedimentation as Savaeled by Ancient Catena in Capella Formation (Eocene) of Northern Spain", In Wright, P.V. (1 Ed.) Paleosols: Their Recognition and Interpretation. Blackwell, London, pp 3 15.

Bloomfield K. y Valastro S., 1977, "Late Quaternary Tephrochronology of Nevado de Toluca, Central Mexico, Overseas Geology and Mineral Resources, Vol. 46, pp 15.

Bogalo M.F., 1999, " Propiedades Magnéticas de Suelos de los Pie-montes del Plio-Pleistoceno y de las Terrazas Fluviales Cuaternarias del Centro de la Península Ibérica, Implicaciones Paleoambientales", Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, España, pp 378.

a) Bronger A, Catt J.A., 1989, "Paleopedology, Nature and Application of Paleosols", Catena- A Cooperating Journal of the International Society of Soil Science, Cremlingen-desdet, pp 232.

b) Bronger A., Catt J.A., 1989, "Paleosols: Problems of Definition, Recognition and Interpretation, Catena, Supplement 16

Buckman H.O., Brady N.C., 1977, "Naturaleza y Propiedades de los Suelos", Montaner y Simon, 2a Edición, Barcelona, pp 590.

Buol S.W., Hole F.D., Mc Craken. J., 2000, "Génesis y Clasificación de Suelos" Trillas, 3a Edición, México, pp 417.

Buttler F. R., 1992, "Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes", Paper Blackwell Science, pp 246.

- Caballero Miranda M., 1997, "The last Glacial Maximum in the Basin of Mexico: The Diatom Record Between 34,000 and 15,000 Years BP from Lake Chalco", *Quaternary International*, pp 125-136.
- Campbell I.B., 1986. Recognition of Paleosols in Quaternary Periglacial and Volcanic Environments in New Zealand. In Wright, P.V. (1 Ed.) *Paleosols: Their Recognition and Interpretation*. Blackwell, London, pp. 208-240.
- Cantos J., 1974, "Tratado de Geofísica Aplicada", Escuela Superior de Ingeniería en Minas, 1a Edición, España, pp 520.
- Cisowski S., 1981, "Interacting vs. Non-Interacting Single Domain Behavior in Natural and Synthetic Samples", *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, No. 26, pp 56-62
- Clark A.M., 1993. "Hey's Mineral Index: Mineral Species, Varieties and Synonyms/A.M. Clark", Chapman & Hall, 1a Edición, London, pp 848.
- Dalan R.A., Banerjee S.K., 1998, "Solving Archeological Problems Using Techniques of Soil Magnetism", *Georcheology: An International Journal*, Vol.13, Número1, pp 3-36.
- Dearing J.A., 1999, "Environmental Magnetic Susceptibility", Chi Publishing, 2a Edición, England, pp 54.
- Del Valle Toledo E., 1985, "Apuntes de Introducción a los Métodos Geofísicos de Exploración", F.I-UNAM, 1a Edición, México, pp 375 .
- Del Valle Toledo E., 1987, "Apuntes de Introducción a la Geofísica", F.I-UNAM, 1a Edición, México, pp 181.
- Demant A, 1978, "Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus Problemas de Interpretación", *Revista del Instituto de Geología, UNAM*, Vol. 2, pp 172-187.
- Dobrin M.B., Savit C.H., 1988. "Introduction Geophysical Prospecting", Mc Graw Hill, 4a Edición, New York, pp 867.
- Dodonov A.E., Gorshkov A.I., Verjovzeva N.V., Sivzov A.V., Chshou L.P., 2002, "Nuevos Datos de Composición de Minerales Magnéticos en Suelos Sepultados del sur de Tajikistan", *Litología y Recursos Naturales*, No. 2, pp 215-222.
- Dunlop D., Özdemir Ö., 1997. "Rock Magnetism Fundamentals and Frontiers", Cambridge University Press, 1a Edición, New York, pp 573.
- Ellis S., Mellor A., 1995. "Soils and Environment", Routledge, New York, pp 280.

Bibliografía

Fanning D. S., Fanning M.C, 1988, "Soil Morphology, Genesis, and Classification", John Wiley & Son, 1a Edición, New York, pp395.

Fassbinder, J.W.E., H. Stanjek and H. Vali, 1990, "Occurrence of magnetic bacteria in soil", *Nature*, No.343, pp 161-163.

Fine P., Singer M. J.,1989, "Pedogenic Factors Afectting Magnetic Susceptibility of Northern California Soils", Soil Scientific Society, American Journal, No. 53, pp 1119-1127.

Fisher W.R., 1988, "Microbiological Reaction of Iron in Soils". En Bogalo M.F., 1999, "Propiedades Magnéticas de Suelos de los Pie-montes del Plio-Pleistoceno y de las Terrazas Fluviales Cuaternarias del Centro de la Península Ibérica, Implicaciones Paleo ambientales", Tesis Doctoral, España, pp 378.

Ford I.N.,1984, "Dinámica Mineral en el Suelo", Universidad Autónoma de Chapingo, 1a Edición, México, pp 577.

García E., 1988, "Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen", Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 219.

[http:// www.geomagnetismo.com](http://www.geomagnetismo.com)

Gerrard, J.H., 1988, "Rocks and Landforms: London", Unwin Hyman, pp. 319 .

Heller F., Liu T.S., 1984, " Magnetism of Chinese Loess Deposits", Geophysical Journal Royal Astronomical Society, Número 77, England, pp 125-141.

[http:// www.IFEnt.com](http://www.IFEnt.com)

Inoue, K. And Sase, T., 1996."Paleoenvironmental History of Post-toya Ash Tephric Deposits and Paleosols at the Iwate Volcano, Japan, Using Aeolian Dust Content and Phytolite Composition". In: D. J. Lowe (ed.) "Tephra, Loess, Paleosols - an integration." Quaternary International 34-36, 127-137.

[http:// www.INEGI.com.gob.mx](http://www.INEGI.com.gob.mx)

Jasso C., Sedov S., Solleiro E., Gama J., 2002, " El Desarrollo de los Paleosuelos como Índice de la Estabilidad del Paisaje. Un Ejemplo del Centro de México", Boletín Investigaciones geográficas, Número 47, Instituto de Geografía, México, UNAM, pp 20-35.

Jhonc C. T. A., 1988, "Teoría Electromagnética", Limusa, 2a Edición, México, pp 741.

Jiles D., 1991, "Introduction Magnetism and Magnetic Materials", Chapman & Hall, 1a Edición, London, pp 440.

Jordanova D., Petrovsky E., Jordanova N., Evlogiev J. Butchvarova V., 1997, "Rock Magnetic Properties of Recent Soils from Nortastern Bulgaria", Geophysical Journal International, No.128, pp 474-488.

Kukla G., Heller F., Liu X.M., Xu T.C., Liu T.S., An Z.S., 1988, "Pleistocene Climates in China Dated by Magnetic Susceptibility, Geology, No. 16, pp 811-814.

Kukla G., An Z.S., Melice J.L., Gavin J., Xiao J.L., 1990, "Magnetic Susceptibility Record of Chinese Loess", Transactions Royal Society of Edinburg, Earth Sciences, No. 81, pp 263-288.

Langel R.A., Hinze W.J., 1998, "The Magnetic Field of the Earth's Lithosphere. The Satellite Perspective", Cambridge University Press, pp 429.

Le Borgné E., 1955, "Susceptibilité Magnétique Anormal de Sol Superficial" Ann. Geophys., Vol. 11, pp 399-419.

Le Borgne E., 1960, "Etude Experimentale du Trainage Magnetiques Dans le Cas d'un Ensemble de Grains Magnetiques Tres Anormale du Sol Superficiel", Annales de Geophysique, No. 16, pp 445-494.

Liu X. M., Shaw J., Liu T.S., Heller F., 1993, "Magnetic Susceptibility of the Chinese Loess-Paleosol Sequence: Environmental Change and Pedogenesis", J. Geol. Soc. London, No. 150, pp 583-588.

Logachev A.A., Zajarov V.P., 1978, "Exploración Magnética", Reverte, 1a Edición, Barcelona, pp 346.

Longworth G., Becker L.W., Thompson R., Oldfield F., Dearing J.A., Rummery T.A., 1979, "Mossbeaur Effect and Magnetic Studies of Secondary Iron Oxides in Soils", Journal Soil Scientific, No. 30, pp 93-110.

Lovely D.R., Stolz J.F., Nord., G.L. Phillips E.J.P., 1987, "Anaerobic Production of Magnetite by Dissimilatory Iron-Reducing Microorganism", Nature 330, 252-254.

Lu Shenggao, 1991, "Advance in Soil Magnetism and its Application", Progress in Soil Scientific, Vol. 19, No. 5, pp 1-8.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Bibliografía

- Lu Shenggao, 1999, "Mineral Magnetism o Quaternary Red Earth in Eastern China and Paleoenvironmental Significance", Chinese Science Bulletin, Vol 44, Suplemento, pp 87-90.
- Lu Shenggao, 2000, "Lithological Factors Affecting Magnetic Susceptibility of Subtropical Soils, Zhejiang Province, China", Catena, pp 359-373.
- Lugo Hub, Aguayo J., Aguilera N., de Cserna Z., García E., Guzmán A., Hernández G., Lazcano C., Málpica V., Martín del Pozzo A.L., Ortega F., Ortiz M., Palacio P., Vázquez L., 1989, "Diccionario Geomorfológico", Instituto de Geografía (UNAM), 1a edición. México, pp 337.
- Maass J.M., García F., 1990, "La Conservación de Suelos en Zonas Tropicales: El Caso de México", Ciencia y Desarrollo, Vol. 15, No.90, pp 21-36.
- Macías J.L., García P.A., Arce J.L., Siebe C., Espindola J.M., 1997, "Late Pleistocene Cataclysm Eruptions at Nevado Toluca and Jocotitlán Volcanoes, Central México", Byu Geology Studies, Vol.42, No. I, pp 493-528.
- Maher B. A., 1986, "Characterisation of Soils by Mineral Magnetic Measurements", Physics of the Earth and Planetary Interiors, Elsevier Published, Netherlads, Número 42, pp 76-92.
- Maher B. A. y Taylor R., 1988, "Formation of Ultrafine-Grained Magnetite in Soils", Nature, No 336, pp 368-370.
- Maher B. A., Thompson R., 1991, "Mineral Magnetic Record of the Chinese Loess and Paleosols", Geology, No. 19, pp 3-6.
- Maher B. A., Thompson R., 1992, "Paleoclimatic Significance of the Mineral Magnetic Record of Chinese Loess and Paleosols", Quaternary Research, No. 37, pp 155-170.
- Maher B.A., 1997, "Magnetic Properties of Modern Soils and Quaternary Loessic Paleosols: Paleoclimatic Implications", Palaeogeography-Palaeoclimatology-Palaeoecology, Vol.137, No. 1-2, pp 25-54.
- Maher B. A., 1998, "Magnetic Properties of Modern Soils and Quaternary Loessic Paleosols: Paleoclimatic Implications", Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, No. 137, pp 25-54.
- Maher B. A., Thompson R., 1999, "Quaternary Climates, Environments and Magnetism", Cambridge University Press, 1a Edición, Cambridge, pp 390.

- Milson J., 1996. "Fields Geophysics", Wiley, 1a Edición, England, pp 182.
- Miller R.W., Donahue R.L., Miller J.U., 1995. "Soils in Our Environment", Prentice Hall, 7a Edición, New Jersey, pp 649.
- Moskowitz B.M., Frankel R.B., Bazylinski D.A., 1993, "Rock Magnetic Criteria for the Detection of Biogenic Magnetite", Earth Planet Scientific Letters, No. 120, pp 283-300.
- Mottana A., Crespi R., Liborio G., 1999, "Guide to Rocks and Minerals", Simon & Schuster, Barcelona, pp 605.
- Oches E. y Banerjee S., 1996, "Rock Magnetic Proxies of Climate Change from Loess-Paleosol Sediments in Czech Republic", Studia Geophysica et Geodaetica, No. 41, pp 287-300.
- Oldfield F., 1991, "Environmental Magnetism-A personal Perspective", Quaternary Sci. Rev., No 10, pp 73-85.
- Olivos R. Ma. Fabiola, 1992, "Magnetismo de Rocas y Minerografía en el Yacimiento de Hierro 'Peña Colorada', Estado de Colima", Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería UNAM, pp 61.
- Opdyke N.D., Channell J.E.T., 1996, "Magnetic Stratigraphy", Academic, International Geophysics Series, Vol. 64, pp 346.
- O'really W., 1984. "Rock and Mineral Magnetism", Blackier, 1a Edición, New York, pp 220.
- Ortega B., 1992, Tesis doctoral "Paleomagnetismo, Magnetoestratigrafía y Paleoecología del Cuaternario Tardío en el Lago de Chalco, Cuenca de México", UNAM, pp 161.
- Ortega Guerrero B., Urrutia Fucugauchi J., 1997, "A Paleomagnetic Secular Variation Record from Late Pleistocene-Holocene Lacustrine Sediments from Chalco Lake, Basin of Mexico", Quaternary International, Vol. 43, pp 87-96.
- Ortega B., Thompson R., Urrutia J., 2000, "Magnetic Properties of Lake Sediments from Lake Chalco, Central Mexico, and their Paleoenvironmental Implications", Journal of Quaternary Science, No.15, pp127-140.
- Ortega B., Soler A. M., Solleiro E., Sedov S., 2001, "Magnetic Properties of Paleosols from Tlaxcala, México", Abstract, VI International Symposium and Field Workshop on Paleopedology, UNAM, pp33.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Bibliografía

Parasnis D.S., 1996, "Principles of Applied Geophysics", Chapman & Hall. 1a Edición, London pp 214.

[http:// www.Plata.uda.com](http://www.Plata.uda.com)

Primavesi A., 1984, "Manejo Ecológico de Suelos", Ateneo, 5a Edición, Buenos Aires, pp 499.

Retallack G.J., 1990, "Soil of the Past and Introduction to Paleopedology", Unwin Hyman, 1a Edición, London, pp 520.

Retallack, G.J., 1992, "How to find a Precambrian paleosol. In Eocene-Oligocene climatic and Biotic Evolution". Princeton University Press, Princeton New Jersey, p. 382-398.

Robinson E.S., Coruh C., 1988. "Basic Exploration Geophysics", Wiley, 1a Edición, New York, pp 562.

Robinson E.S., 1990, "Geología básica", Limusa. 1a Ed, pp 669.

Ruhe R.V., 1956, "Geomorphic Surfaces and Nature of Soils". Soil Scientific, No. 82, pp 441-455.

Ruhe R.V., "Quaternary Pedology"; En: Wright H.E. y Frey D.G. (Eds), The Quaternary of United States, 1965, pp755-764, Princeton N.J., Princeton University Press

Rzedowsky J., 1978, "Vegetación de México: México, D.F.", Limusa, pp 432.

Sandoval B.A., 1987, "Actualización y Análisis Cartográfico sobre Usos de Suelo y Vegetación del Parque Nacional Nevado de Toluca , Estado de México", Bch. Thesis, UNAM, en Solleiro 2001.

Schwetmann U., 1971, "Transformations of Hematite to Goethite in Soils", Nature, No. 232,624-625 En Bogalo M.F., 1999, " Propiedades Magnéticas de Suelos de los Pie-montes del Plio-Pleistoceno y de las Terrazas Fluviales Cuaternarias del Centro de la Península Ibérica, Implicaciones Paleo ambientales", Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, España, pp 378.

Schwetmann U., 1988, "Ocurrence and Formation of Iron Oxides": En Bogalo M.F., 1999, " Propiedades Magnéticas de Suelos de los Pie-montes del Plio-Pleistoceno y de las Terrazas Fluviales Cuaternarias del Centro de la Península Ibérica, Implicaciones Paleo ambientales", Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, España, pp 378.

Sedov S., Solleiro E., Gama J., Vallejo E., González A., 2001, "Buried Paleosols of the Nevado de Toluca: An Alternative Record of Late Quaternary Environmental Change in Central Mexico", *Journal of Quaternary Science*, Número 16, pp 375-389.

Sedov S., Solleiro E., Morales P., Arias A., Vallejo E., Jasso C., 2002, "Material and Organic Components of Buried Paleosols of Nevado Toluca/central Mexico as Indicators of Paleoenvironments and Soils Evolutions", *Quaternary International* (Someto a revision)

Semmel A., 1989. "Paleopedology and geomorphology: Examples from the western part of Central Europe". In. Bronger, A. and Catt, J.A. (eds) "Paleopedology: Nature and application of paleosols". *Catena Supplement* 16 pp. 143-163.

Sheriff R.E., 1989. "Geophysical Methods", Prentice Hall, 1a Edición, New Jersey, pp 603.

Singer M.J., Fine P., Verosub K.L., Chadwicks O.A., 1990, "Time Dependence of Magnetic Susceptibility of Soil Chronosequences on the California Coast", *Quaternary Research*, Número 37, pp 323-332.

Soler A.M., Rivas O. J., Ortega G. B., Urrutia F.J., 2001, "Magnetic Properties of Buried Paleosols of the Nevado de Toluca", Abstract, VI International Symposium and Field Workshop on Paleopedology, UNAM, pp 43.

Solleiro E., Macías J.L., Sedov S., Gama J.E., 2002, "Quaternary Pedostratigraphy of the Nevado de Toluca Volcano", *Geofísica internacional* (en prensa)

Solleiro E., Sedov S., Gama J., 2001, "Secuencias Tefra-Paleosuelos del Nevado de Toluca", VI International Symposium, Field of workshop on Paleopedology, pp. 98.

Solleiro E., 1992, "Estudio sobre Alteración Desarrollo y Evolución de Suelos Derivados de Rocas Basálticas", Tesis de maestría, UNAM, pp 13.

Streme H.E., 1988, "Correction of Quaternary Stratigraphy from Western to Eastern Europe", *Catena*, Número 34, pp. 105 - 112.

Tarback E.J., Lutgens F.K., 2000, "Ciencias de la Tierra, una Introducción a la Geología Física", Prentice Hall, 6a Edición, España, pp. 560.

Tarling D. H., 1983, "Paleomagnetism: Principles and Applications in Geology, Geophysics and Archeology", Chapman and Hall, 1a Edición, U.S.A., pp 379.

Telford, Geldart, Sheriff, 1996, "Applied Geophysics", Cambridge, pp 774.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Bibliografía

- Terhorst B., Appel E. Werner A., 2001, "Paleopedology and Magnetic Susceptibility of Loess-Paleosol Sequence in Southwest Germany", *Quaternary International*, pp 231-240.
- Thompson R., Olfield F., 1986, "Environmental Magnetism", Allen & Unwin, 1a Edición, London, pp. 227.
- Tite M.S., Linington R.E., 1975, "Effect of Climate on the Magnetic Susceptibility of Soils", *Nature*, No. 256, pp 565-566.
- Urrutia Fucugauchi J., Del Castillo L., 1977, "Un Modelo del Eje Neovolcánico Mexicano", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, No. 38, pp 18-28.
- Urrutia Fucugauchi J., Ortega Ramírez J. and Cruz Gatica R., 1997, "Rock-Magnetic Study of Late Pleistocene-Holocene Sediments from the Babicora Lacustrine Basin, Chihuahua, Northern Mexico", *Geofísica Internacional*, Vol 36, No. 2, pp 77-86.
- Van Der Voo R., 1993, "Paleomagnetism of the Atlantic, Tethys and Iapetus Oceans", Cambridge University Press, 1a Edición, pp 411.
- Vázquez Castro Gabriel, 2002, "Aplicaciones de Parámetros de Magnetismo de Rocas para la Reconstrucción Paleoambiental y Paleoclimática en los Sedimentos del Lago de Santa Ma. del oro Nay, Resúmenes de la III reunión de Ciencias de la Tierra, GEOS, boletín Informativo, Vol. 22, pp136.
- Verosub K.L., Roberts A. P., 1995, "Environmental Magnetism: Past, Present, and Future", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 100, No. B2, pp 2175-2192.
- Woodward J.C., Macklin M.G., Lewin J., 1994, "Pedogenic Weathering and Relative-Age Dating of Quaternary Alluvial Sediments in the Pindus Mountains on Northwest Greece"; En: "Rock Weathering and Landform Evolution", Robinson D.A., Williams R.G.B., Ed. Wiley, N.Y., pp 259-283.
- Wright V.P., 1986, "Paleosols, their Recognition and Interpretation", Blackwell Scientific Publications, pp315.
- Yaalon D.H., 1971, "Soil-Forming Processes in Time and Space"; En: Bogalo M.F., 1999, "Propiedades Magnéticas de Suelos de los Pie-montes del Plio-Pleistoceno y de las Terrazas Fluviales Cuaternarias del Centro de la Península Ibérica, Implicaciones Paleo ambientales", Tesis doctoral, España, pp 378.

Bibliografía

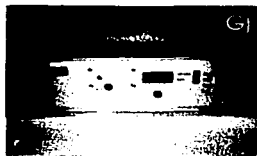
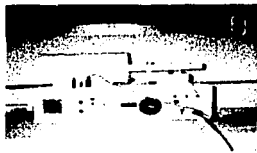
Yamazaki T., Ioka N., 1997, "Cautionary Note on Magnetic Grain-Size Estimation Using the Ratio of ARM to Magnetic Susceptibility", Geophysical Research letters, Vol.24, No.7, pp. 751-754.

Yu, J.Y., Oldfield F., Wu Y.S. et al., 1990, "Paleoenvironmental Implication of Magnetic Measurements on Sediment Core from Kunming Basin, Southwest China", J. Paleolimnology, No.3, pp 95-111

Yu J. y Lu S., 1991, "Soil Magnetism", Jingxi Scientific & Technology, Press, Nanchang, en Lu Shenggao 2000. "Lithological Factors Affecting Magnetic Susceptibility of Subtropical Soils, Zhejiang province, China", Catena, pp 359-373.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A continuación se presentan las fotografías de los equipos utilizados en el laboratorio (Paleomagnetismo y Magnetismo de Rocas, Instituto de Geofísica-UNAM), así como algunas de sus características.



- A) Balanza- X
- B) Susceptibilímetro bartinton- X_{if} , X_{hf} , $X_{if\%}$
- C) Magnetómetro de giro Molspin- NRM, ARM, IRM
- D) pARM-Unidad de magnetización anhisterética parcial-ARM, X_{arm}
- E) Desmagnetizador por campos alternos
- F) Magnetizador de impulsos- IRM, IRM $_{-x}$, HIRM
- G) Magnetizador de impulsos- IRM, IRM $_{-x}$, HIRM
- H) Horno y sensor- Mineralogía, Tc, Fases magnéticas
- I) Micromag modelo 2900- Parámetros de histéresis, Dominios y Fases magnéticas

ANEXO 2

Algunos resultados obtenidos de los análisis magnéticos de la zona de estudio, localidad de Arroyo la Ciervita (L.C).

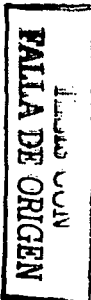
Muestra	Horizonte	Profundidad	PT	Xlf	XHf	NRM	SARM	SiRM	Xld%	S40	S70	S100	F100	F200	F300	F1000	IRM100/SIRM
				SI E(-8)	SI E(-8)		mA/m	mAm/Kg	mAm/Kg	()	()	()	()	()	()	()	()
		cm		m ² /kg	m ² /kg	mA/m	mAm/Kg	mAm/Kg									
LC021	Bw	0	1	178 0548	173 1608	0.79	0.378971975	22.38624617	2.74859	0.334776	0.73217	0.8758	0.5226	0.8363	0.848	1.0016	0.314312726
LC020	Bw	10	1	180 2877	177 7213	10.59	0.455844734	30.74647678	1.42349	0.35911	0.78234	0.9505	0.7127	0.913	0.964	0.983	0.79497969
LC019	Bw	20	1	205 4305	199 3844	3.73	0.357824498	22.13504383	2.94314	0.391958	0.794681	0.9605	0.6329	0.8823	0.966	0.9973	0.732446497
LC018	Bw	30	1	215 8482	212 6358	25.27	0.309396971	19.99184947	1.48831	0.341877	0.596038	0.963	0.6541	0.8013	0.976	0.8467	0.576769606
LC017	BCw	40	1	225 9086	222 1483	4.21	0.305046842	20.82736589	1.66453	0.437189	0.805377	0.9763	0.7145	0.8951	0.92	0.992	0.843065254
LC016	BCw	50	1	277 4873	271 7488	23.69	0.211004616	32.76513045	2.06801	0.253114	0.575617	0.8509	0.7602	0.9182	0.98	0.9292	0.798154758
LC015	C	60	2	259 4509	255 2619	4.39	0.256352029	28.03177144	2	0.506767	0.942609	1.0178	0.7053	0.911	0.868	0.9878	0.709608472
LC014	Ah1	70	2	114 9041	115 7883	2.16	0.226971937	15.20004135	1.2048	0.412416	0.623142	0.6315	0.6983	0.8789	0.927	0.993	0.824098011
LC013	Ah2	80	2	122 8138	118 1525	1	0.351991569	11.10172953	3.79538	0.710222	1.031985	1.1008	0.7347	0.8383	0.752	0.9994	0.721457229
LC012	Ah2	90	2	113 3122	104 0074	7.63	0.389099591	11.21191948	8.15603	0.601174	0.86354	0.9127	0.7497	0.9082	0.882	0.9166	0.720968104
LC011	Bw	100	2	123 209	124 9219	2.03	0.317614824	12.36752363	5.51181	0.747776	1.01695	1.182	0.6453	0.8039	0.744	0.9306	0.634636346
LC010	Bw	110	2	157 7139	156 0661	21.14	0.293560567	13.37428558	1.04478	0.658218	0.912245	1.0336	0.7322	0.9542	0.914	1.0602	0.820142831
LC09	Ah	120	2	178 1362	172 1917	14.18	0.306381994	14.93514257	3.33704	0.538117	0.900978	1.4964	0.7392	0.9017	0.941	0.8918	0.738410096
LC08	Ah	130	2	123 5752	115 6919	14.31	0.392195164	14.33452733	6.37931	0.608511	0.88756	0.952	0.6861	0.932	0.962	0.9799	0.761417988
LC07	AB	140	2	135 2152	126 3324	23.18	0.42455377	16.54643822	6.56934	0.626346	0.972868	1.0064	0.7504	0.8591	0.999	1.0688	0.654467327
LC06	Ah	150	2	90 08573	90 57006	4.06	0.266700247	12.17339081	-0.5376	0.508949	0.933636	1.064	0.648	0.8826	1.018	0.9655	0.813762811
LC05	Bw	160	2	122 3477	117 2103	1.76	0.33237352	16.08319849	4.19847	0.571467	0.898366	0.8444	0.7421	0.9248	0.958	1.0667	0.7869816
LC04	Bw	170	2	115 9094	100 7049	3.65	0.381323381	16.58343463	13.1175	0.53218	0.846689	0.9307	0.6818	0.8737	0.944	0.9996	0.769213301
LC03	BC	180	2	162 2589	144 9533	10.65	0.41017631	24.08407999	10.6655	0.532379	0.906347	1.0164	0.6784	0.8993	0.945	0.9972	0.775287203
LC02	BC	190	2	161 0666	156 4962	14.53	0.430627246	25.26521339	2.83757	0.505926	0.888603	0.8053	0.7	0.9241	0.97	1.04	0.805553616
LC01	BC	200	2	146 6175	158 3302	6.69	0.429504653	25.08035434	-8.2614	0.547144	0.913189	1.0481	0.6667	0.8817	0.924	0.9674	0.788881774
LC037	Ah	210	3	97 68383	95 41612	45.16	0.192927498	14.26940419	0.419012	0.688893	1.0289	0.6838	0.892	0.932	0.942	0.9672	0.788660217
LC036	AC	220	3	135 4528	132 2756	66.06	0.303345977	20.39882791	2.34542	0.462038	0.887314	1.017	0.7097	0.9187	0.959	1.0059	0.79625148
LC035	AC	230	3	181 6956	174 5331	57.5	0.306941289	23.12445339	3.94203	0.449145	0.892429	1.0302	0.7031	0.908	0.945	0.9979	0.795052491
LC034	AB	240	3	86 02172	84 40058	45.87	0.263636216	9.148441274	1.88457	0.564443	0.914453	1.0049	0.6898	0.9768	0.925	0.9882	0.805853967
LC033	Ah	250	3	131 5119	127 023	45.78	0.272147138	18.66739912	3.41328	0.518916	0.897347	1.0076	0.7298	0.9323	0.96	1.0026	0.796415086
LC032	AB	260	3	142 6369	136 6533	35.78	0.333689741	17.11706399	2.79279	0.546256	0.91803	1.0165	0.727	0.9147	0.953	0.9936	0.804029927
LC031	AB	270	3	147 6042	143 1981	41.64	0.323332966	18.47752673	2.98507	0.527642	0.893115	1.0053	0.7298	0.9117	0.959	0.9948	0.802048059
LC030	AB	280	3	117 9807	108 282	38.33	0.307394915	13.6832902	8.2206	0.554794	0.891486	0.972	0.7214	0.9133	0.957	1.0033	0.809555567
LC029	Bw	290	3	132 5523	127 1849	50.05	0.300143287	18.12303283	4.0493	0.582604	0.943919	1.047	0.714	0.9234	0.96	0.9967	0.794624624
LC028	Bw	300	3	131 4742	122 3583	34.74	0.281272116	19.91704388	6.93359	0.532897	0.873758	0.9901	0.6887	0.9179	0.963	1.0032	0.773814465
LC027	Bw	310	3	150 3415	140 7441	52.18	0.307465665	22.58839231	7.71408	0.441974	0.854491	0.9829	0.6888	0.9121	0.951	0.995	0.78531317
LC026	Bw	320	3	142 2812	140 1641	44.18	0.297132724	19.67357796	15.2174	0.511792	0.927204	1.0387	0.6989	0.9078	0.948	0.9967	0.795403656
LC025	BC	330	3	231 98	220 3723	77.92	0.337704628	30.66766504	5.00373	0.484082	0.895755	1.0128	0.7001	0.9232	0.962	0.9971	0.780777001
LC024	BC	340	3	98 19044	94 30837	52.04	0.155688447	17.0140301	3.95361	0.353256	0.794444	0.9359	0.7093	0.9248	0.969	0.9924	0.786232643
LC023	BC	350	3	237 7894	216 4232	55.89	0.3186590178	31.59139685	8.98536	0.477919	0.865105	1.0006	0.7046	0.9206	0.962	0.9968	0.77924152
LC022	BC	360	3	225 5478	243 3312	57.77	0.325538061	31.42889959	7.8846	0.44082	0.871024	1.0315	0.7455	0.9296	0.967	0.999	0.782338362

**TESIS CON
PALLA DE ORIGEN**

ANEXO 2

Algunos resultados obtenidos de los análisis magnéticos de la zona de estudio, localidad de Arroyo de la Ciervita (LC).

Muestra	Horizonte	Profundidad	PT	HIRM	SARM / SIRM	SIRM Xif	Arm-40/SIRM	SARM/XLF	SIRM/Xarm	Xarm	Xarm/SIRM	SIRM/Xarm	Temp. Curie	C (%)	Fed (%)
		cm		mAm	()	kA/m	()	kA/m	E2 A/m	mT/K	m(A	A/m	*C		
										(E-6)	(A)	(E3)			
LC021	Bw	0	1	8333.5	0.016928786	12.5725732	0.011054862	0.212840097	23.503596	9.524605	0.4254668	2.3503596	570.5	0.243	1.885
LC020	Bw	10	1	3837.89	0.014956014	17.0541187	0.010600677	0.25061637	24.603837	11.55716	0.3758585	2.6603837	525	0.243	1.885
LC019	Bw	20	1	3367.11	0.01618552	10.7745544	0.011320791	0.174182742	24.613335	8.993111	0.4062838	2.4613335	535	0.243	1.885
LC018	Bw	30	1	4321.14	0.015476155	9.26159291	0.010554462	0.143340043	25.709703	7.775594	0.3869582	2.5709703	527	0.243	1.885
LC017	BCw	40	1	1765.71	0.014646434	9.21937618	0.008296505	0.135030986	27.166159	7.666568	0.368105	2.7166159	516.5	0.288	1.475
LC016	BCw	50	1	4051.89	0.006433914	11.8077941	0.003652124	0.076641176	61.784578	5.303124	0.1618527	6.1784578	519	0.288	1.475
LC015	C	60	2	4166.95	0.0092164	10.8047592	0.006230217	0.059576471	43.171656	6.493095	0.2316334	4.3171656	476.5	0.135	0.445
LC014	Ah1	70	2	1212.51	0.014932324	13.2879036	0.011327269	0.193419277	26.646044	5.704427	0.3752902	2.6646044	465	1.265	1.915
LC013	Ah2	80	2	1192.06	0.013706012	9.03948251	0.029761919	0.286605941	12.549272	8.646513	0.796859	1.2549272	444	1.9	2.035
LC012	Ah2	90	2	1216.54	0.034776346	9.69471773	0.025159065	0.344102128	11.441322	9.799497	0.6740249	1.1441322	458	1.9	2.035
LC011	Bw	100	2	1695.55	0.02568136	9.3545222	0.023219151	0.24023685	15.493236	7.662531	0.654443	1.5493236	407	0.52	1.78
LC010	Bw	110	2	798.35	0.021949626	8.48059552	0.016770298	0.185134925	18.127295	7.377562	0.5516543	1.8127295	462.5	0.52	1.78
LC09	Ah	120	2	1540.33	0.02049079	8.3841139	0.015443583	0.171824654	19.414747	7.69258	0.5150724	1.9414747	453.5	1.44	1.82
LC08	Ah	130	2	1254.03	0.027360174	11.59963455	0.02045592	0.317373793	14.542574	9.65694	0.6876362	1.4542574	477.5	1.44	1.82
LC07	AB	140	2	953.06	0.025664361	12.2371177	0.020183943	0.31405781	15.503497	10.67271	0.6450159	1.5503497	492	0.22	1.72
LC06	Ah	150	2	731.4	0.02190846	13.5131183	0.019171176	0.296051613	18.161357	6.702508	0.5506197	1.8161357	542.5	0.22	1.72
LC05	Bw	160	2	1146.35	0.020695986	13.1455511	0.016549412	0.272073282	19.224411	8.366624	0.520172	1.9224411	492	0.22	1.72
LC04	Bw	170	2	1514.24	0.022984234	14.3072382	0.018207349	0.326983986	17.303788	9.583702	0.5779081	1.7303788	495	0.045	1.66
LC03	BC	180	2	2859.55	0.017031014	14.8429943	0.012675194	0.252791249	23.362517	10.30866	0.4280361	2.3362517	498.5	0.33	0.92
LC02	BC	190	2	2435.55	0.017044275	15.6681871	0.012238471	0.267356587	23.34434	10.82784	0.4283694	2.334434	520	0.33	0.92
LC01	BC	200	2	2289.15	0.016782245	17.1059768	0.012468819	0.287076625	23.708628	10.57849	0.4217839	2.3708628	477.4	0.33	0.92
LC037	Ah	210	3	2315.59	0.013520351	14.563189	0.009343099	0.196897295	29.438752	4.848797	0.3399307	2.9438752	522.5	1.445	1.26
LC036	AC	220	3	3372.02	0.014874401	15.056266	0.010634499	0.223949564	26.749807	7.623916	0.3738345	2.6749807	502.5	0.965	1.1
LC035	AC	230	3	3515.19	0.013230206	12.727289	0.009385097	0.168381217	30.074161	7.689143	0.3325114	3.0074161	506	0.995	1.1
LC034	Ah	240	3	1369.51	0.02881761	10.635336	0.022117885	0.306476325	13.870791	6.625901	0.7242655	1.3807091	488	2.97	1.71
LC033	Ah	250	3	2447.28	0.014578739	14.1944561	0.010881022	0.206937269	27.292303	6.835934	0.3664037	2.7292303	523	2.97	1.71
LC032	AB	260	3	2039.39	0.019506776	12.0004497	0.014654105	0.23403909	20.397392	8.391791	0.4902588	2.0397392	506	0.98	1.34
LC031	AB	270	3	2334.76	0.017498716	12.5182939	0.013246762	0.219054063	22.738089	8.126244	0.4397907	2.2738089	519.5	0.98	1.34
LC030	AB	280	3	1654.81	0.022457677	11.5979055	0.016599502	0.260462019	17.717209	7.723164	0.564423	1.7717209	511.5	0.98	1.34
LC029	Bw	290	3	2492.07	0.016561427	13.6723506	0.012485351	0.226433803	24.024944	7.543244	0.4162341	2.4024944	511	0.825	2.15
LC028	Bw	300	3	2741.19	0.013118017	15.1490125	0.009393352	0.198725	30.331365	6.566484	0.3399917	3.0331365	511.5	0.825	2.15
LC027	Bw	310	3	3560.77	0.013611578	15.0247179	0.009630481	0.20514012	29.231538	7.727405	0.3420963	2.9231538	521.5	0.825	2.15
LC026	Bw	320	3	3050.02	0.015103136	13.8272464	0.01081402	0.208834783	26.344685	7.46776	0.3795832	2.6344685	532.5	0.825	2.15
LC025	BC	330	3	6063.41	0.011011749	13.2195624	0.007879274	0.145574907	36.132985	6.487443	0.2767554	3.6132985	536	0.245	1.95
LC024	BC	340	3	5489.55	0.009160749	17.3275833	0.006508951	0.158842804	43.404084	3.919195	0.2303931	3.4404084	537	0.245	1.95
LC023	BC	350	3	4529.16	0.001608789	13.2854502	0.007268019	0.134022009	39.442124	8.009558	0.253536	3.9442124	531	0.245	1.95
LC022	BC	360	3	4928.63	0.010357921	13.9344562	0.007307603	0.144332308	38.413624	8.181664	0.2603229	3.8413624	534.5	0.245	1.95



ANEXO 2

Algunos resultados obtenidos de los análisis magnéticos de la zona de estudio, localidad de Arroyo la Ciervita (LC).

Muestra	Horizonte	Profundidad	PT	Ald (%)	Feo %	Alo %	Sio %	AlO/Sio	Sio/Fe	Al+1/2Fe	Fep	Alp	Glass	pH	pH	Feo/Fed	Ferr Feox1.7
		cm															
LC021	Bw	0	1	0.277	0.558	0.589	0.345	1.77048	1.259458383	0.868	0.042	0.171	33.4	6.7	9.1	0.29602	0.9486
LC020	Bw	10	1	0.277	0.558	0.589	0.345	1.77048	1.259458383	0.868	0.042	0.171	33.4	6.7	9.1	0.29602	0.9486
LC019	Bw	20	1	0.277	0.558	0.589	0.345	1.77048	1.259458383	0.868	0.042	0.171	33.4	6.7	9.1	0.29602	0.9486
LC018	Bw	30	1	0.277	0.558	0.589	0.345	1.77048	1.259458383	0.868	0.042	0.171	33.4	6.7	9.1	0.29602	0.9486
LC017	BCw	40	1	0.21	0.688	0.644	0.445	1.50079	1.317560293	0.988	0.029	0.09	48.3	6.8	9.1	0.46644	1.1696
LC016	BCw	50	1	0.21	0.688	0.644	0.445	1.50079	1.317560293	0.988	0.029	0.09	48.3	6.8	9.1	0.46644	1.1696
LC015	C	60	2	0.132	0.25	0.401	0.295	1.40967	2.403703704	0.526	0.014	0.044	53.3	7	8.9	0.5618	0.425
LC014	Ah1	70	2	0.392	1.193	1.131	1.06	1.1065	1.809940703	1.7275	0.096	0.21	-	7	9.2	0.62298	2.0281
LC013	Ah2	80	2	0.413	2.07	1.204	1.32	0.9459	1.29898014	2.239	0.019	0.288	-	6.9	9.1	1.0172	3.519
LC012	Ah2	90	2	0.413	2.07	1.204	1.32	0.9459	1.29898014	2.239	0.019	0.288	-	6.9	9.1	1.0172	3.519
LC011	Bw	100	2	0.297	1.69	1.282	1.15	1.15607	1.386149463	2.127	0.035	0.084	-	6.9	9.2	0.94944	2.873
LC010	Bw	110	2	0.297	1.69	1.282	1.15	1.15607	1.386149463	2.127	0.035	0.084	-	6.9	9.2	0.94944	2.873
LC09	Ah	120	2	0.309	1.99	0.987	1.18	0.86742	1.21399177	1.977	0.09	0.146	-	7	8.9	1.08791	3.366
LC08	Ah	130	2	0.309	1.98	0.987	1.18	0.86742	1.21399177	1.977	0.09	0.146	-	7	8.9	1.08791	3.366
LC07	AB	140	2	0.275	0.975	0.964	0.91	1.09858	1.901234568	1.4515	0.067	0.14	-	7	9.1	0.56686	1.6575
LC06	Ah	150	2	0.275	0.975	0.964	0.91	1.09858	1.901234568	1.4515	0.067	0.14	-	7	9.1	0.56686	1.6575
LC05	Bw	160	2	0.275	0.975	0.964	0.91	1.09858	1.901234568	1.4515	0.067	0.14	-	7	9.1	0.56686	1.6575
LC04	Bw	170	2	0.297	0.755	1.284	0.965	1.37985	2.60363012	1.6615	0.025	0.043	-	6.9	9.2	0.45482	1.2835
LC03	BC	180	2	0.183	0.27	1.234	1.005	1.27334	7.582304527	1.369	0.01	0.034	-	7	9.3	0.29348	0.459
LC02	BC	190	2	0.183	0.27	1.234	1.005	1.27334	7.582304527	1.369	0.01	0.034	-	7	9.3	0.29348	0.459
LC01	BC	200	2	0.183	0.27	1.234	1.005	1.27334	7.582304527	1.369	0.01	0.034	-	7	9.3	0.29348	0.459
LC037	Ah	210	3	1.66	0.79	0.5	0.46	1.12721	1.186122932	0.895	0.047	0.086	16.1	7.3	9.3	0.62698	1.343
LC036	AC	220	3	1.72	0.403	0.531	0.37	1.48829	1.870232515	0.7325	0.193	0.037	21.6	7.3	9.4	0.36636	0.6851
LC035	AC	230	3	1.72	0.403	0.531	0.37	1.48829	1.870232515	0.7325	0.193	0.037	21.6	7.3	9.4	0.36636	0.6851
LC034	Ah	240	3	3.42	0.985	0.786	0.77	1.05859	1.592404587	1.2785	0.022	0.226	18.1	7.3	9.4	0.57602	1.6745
LC033	Ah	250	3	3.42	0.985	0.786	0.77	1.05859	1.592404587	1.2785	0.022	0.226	18.1	7.3	9.4	0.57602	1.6745
LC032	AB	260	3	2.42	0.683	0.875	0.675	1.34431	2.01317716	1.2165	0.042	0.068	12.7	7.2	9.4	0.5097	1.1611
LC031	AB	270	3	2.42	0.683	0.875	0.675	1.34431	2.01317716	1.2165	0.042	0.068	12.7	7.2	9.4	0.5097	1.1611
LC030	AB	280	3	2.42	0.683	0.875	0.675	1.34431	2.01317716	1.2165	0.042	0.068	12.7	7.2	9.4	0.5097	1.1611
LC029	Bw	290	3	2.1	0.535	0.677	0.485	1.44758	1.846659744	0.9445	0.041	0.082	11.6	7.1	9.4	0.24884	0.9095
LC028	Bw	300	3	2.1	0.535	0.677	0.485	1.44758	1.846659744	0.9445	0.041	0.082	11.6	7.1	9.4	0.24884	0.9095
LC027	Bw	310	3	2.1	0.535	0.677	0.485	1.44758	1.846659744	0.9445	0.041	0.082	11.6	7.1	9.4	0.24884	0.9095
LC026	Bw	320	3	2.1	0.535	0.677	0.485	1.44758	1.846659744	0.9445	0.041	0.082	11.6	7.1	9.4	0.24884	0.9095
LC025	BC	330	3	-	0.368	0.413	0.265	1.61621	1.466888084	0.597	0.018	0.041	13.5	7.1	9.3	0.18872	0.6256
LC024	BC	340	3	-	0.368	0.413	0.265	1.61621	1.466888084	0.597	0.018	0.041	13.5	7.1	9.3	0.18872	0.6256
LC023	BC	350	3	-	0.368	0.413	0.265	1.61621	1.466888084	0.597	0.018	0.041	13.5	7.1	9.3	0.18872	0.6256
LC022	BC	360	3	-	0.368	0.413	0.265	1.61621	1.466888084	0.597	0.018	0.041	13.5	7.1	9.3	0.18872	0.6256

TESIS CON
PALA DE ORIGEN

ANEXO 2

Algunos resultados obtenidos de los análisis magnéticos de la zona de estudio, localidad de Arroyo la Ciervita (LC).

Muestra	Horizonte	Profundidad	PT	Alo-Alp/Sio	Fep/Feo	Alp/Alo	SioX7.14	Arena	Limo	Arcilla	Limo/arcilla
		cm									
LC021	Bw	0	1	1.2115942	0.075269	0.290323	2.4633	46.6	15.2	38.2	1.22
LC020	Bw	10	1	1.2115942	0.075269	0.290323	2.4633	46.6	15.2	38.2	1.22
LC019	Bw	20	1	1.2115942	0.075269	0.290323	2.4633	46.6	15.2	38.2	1.22
LC018	Bw	30	1	1.2115942	0.075269	0.290323	2.4633	46.6	15.2	38.2	1.22
LC017	BCw	40	1	1.26741573	0.042151	0.124224	3.1773	44.7	30.4	24.9	1.80
LC016	BCw	50	1	1.26741573	0.042151	0.124224	3.1773	44.7	30.4	24.9	1.80
LC015	C	60	2	1.21016949	0.056	0.109726	2.1063	84.2	8.4	7.4	11.38
LC014	Ah1	70	2	0.86866792	0.080469	0.185676	7.5684	54.4	21.9	23.7	2.30
LC013	Ah2	80	2	0.69393939	0.009179	0.239203	9.4248	43	31.8	25.2	1.71
LC012	Ah2	90	2	0.69393939	0.009179	0.239203	9.4248	43	31.8	25.2	1.71
LC011	Bw	100	2	1.04173913	0.02071	0.065523	8.211	39.5	28.4	32.1	1.23
LC010	Bw	110	2	1.04173913	0.02071	0.065523	8.211	39.5	28.4	32.1	1.23
LC09	Ah	120	2	0.71271186	0.045455	0.147923	8.4252	49.4	33.1	17.5	2.82
LC08	Ah	130	2	0.71271186	0.045455	0.147923	8.4252	49.4	33.1	17.5	2.82
LC07	AB	140	2	0.90549451	0.068718	0.145228	6.4974	42.4	24.3	33.3	1.27
LC06	Ah	150	2	0.90549451	0.068718	0.145228	6.4974	42.4	24.3	33.3	1.27
LC05	Bw	160	2	0.90549451	0.068718	0.145228	6.4974	43.2	30.5	26.3	1.64
LC04	Bw	170	2	1.28601036	0.033113	0.033489	6.8901	43.2	30.5	26.3	1.64
LC03	BC	180	2	1.19402985	0.037037	0.027553	7.1757	62.5	21.4	16.1	3.88
LC02	BC	190	2	1.19402985	0.037037	0.027553	7.1757	62.5	21.4	16.1	3.88
LC01	BC	200	2	1.19402985	0.037037	0.027553	7.1757	62.5	21.4	16.1	3.88
LC037	Ah	210	3	0.9	0.059494	0.172	3.2844	56.9	23.4	19.7	2.89
LC036	AC	220	3	1.33513514	0.478908	0.06968	2.6418	67.4	19.7	12.9	5.22
LC035	AC	230	3	1.33513514	0.478908	0.06968	2.6418	67.4	19.7	12.9	5.22
LC034	Ah	240	3	0.72727273	0.022335	0.287532	5.4978	72.4	16.3	11.3	6.41
LC033	Ah	250	3	0.72727273	0.022335	0.287532	5.4978	72.4	16.3	11.3	6.41
LC032	AB	260	3	1.19555556	0.061493	0.077714	4.8195	63.8	20.9	15.3	4.17
LC031	AB	270	3	1.19555556	0.061493	0.077714	4.8195	63.8	20.9	15.3	4.17
LC030	AB	280	3	1.19555556	0.061493	0.077714	4.8195	63.8	20.9	15.3	4.17
LC029	Bw	290	3	1.22680412	0.076636	0.121123	3.4629	56	22.8	21.2	2.64
LC028	Bw	300	3	1.22680412	0.076636	0.121123	3.4629	56	22.8	21.2	2.64
LC027	Bw	310	3	1.22680412	0.076636	0.121123	3.4629	56	22.8	21.2	2.64
LC026	Bw	320	3	1.22680412	0.076636	0.121123	3.4629	56	22.8	21.2	2.64
LC025	BC	330	3	1.40377358	0.048913	0.099274	1.8921	66.8	13.8	19.4	3.44
LC024	BC	340	3	1.40377358	0.048913	0.099274	1.8921	66.8	13.8	19.4	3.44
LC023	BC	350	3	1.40377358	0.048913	0.099274	1.8921	66.8	13.8	19.4	3.44
LC022	BC	360	3	1.40377358	0.048913	0.099274	1.8921	66.8	13.8	19.4	3.44

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO 3

Algunos resultados obtenidos de los análisis magnéticos de la zona de estudio, localidad de Zacango (ZA).

Muestra	Horizonte	Profundidad	PT	XLI	XHI	NRM	SARM	SIRM	Xd%	S40	S70	S100	F100	F200	F300	F1000
		cm		SI E(-8)	SI E(-8)	mA/m	mAm ² /Kg	mAm ² /Kg	0	0	0	0	0	0	0	0
I	Bw	10	1A	167.7934	169.90095	12.96	0.3492652	32.557628	-1.256039	0.2764971	0.8021031	0.900012	0.6544434	0.8774012	0.9384377	0.942231
	Bw	43	1A	112.23629	107.173	1.54	0.5194541	30.002929	4.5112782	0.5222241	0.9201765	1.027177	0.6079817	0.8645274	0.891943	1.046074
II	Ah	102	1A	233.56317	237.26358	5.68	0.2853171	30.39164	-1.585114	0.5337899	0.80815	0.832735	0.7082557	0.9139454	0.9565978	0.996386
ptia	Bw	115	1A	186.97597	180.00027	0.24	0.547551	31.587765	3.7307974	0.3365947	0.7756675	0.982638	0.6802551	0.9504996	1.0027945	1.037949
III	C	117	1A	205.25882	207.50618	1.14	0.1875077	21.934803	-1.094891	0.3959345	0.711327	1.094477	0.7476634	0.9227255	0.9831228	0.996615
	C	119	1A	169.14265	166.45785	3.62	0.2610716	33.74352	1.5873016	0.203702	0.6575675	0.979901	0.6892762	0.8775449	0.9052516	0.928213
ZA038	Ah1	130	2	88.809685	82.476656	54.78	0.4496345	8.8911155	7.1310116	0.723282	0.9577795	1.038741	0.6842263	0.8611905	0.9191828	0.998598
ZA037	Ah1	140	2	138.78341	128.72114	83.85	0.6371557	11.988724	7.250342	0.6784774	0.9153286	0.94626	0.7179184	0.8740068	0.9162579	0.995251
ZA036	Ah2	150	2	205.13172	193.98326	33.36	0.7491767	19.656158	5.4347826	0.6637949	0.9541392	1.016469	0.7648408	0.9090701	0.9373242	0.988235
ZA035	Ah2	160	2	198.12777	188.07268	25.37	0.7181929	21.068835	5.0750536	0.613709	0.9311694	1.003887	0.7786408	0.9184984	0.9557771	0.995437
ZA034	Bw	170	2	199.27584	187.9113	43.42	0.6914037	20.69145	5.7029178	0.6606811	0.9566983	1.020354	0.7887091	0.9171485	0.9547464	0.997586
ZA033	Bw	180	2	260.42862	254.79435	24.31	0.5627652	25.197685	2.1634615	0.6451184	0.9964403	1.043903	0.8112837	0.8933024	0.9040195	1.007049
ZA032	Bw	190	2	251.89599	242.01772	49.06	0.6988567	30.114099	3.9215686	0.5846854	0.9231353	1.020281	0.7891348	0.9587444	0.9929887	1.0038
ZA031	BC	200	2	240.94442	229.35914	60.389	0.6681942	31.252179	4.8082775	0.5355507	0.8897098	0.984355	0.8141714	0.948918	0.979719	0.993203
ZA030	BC	210	2	210.94458	202.47173	53.94	0.503967	31.615611	4.0166205	0.4562927	0.840049	0.961413	0.7949838	0.9529174	0.9635845	0.995745
ZA029	BC	220	2	220.06425	211.74065	29.93	0.4526916	30.408729	3.782349	0.441678	0.8578807	0.999628	0.7944749	0.9487666	0.9796761	0.998114
ZA028	BC	230	2	232.95972	230.76099	50.68	0.4710332	33.790196	9.9433962	0.4230015	0.8039416	0.957853	0.7614928	0.9445762	0.9643991	0.968458
ZA027	C	240	2	240.27809	232.10725	14.6	0.4929936	34.960319	3.4005764	0.471576	0.8692604	1.001762	0.7810475	0.9397535	0.9638221	0.996241
ZA026	C	250	2	241.28004	238.65221	71.88	0.4173685	37.052417	1.006229	0.4020706	0.825273	0.999752	0.7898649	0.9418123	0.9663174	0.996854
ZA025	C	260	3	260.28571	266.7472	43.42	0.6923302	31.877108	-2.482461	0.5902457	0.927362	1.010232	0.8144337	0.934154	0.9360277	0.997654
ZA024	Ah1	270	3	247.73188	244.42495	21.88	0.6826139	31.379333	1.348881	0.5806799	0.9273409	1.025909	0.7937222	0.9197795	0.9149949	0.996765
ZA023	Ah1	280	3	247.67261	236.60018	8.38	0.6642707	30.506981	4.4705882	0.5841217	0.9436568	1.035288	0.8025298	0.9371	0.9677611	0.999315
ZA022	Ah1	290	3	279.091	271.103	1.49	0.6137289	28.741803	2.8621495	0.5745614	0.9655243	1.036448	0.7825906	0.9050999	0.9042526	0.940728
ZA021	Ah1	300	3	251.42236	245.2349	83.69	0.6611038	30.1329	2.4609844	0.5558672	0.9275362	1.000993	0.8151167	0.9619532	0.9741072	1.004253
ZA020	Ah	310	3	252.05383	246.91367	55.44	0.6283592	31.695332	2.1559929	0.6102429	0.9549066	1.066289	0.7867158	0.9415339	0.9154775	0.970781
ZA019	Bw	320	3	247.86885	242.04007	41.87	0.6756515	28.120346	2.35155979	0.5773136	0.9206142	0.978081	0.7954901	0.9576519	0.987597	1.027363
ZA018	Bw	330	3	258.47066	248.18208	62.5	0.6633939	29.537616	3.9806347	0.55688046	0.8913778	1.021783	0.7885521	0.952628	0.9801755	1.016431
ZA017	Bw	340	3	294.85864	287.73034	38.57	0.65698201	36.905506	3.2506356	0.5219909	0.8585964	0.997132	0.7524613	0.9482682	1.0043701	1.005138
ZA016	Bw	350	3	305.69436	295.40657	39.37	0.6387345	41.390914	3.3653846	0.4773622	0.8828884	1.022035	0.7755415	0.9558557	0.9874349	1.01177
ZA015	Bw	360	3	291.22679	284.19718	62.78	0.5898447	42.590131	2.4137931	0.4431218	0.901471	1.034432	0.7925159	0.9508348	0.9746166	1.006017
ZA014	Bw	370	3	272.83762	266.62715	30.58	0.5782294	41.275266	2.2762545	0.3900016	0.8099672	0.970442	0.7781948	0.9399182	0.9801006	1.009437
ZA013	Bw2	380	3	264.48071	261.12959	19.43	0.5328301	43.292083	1.2670565	0.3334965	0.8276001	0.999195	0.7860756	0.9221564	0.9716216	0.998372
ZA012	BC	390	3	284.48254	281.09883	46.84	0.572049	46.264989	1.894273	0.2986175	0.8132133	1.003365	0.7845725	0.9484459	0.9637584	1.005316
ZA011	BC	400	3	254.07646	249.45689	16	0.3675521	35.495439	1.8181818	0.4027132	0.8525153	1.001652	0.74132	0.9454882	0.9659571	0.997363

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

ANEXO 3

Algunos resultados obtenidos de los análisis magnéticos de la zona de estudio, localidad de Zacango (ZA).

Muestra	Horizonte	Profundidad	PT	XLI	XHI	NRM	SARM	SIRM	Xfd%	S40	S70	S100	F100	F200	F300	F1000
		cm		SI(-8)	SI(-8)	mA/m	mAm ² /Kg	mAm ² /Kg	0	0	0	0	0	0	0	0
				m ² /Kg	m ² /Kg	m ² /Kg	m ² /Kg	m ² /Kg								
ZA10	BC	410	3	252.51034	242.57638	30.92	0.3160479	27.597805	3.9340776	0.4510412	0.8865417	0.991573	0.7604865	0.9526501	0.9749954	1.000557
ZA09	C	420	3	216.86224	240.71709	17.44	0.2942079	28.111634	-11	0.4677115	0.9153999	1.057029	0.7563521	0.9250135	0.9540162	0.995499
ZA08	Ahr	430	4	219.07108	214.02391	32.32	0.3197277	28.181319	2.3038947	0.4526529	0.8539883	0.965891	0.717597	0.9259092	0.9610554	0.994837
ZA07	Ah2	440	4	253.09483	247.29655	1.6	0.5550761	27.158113	2.2909507	0.5829656	0.9181709	1.000669	0.7670778	0.9388711	0.9570587	0.979562
ZA06	Ah2	450	4	249.76573	242.64384	34.69	0.5701026	28.405317	2.8514257	0.5883244	0.9255758	0.989873	0.7739362	0.9932729	0.9725191	0.99797
ZA05	B1	460	4	239.2732	233.95883	28.18	0.5047538	27.959322	2.210471	0.5760308	0.9366918	1.023167	0.7735254	0.9379631	0.9624086	1.000116
ZA04	B1	470	4	240.38526	235.93368	25.22	0.4774596	28.092763	1.8518519	0.5509547	0.9262621	1.002351	0.8579676	0.9407131	0.9791099	0.99293
ZA03	B1	480	4	210.28223	209.88472	13.07	0.2622245	20.771752	0.1890359	0.4374232	0.8414721	0.948774	0.7567301	0.938702	0.9634396	0.979408
ZA02	B1	490	4	247.20726	245.57476	42.21	0.4210994	30.75915	0.6603774	0.5135221	0.8968915	1.001524	0.7775773	0.9470185	0.9735469	0.993914
ZA01	B2	500	4	239.6661	237.30136	29.2	0.3616194	26.823927	0.9866798	0.5202561	0.9030719	1.011049	0.7731866	0.9445331	0.9712027	0.985307
ZA074	Bt	505	5	114.92584	111.05466	37.36	0.2524633	8.167274	3.3684211	0.6914254	0.952343	1.028091	0.6814405	0.8544138	0.9157762	1.004002
ZA073	Bt	510	5	118.7577	117.25444	36.01	0.2468497	7.8693389	1.2658228	0.5377902	0.9256662	1.001325	0.6914899	0.8898678	0.8944158	1.022212
ZA072	Bt	510	5	121.44292	119.12087	54.54	0.2790763	8.9677278	1.9120459	0.6639331	0.9384951	0.997923	0.684605	0.8658402	0.919637	1.002983
ZA071	Bt	515	5	130.63957	125.89981	29.12	0.294339	10.64743	3.6281179	0.6815459	0.9217391	1.006506	0.6156317	0.8517224	0.9469429	1.014154
ZA070	Bt	515	5	133.80945	129.69428	45.69	0.3195954	9.2701661	3.0753968	0.6858951	0.9432718	1.028444	0.6989806	0.8870541	0.9014484	0.995559
ZA069	C	520	5	141.3924	138.85152	20.1	0.3013757	9.2722929	1.7970402	0.7410652	0.9833682	1.053894	0.7289551	0.8730077	0.9523825	0.953867
ZA068	C	520	5	151.46764	145.86892	25.39	0.3375666	10.295179	3.960396	0.6847084	0.9511993	1.031039	0.6890351	0.8917695	0.9229804	0.988752
ZA067	C	525	5	158.58592	153.60263	24.03	0.3580954	9.6483837	3.142329	0.6633476	0.928086	1.00706	0.812162	0.8834235	1.0726265	1.114758
ZA066	C	525	5	175.33278	167.79306	18.07	0.4199669	12.207246	4.3002346	0.6489095	0.9192362	0.952716	0.7532277	0.9170103	0.9317211	0.992637
ZA065	C	530	5	195.34357	187.40297	30.6	0.4091469	14.808757	3.9937353	0.6583567	0.9523359	0.983346	0.8279107	0.9667095	1.0314632	1.058899
ZA064	E	540	6	142.58839	139.49113	21.01	0.2070783	19.929583	2.1721841	0.6317096	0.9061193	1.015812	0.796366	0.9562329	0.9918014	1.015445
ZA063	E	550	6	143.76586	139.29414	84.71	0.2234716	20.463244	3.1104199	0.5568891	0.9441634	1.02715	0.755889	0.956486	0.9868829	1.005373
ZA062	B1	560	6	2...66206	270.76244	83.17	0.5529392	17.93504	3.8697499	0.6990061	0.9873227	1.007323	0.765819	0.901242	0.9343185	1.023067
ZA061	B1	570	6	410.81773	400.74866	54.56	0.6505809	26.135691	2.4509804	0.6674747	0.8868663	0.957138	0.7673994	0.7797991	0.94152	0.948309
ZA060	B2	580	6	307.82685	299.66473	65.03	0.5199848	18.584477	2.6515152	0.6241748	0.8896025	0.971333	0.7541783	0.8901007	0.8187266	0.948309
ZA059	B2	590	6	298.22877	292.44305	45.78	0.5835059	21.718023	1.9400353	0.6400427	0.9488866	1.006865	0.7557903	0.8242935	0.9080482	0.940501
ZA058	B3	600	6	245.41525	236.42027	123.8	0.7010963	21.602075	3.6652079	0.6357486	0.8980047	0.96811	0.7383173	0.8805112	0.8870956	0.995097
ZA057	B3	610	6	252.77419	247.92609	65.29	0.7441155	21.578711	1.9179542	0.6651918	0.9539242	1.01881	0.7410689	0.8887577	0.9249805	0.98227
ZA056	B3	620	6	284.08806	273.20666	26.47	0.7077445	22.458745	3.8302887	0.6807351	0.9173454	0.931394	0.7730473	0.9085778	0.9014411	0.957551
ZA055	B3	630	6	328.36245	319.68991	66.85	0.724385	24.666299	2.6384083	0.6256933	0.9171581	0.958792	0.7921069	0.9283906	0.9037688	0.95541
ZA054	B3	640	6	366.93919	358.48227	88.28	0.6456023	27.336724	2.239063	0.5739795	0.9500125	1.012522	0.8000875	0.9397157	0.9045946	1.019264
ZA053	B3	650	6	284.29132	276.95477	93.37	0.5957911	24.054783	2.5806452	0.5922221	0.9401352	0.973569	0.7670173	0.921939	0.9407371	0.991934
ZA052	B3	660	6	423.35485	416.45982	187.73	0.6373347	37.733055	1.6286645	0.5859522	0.9491788	1.041903	0.7825928	0.9277965	0.9586382	1.006162
ZA051	B3	670	6	448.93902	444.27042	263.25	0.5258909	37.482019	1.0399195	0.5431253	0.9623181	1.030607	0.7478864	0.9400836	0.9581877	1.012343

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO 3

Algunos resultados obtenidos de los análisis magnéticos de la zona de estudio, localidad de Zacango (ZA).

Muestra	Horizonte	Profundidad	PT	Xlf	XHf	NRM	SARM	SIRM	Xld%	S40	S70	S100	F100	F200	F300	F1000
		cm		SI E(-8) m ² /Kg	SI E(-8) m ² /Kg	mA/m	mAm ² /Kg	mAm ² /Kg	0	0	0	0	0	0	0	0
ZA050	BC	680	6	458.73864	447.57372	142.5	0.4860938	34.206295	2.4338302	0.6409908	0.8949322	1.060894	0.8017621	0.9930621	1.0308899	1.057034
ZA049	BC	690	6	449.60291	441.20577	78.04	0.4685184	31.419662	1.8676796	0.5697177	0.8783731	0.946341	0.8111335	0.9706412	1.050224	1.082993
ZA048	C	700	6	340.5433	333.11485	237.23	0.3766636	35.696591	2.1813516	0.5006682	0.8898678	0.970054	0.7554882	0.9495808	0.9922874	1.007231
ZA047	BI1	710	7	285.34615	275.27984	147.52	0.5412675	29.146775	3.5277516	0.6113121	0.9346474	0.984924	0.7855803	0.9393859	0.9672799	0.990645
ZA046	BI1	720	7	288.18191	277.95233	461.72	0.5712479	30.754437	3.5496957	0.6671142	0.9850028	1.07456	0.8137929	0.9458646	0.9810807	1.019374
ZA045	BI2	730	7	250.33513	237.55339	14.13	0.5623668	23.697568	5.1058531	0.6553963	0.9211311	0.989321	0.8037919	0.9562316	0.9789312	0.989773
ZA044	BI2	740	7	240.52788	232.77382	32.39	0.443659	21.580276	3.2237674	0.6121007	0.9410319	1.021104	0.8530683	1.0135929	0.9740001	1.09264
ZA043	BC	750	7	260.75421	258.12871	103.05	0.4260417	27.230091	1.0068892	0.4463819	0.8877403	1.00883	0.7709717	0.9795622	0.9620305	1.036805
ZA042	BC	760	7	265.19916	261.15603	214.61	0.4391638	26.943789	1.5245624	0.5879015	0.8874825	0.951336	0.8091069	0.9501475	0.9623727	0.982123
ZA041	BC	770	7	258.28425	250.33705	266.88	0.2463907	26.974313	3.0769231	0.4941758	0.836184	1.021454	0.8405482	0.9365308	0.9781394	0.887596
ZA040	BC	780	7	264.81543	261.10307	315.11	0.2750992	26.866584	1.4018692	0.4587748	0.8174804	0.967411	0.8221148	0.9549742	0.9748919	1.020534
ZA039	C	790	7	267.12563	224.68731	27.59	0.4685794	11.219046	15.887026	0.6771752	0.940684	0.996232	0.7564746	0.9159346	0.9383577	0.987304

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO 3

Algunos resultados obtenidos de los análisis magnéticos de la zona de estudio, localidad de Zacango (ZA).

Muestra	Horizonte	Profundidad	PT	IRM100/SIRM	HIRM	SARM / SIRM	SIRM/X	Arm40/SIRM	SARM/XLF	SIRM/Xarm	Xarm	Xarm/SIRM	SIRM/Xarm
		cm		(μ)	mA/m	(μ)	kA/m			E2[A/m]	m ² /Kg	mA/m	A/m
											E(-6)	E(3)	E(3)
I	B	10	1A	0.788701594	3315.16	0.010728215	19.40340251	0.0064419	0.208163865	37.08793823	6.778494957	0.26962944	3.708793823
	Bw	43	1A	0.808577895	2656.6	0.017313447	26.73193328	0.013444798	0.462821911	22.98140613	13.05530617	0.435134384	2.28140613
	Ah	102	1A	0.381602975	2968.6	0.006033964	13.01227181	0.004056698	0.078581943	65.88559941	6.412789495	0.151778235	6.588559941
II	Bw	115	1A	1.422092217	4054.58	0.017334274	16.89402429	0.011826565	0.292845647	22.95379407	13.76145719	0.435657821	2.295379407
III	C	117	1A	0.44361499	1084.68	0.00654841	10.68641168	0.005118991	0.091351825	46.5451907	4.712581962	0.214844968	4.65451907
	C	119	1A	0.395778019	2116.96	0.00773698	19.94974023	0.004725197	0.154349937	51.42696888	6.561444422	0.194450504	5.142696888
ZA038	Ah1	130	2	0.817453014	860.95	0.050571208	10.01142554	0.042319011	0.506289884	7.867863415	11.30054632	1.270993086	0.786786341
ZA037	Ah1	140	2	0.811094264	931.94	0.053146334	6.638441587	0.041975449	0.459101505	7.486637839	16.01349556	1.335713068	0.748663784
ZA036	Ah2	150	2	0.830778991	1515.1	0.038114098	9.582212709	0.031744436	0.365217391	10.43937498	18.82886486	0.957911754	1.043937498
ZA035	Ah2	150	2	0.846798479	1780.6	0.034087898	10.63397284	0.02751966	0.362489778	11.67239356	18.05015671	0.856722312	1.167239356
ZA034	Bw	170	2	0.843951328	1908.92	0.033414944	10.38332095	0.027337865	0.34695809	11.90746737	17.37686908	0.83980145	1.190746737
ZA033	Bw	180	2	0.686636463	2956.14	0.022334045	9.675466667	0.017377284	0.216092308	17.81528416	14.14385776	0.561315773	1.781528416
ZA032	Bw	190	2	0.850654126	2205.28	0.02320696	11.95497331	0.01743434	0.277438583	17.14517385	17.56418383	0.583254512	1.714517385
ZA031	BC	200	2	0.81786222	2133.38	0.021390722	12.97070043	0.023023453	0.277322946	18.60963111	16.793551	0.537356165	1.860963111
ZA030	BC	210	2	0.841025226	2687.98	0.015940449	14.98763878	0.012385313	0.238909695	24.96088225	12.66607329	0.400627186	2.49608225
ZA029	BC	220	2	0.849369885	2450.55	0.014686896	13.81811387	0.011025486	0.205708825	26.72735505	11.37738056	0.547148507	2.672735505
ZA028	BC	230	2	0.81761257	3069.65	0.013939939	14.50473747	0.01038746	0.202195148	28.54297798	11.83835675	0.350348867	2.854297798
ZA027	C	240	2	0.838777933	3179.62	0.014101518	14.54994075	0.01047663	0.205176254	28.21592352	12.39027993	0.354409807	2.821592352
ZA026	C	250	2	0.845997837	3856.03	0.011264271	15.3566022	0.00809914	0.17289093	35.32295664	10.48961359	0.283102009	3.532295664
ZA025	C	260	3	0.851597789	2628.21	0.021718727	12.24696816	0.016247589	0.265988559	18.32001278	17.40015602	0.545851148	1.832001278
ZA024	Ah1	270	3	0.831523416	2872.61	0.021753614	12.66685119	0.017787162	0.275545444	18.29063221	17.15595874	0.546727958	1.829063221
ZA023	Ah1	280	3	0.858296885	2318.14	0.021774385	12.31746259	0.016780232	0.268205176	18.27318439	16.69494486	0.547249991	1.827318439
ZA022	Ah1	290	3	0.706994161	4003.88	0.021353181	10.29836262	0.016174606	0.219902804	18.63363368	15.42469037	0.566362979	1.863363368
ZA021	Ah1	300	3	0.862931345	2138.16	0.021939601	11.98497191	0.016451495	0.262945498	18.13557881	16.61535031	0.551402307	1.813557881
ZA020	AB	310	3	0.8173021	2830.46	0.019824987	12.57481902	0.015124024	0.249295625	20.0699933	15.79238849	0.49825627	2.00699933
ZA019	B	320	3	0.848596885	2822.59	0.023846131	11.34484844	0.018663141	0.270530747	16.88561458	16.85304758	0.59931865	1.668561458
ZA018	B	330	3	0.833174872	2768.82	0.022459291	11.42783174	0.01782054	0.256661001	17.71593567	16.67297401	0.584463553	1.771593567
ZA017	B	340	3	0.877756847	2442.56	0.018149597	12.5249191	0.013843541	0.227322233	21.92265533	16.83441425	0.456149123	2.192265533
ZA016	B	350	3	0.82914957	4135.04	0.015331756	13.53996643	0.011209911	0.208945455	25.78367392	16.0531481	0.387842323	2.578367392
ZA015	B	360	3	0.827101827	4582.96	0.013849329	14.62438621	0.009230874	0.202537931	28.72972167	14.82444174	0.348071593	2.8702972167
ZA014	B	370	3	0.785193466	4907.44	0.014050103	15.1281432	0.009295776	0.211931712	28.40205865	14.53249111	0.352087154	2.840205865
ZA013	B2	380	3	0.828189104	4509.03	0.012337797	16.36871111	0.008521369	0.201462768	32.3280737	13.39148227	0.309328669	3.23280737
ZA012	BC	390	3	0.843043414	4526.81	0.012354621	16.26285674	0.007698719	0.201084053	32.17950407	14.37716015	0.310756809	3.217950407
ZA011	BC	400	3	0.790709382	4643.78	0.010735424	13.95620796	0.007354363	0.144662015	38.38601805	9.237592477	0.260511522	3.838601805

**TESIS CON
FALTA DE ORIGEN**

ANEXO 3

Algunos resultados obtenidos de los análisis magnéticos de la zona de estudio, localidad de Zacango (ZA).

Muestra	Horizonte	Profundidad	PT	IRM100/SIRM	HIRM	SARM / SIRM	SIRM/X	Arm40/SIRM	SARM/XLF	SIRM/Xarm	Xarm	Xarm/SIRM	SIRM/Xarm
		cm		\int	mA/m	\int	kA/m			E2[A/m]	m ² /Kg	E(3)	E(3)
											mA	mA	A/m
ZA10	BC	410	3	0.816894512	2907.14	0.011451922	10.92837629	0.00767384	0.12516236	34.74415661	7.94315003	0.287818182	3.474415661
ZA09	C	420	3	0.818259062	3930.62	0.010106195	13.42402133	0.007478733	0.135665778	39.37063912	7.394249772	0.253996385	3.937063912
ZA08	Ahr	430	4	0.78474125	3434.79	0.011345351	12.86400702	0.00802078	0.145946681	35.07051834	8.035615259	0.285139783	3.507051834
ZA07	Ah2	440	4	0.794387492	3009.54	0.020438684	10.73041008	0.016065505	0.219315464	19.4673665	13.95058404	0.513880163	1.94673665
ZA06	Ah2	450	4	0.802180497	3513.49	0.020070277	11.37278399	0.015529452	0.228254927	19.82470662	14.32824062	0.504421084	1.982470662
ZA05	B1	460	4	0.827913341	2971.78	0.018046695	11.68928355	0.0142729	0.210952935	22.04765792	12.68584741	0.4353562915	2.204765792
ZA04	B1	470	4	0.834715437	2689.16	0.016995823	11.68655802	0.013292661	0.198622671	23.41089094	11.99986939	0.42715162	2.341089094
ZA03	B1	480	4	0.820744626	2195.38	0.012624089	9.878035035	0.009806307	0.124701197	31.51810365	6.590419498	0.317277972	3.151810365
ZA02	B1	490	4	0.820866017	3691.62	0.0138690215	12.4426566	0.010468189	0.170342642	29.06363149	10.58338166	0.344072626	2.906363149
ZA01	B2	500	4	0.825996634	3084.02	0.013481224	11.1922076	0.010136025	0.150884657	29.51418648	9.088486098	0.338820113	2.951418648
ZA074	Bl	505	5	0.78558509	1130.91	0.030911573	7.10656	0.025288184	0.219674947	12.87179269	6.345094392	0.776892562	1.287179269
ZA073	Bl	510	5	0.7525234	1012.11	0.031381121	6.626381772	0.024987041	0.207943291	12.67919499	6.206497237	0.7888693605	1.267919499
ZA072	Bl	510	5	0.766812443	1407.14	0.03120067	7.384315105	0.025291787	0.229800382	12.78555586	7.013952190	0.782132596	1.278555586
ZA071	Bl	515	5	0.726133454	1538.04	0.027644132	8.150233107	0.022175847	0.225306122	14.39319394	7.397544712	0.694727824	1.439319394
ZA070	Bl	515	5	0.801882798	1080.87	0.034475806	6.927885714	0.027732412	0.238844444	11.54106032	8.032334817	0.866471513	1.154106032
ZA069	C	520	5	0.787607207	1029.95	0.032485302	6.561380127	0.025591481	0.213148414	12.24822718	7.57439651	0.816444687	1.224822718
ZA068	C	520	5	0.776026605	1321.34	0.032788997	7.96949775	0.026803785	0.222865167	12.13478279	8.484024531	0.824077379	1.213478279
ZA067	C	525	5	0.785151928	1104.94	0.036907264	6.084010351	0.028178709	0.224544177	10.78073291	8.949654664	0.927580721	1.078073291
ZA066	C	525	5	0.763590195	1658.15	0.034123766	7.019353678	0.039634268	0.239527131	11.66012443	10.55498645	0.857623781	1.186012443
ZA065	C	530	5	0.833438668	1215.06	0.027628846	7.580877682	0.020997549	0.209450901	14.40115472	10.84388632	1.440112572	2.440112572
ZA064	E	540	6	0.797845425	2743.84	0.010390496	13.97700274	0.007226121	0.145227997	38.29339253	5.204444254	0.261141658	3.829339253
ZA063	E	550	6	0.802197134	2828.67	0.010923625	14.23372939	0.008238902	0.155441369	36.43445133	5.616454431	0.274465503	3.643445133
ZA062	B1	560	6	0.820856401	1868.41	0.030830105	6.367574139	0.024469421	0.196312978	12.90580621	13.89687712	0.774845045	1.290580621
ZA061	B1	570	6	0.800575837	3437.58	0.024890457	6.362179469	0.020175164	0.158357555	15.98553843	16.3503789	0.625565416	1.598553843
ZA060	B12	580	6	0.80882632	1904.39	0.027979525	6.037315152	0.006613415	0.168921412	14.22066147	13.06864447	0.703202169	1.422066147
ZA059	B12	590	6	0.745118918	3288.83	0.028667358	7.282336508	0.022605687	0.195657143	14.80932201	11.66510273	0.657250359	1.480932201
ZA058	B13	600	6	0.795508133	2570.61	0.032453193	8.802254705	0.026066128	0.285661269	12.26034454	17.61946622	0.815637697	1.226034454
ZA057	B13	610	6	0.837537695	2033.76	0.034483778	8.536754395	0.027363031	0.294379542	11.53839234	18.70166211	0.866671864	1.153839234
ZA056	B13	620	6	0.770930175	2400.89	0.031513094	7.905557572	0.02483723	0.24912858	12.62609619	17.78756034	0.79201044	1.262609619
ZA055	B13	630	6	0.854209179	1973.34	0.029439057	7.493658131	0.023734764	0.220606228	13.51562853	18.20585648	0.7398842	1.351562853
ZA054	B13	640	6	0.845449518	2613.07	0.023616668	7.454930761	0.017256196	0.176060628	16.84773452	16.2257564	0.593551613	1.684773452
ZA053	B13	650	6	0.773304124	3019.58	0.024768092	8.461314541	0.019636696	0.20957062	16.06451362	14.97386298	0.622490057	1.606451362
ZA052	B13	660	6	0.821142235	3823.48	0.016890417	8.91297355	0.01247871	0.150543844	23.55698785	16.01796701	0.42450249	2.355698785
ZA051	B13	670	6	0.833846171	3230.71	0.014030484	8.349022207	0.009638919	0.117140825	28.58797568	13.21707928	0.352624532	2.838797568

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO 3

Algunos resultados obtenidos de los análisis magnéticos de la zona de estudio, localidad de Zacango (ZA).

Muestra	Horizonte	Profundidad	PT	IRM100/SIRM	HIRM	SARM / SIRM	SIRM/X	Arm40/SIRM	SARM/XLF	SIRM/Xarm	Xarm E(-6)	Xarm/SIRM E(3)	SIRM/Xarm E(3)
		cm		0	mA/m	0	kA/m			E2[A/m]	m ² /Kg	mA	A/m
ZA050	BC	690	6	0.883984017	2221.51	0.014210654	7.456597749	0.011685915	0.105963127	27.99922998	12.21687002	0.357152679	2.799922998
ZA049	BC	690	6	0.845525061	2664.22	0.014911631	6.98831377	0.010687693	0.104207154	26.68302117	11.77515177	0.374770156	2.668302117
ZA048	C	700	6	0.795930114	3907.22	0.010551809	10.48224739	0.008691937	0.110606672	37.70797573	9.466588987	0.265195885	3.770797573
ZA047	Bt1	710	7	0.82954019	2891.97	0.01857041	10.21453246	0.015273758	0.189688053	21.42587934	13.60353724	0.466725302	2.142587934
ZA046	Bt1	720	7	0.863162863	2249.79	0.018574486	10.67188316	0.015042542	0.198224746	21.42117707	14.35702471	0.456827755	2.142117707
ZA045	Bi2	730	7	0.746929645	3005.79	0.023731003	9.46633325	0.017509045	0.224645579	16.76656331	14.13381938	0.596425148	1.676656331
ZA044	Bi2	740	7	0.864175765	1506.14	0.020553906	8.972047535	0.016129658	0.184410619	19.35823597	11.14785259	0.516575995	1.935823597
ZA043	BC	750	7	0.832654758	2576.28	0.015645989	10.44281929	0.011151673	0.163388235	25.4306301	10.7079599	0.393226592	2.54306301
ZA042	BC	760	7	0.851858281	2082.44	0.01629928	10.15983196	0.012035216	0.165597741	24.41137578	11.03739068	0.409645081	2.441137578
ZA041	BC	770	7	0.794566442	3050.6	0.009134271	10.44365363	0.006869559	0.095395165	43.55983612	6.192473463	0.229569275	4.355983612
ZA040	BC	780	7	0.854672017	2465.03	0.010239455	10.14539963	0.007888295	0.103883364	38.85825484	6.913996554	0.257345577	3.885825484
ZA039	C	790	7	0.846748422	1139.45	0.041766418	4.199913857	0.034058447	0.175415357	9.526489878	11.77668424	1.049704574	0.952648988

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO 3

Algunos resultados obtenidos de los análisis magnéticos de la zona de estudio, localidad de Zacango (ZA).

Muestra	Horizonte	Profundidad	PT	Temp. Curie	C (%)	Fed (%)	Akd (%)	Feo %	Aló %	Sio %	Aló/Sio	Sio/Fe	Al+1/2Fe	Fep	Alp	Glass	pH	pH	Feo/Fed
		cm																	
I	B	10	1A	530	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Bw	43	1A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II	Ah	102	1A	520	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ptia	Bw	115	1A	497	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
III	C	117	1A	492.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	119	1A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZA038	Ah1	130	2	-	2.82	1.07	0.20	1.26	0.72	0.64	1.16019	1.0347	1.346	0.06	0.06	-	7.30	8.60	1.18
ZA037	Ah1	140	2	-	2.82	1.07	0.20	1.26	0.72	0.64	1.16019	1.0347	1.346	0.06	0.06	-	7.30	8.60	1.18
ZA036	Ah2	150	2	-	2.20	0.65	0.07	0.99	0.67	0.23	3.10189	0.4653	1.1655	0.02	0.05	-	7.50	8.50	1.53
ZA035	Ah2	160	2	-	2.20	0.65	0.07	0.99	0.67	0.23	3.10189	0.4653	1.1655	0.02	0.05	-	7.50	8.50	1.53
ZA034	Bw	170	2	-	1.13	0.93	0.22	0.75	0.41	0.38	1.14489	1.0254	0.7865	0.03	0.02	-	7.30	8.70	0.80
ZA033	Bw	180	2	-	1.13	0.93	0.22	0.75	0.41	0.38	1.14489	1.0254	0.7865	0.03	0.02	-	7.30	8.70	0.80
ZA032	Bw	190	2	-	1.13	0.93	0.22	0.75	0.41	0.38	1.14489	1.0254	0.7865	0.03	0.02	-	7.30	8.70	0.80
ZA031	BC	200	2	477.50	1.13	0.93	0.22	0.75	0.41	0.38	1.14489	1.0254	0.7865	0.03	0.02	-	7.30	8.70	0.80
ZA030	BC	210	2	-	1.13	0.93	0.22	0.75	0.41	0.38	1.14489	1.0254	0.7865	0.03	0.02	-	7.30	8.70	0.80
ZA029	BC	220	2	-	1.13	0.93	0.22	0.75	0.41	0.38	1.14489	1.0254	0.7865	0.03	0.02	-	7.30	8.70	0.80
ZA028	BC	230	2	-	0.52	0.47	0.12	0.44	0.60	0.35	1.77778	1.6278	0.819	0.01	0.02	-	7.30	8.60	0.94
ZA027	C	240	2	-	0.52	0.47	0.12	0.44	0.60	0.35	1.77778	1.6278	0.819	0.01	0.02	-	7.30	8.60	0.94
ZA026	C	250	2	495.00	0.01	0.20	0.05	0.57	0.24	0.15	1.73078	0.52	0.526	0.00	0.01	-	7.50	8.50	2.91
ZA025	C	260	3	516.00	0.01	0.20	0.05	0.57	0.24	0.15	1.73078	0.52	0.526	0.00	0.01	-	7.50	8.50	2.91
ZA024	Ah1	270	3	519.50	0.68	0.56	0.14	0.39	0.56	0.36	1.63589	1.8783	0.7525	0.02	0.03	-	7.30	8.90	0.69
ZA023	Ah1	280	3	511.00	1.29	1.06	0.22	0.92	0.70	0.60	1.20296	1.3314	1.155	0.09	0.08	-	7.20	8.70	0.87
ZA022	Ah1	290	3	520.50	1.29	1.06	0.22	0.92	0.70	0.60	1.20296	1.3314	1.155	0.09	0.08	-	7.20	8.70	0.87
ZA021	Ah1	300	3	524.00	1.29	1.06	0.22	0.92	0.70	0.60	1.20296	1.3314	1.155	0.09	0.08	-	7.20	8.70	0.87
ZA020	AB	310	3	513.50	1.33	1.09	0.18	1.77	0.75	0.72	1.08055	0.8252	1.6275	0.06	0.05	-	7.20	8.60	1.63
ZA019	B	320	3	548.00	1.75	1.21	0.18	1.44	0.20	0.47	0.43688	0.6672	0.9155	0.05	0.07	-	7.30	8.80	1.19
ZA018	B	330	3	512.50	1.75	1.21	0.18	1.44	0.20	0.47	0.43688	0.6672	0.9155	0.05	0.07	-	7.30	8.80	1.19
ZA017	B	340	3	522.50	1.75	1.21	0.18	1.44	0.20	0.47	0.43688	0.6672	0.9155	0.05	0.07	-	7.30	8.80	1.19
ZA016	B	350	3	547.00	1.75	1.21	0.18	1.44	0.20	0.47	0.43688	0.6672	0.9155	0.05	0.07	-	7.30	8.80	1.19
ZA015	B	360	3	494.50	1.75	1.21	0.18	1.44	0.20	0.47	0.43688	0.6672	0.9155	0.05	0.07	-	7.30	8.80	1.19
ZA014	B	370	3	513.50	1.75	1.21	0.18	1.44	0.20	0.47	0.43688	0.6672	0.9155	0.05	0.07	-	7.30	8.80	1.19
ZA013	B2	380	3	527.50	1.44	0.81	0.13	0.74	0.35	0.32	1.1213	0.8833	0.715	0.07	0.14	-	7.30	8.50	0.92
ZA012	BC	390	3	519.00	0.06	0.67	0.13	0.53	0.31	0.24	1.34594	0.9066	0.569	0.03	0.06	-	7.30	8.50	0.79
ZA011	BC	400	3	522.50	0.06	0.67	0.13	0.53	0.31	0.24	1.34594	0.9066	0.569	0.03	0.06	-	7.30	8.50	0.79

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO 3

Algunos resultados obtenidos de los análisis magnéticos de la zona de estudio, localidad de Zacango (ZA).

Muestra	Horizonte	Profundidad	PT	Temp. Curie	C (%)	Fed (%)	Ald (%)	Feo %	Alo %	SiO %	AlO/SiO	SiO/Fe	Al+1/2Fe	Fep	Alp	Glass	pH	pH	Feo/Fed
		cm																	
ZA10	BC	410	3	540.00	0.06	0.67	0.13	0.53	0.31	0.24	1.34594	0.9066	0.569	0.03	0.06	-	7.30	8.50	0.79
ZA09	C	420	3	550.50	0.00	0.35	0.08	0.75	0.23	0.18	1.36889	0.4785	0.6035	0.01	0.03	-	7.30	8.40	2.13
ZA08	Ahr	430	4	-	0.21	0.82	0.12	0.61	0.38	0.31	1.3	1.0185	0.686	0.10	0.36	15.19	7.40	8.90	0.75
ZA07	Ah2	440	4	526.00	0.37	0.68	0.16	0.43	0.31	0.28	1.1	1.3326	0.523	0.07	0.17	19.67	7.40	9.80	0.63
ZA06	Ah2	450	4	536.00	0.37	0.68	0.16	0.43	0.31	0.28	1.1	1.3326	0.523	0.07	0.17	19.67	7.40	9.80	0.63
ZA05	B1	460	4	505.00	0.21	0.84	0.16	0.50	0.36	0.25	1.5	0.9981	0.605	0.02	0.04	15.50	7.40	9.10	0.60
ZA04	B1	470	4	532.50	0.21	0.84	0.16	0.50	0.36	0.25	1.5	0.9981	0.605	0.02	0.04	15.50	7.40	9.10	0.60
ZA03	B1	480	4	514.00	0.21	0.84	0.16	0.50	0.36	0.25	1.5	0.9981	0.605	0.02	0.04	15.50	7.40	9.10	0.60
ZA02	B1	490	4	517.50	0.21	0.84	0.16	0.50	0.36	0.25	1.5	0.9981	0.605	0.02	0.04	15.50	7.40	9.10	0.60
ZA01	B2	500	4	540.00	0.16	0.87	0.14	0.53	0.31	0.30	1.1	1.1446	0.5725	0.06	0.19	15.43	7.30	8.70	0.60
ZA074	Bt	505	5	-	0.24	1.10	0.16	0.25	0.18	0.17	1.1	1.3444	0.303	0.04	0.15	6.75	7.20	8.50	0.23
ZA073	Bt	510	5	-	0.24	1.10	0.16	0.25	0.18	0.17	1.1	1.3444	0.303	0.04	0.15	6.75	7.20	8.50	0.23
ZA072	Bt	510	5	-	0.24	1.10	0.16	0.25	0.18	0.17	1.1	1.3444	0.303	0.04	0.15	6.75	7.20	8.50	0.23
ZA071	Bt	515	5	505.00	0.24	1.10	0.16	0.25	0.18	0.17	1.1	1.3444	0.303	0.04	0.15	6.75	7.20	8.50	0.23
ZA070	Bt	515	5	-	0.24	1.10	0.16	0.25	0.18	0.17	1.1	1.3444	0.303	0.04	0.15	6.75	7.20	8.50	0.23
ZA069	C	520	5	-	0.24	1.15	0.16	0.24	0.24	0.15	1.7	1.2731	0.364	0.02	0.06	17.46	7.20	8.40	0.21
ZA068	C	520	5	-	0.24	1.15	0.16	0.24	0.24	0.15	1.7	1.2731	0.364	0.02	0.06	17.46	7.20	8.40	0.21
ZA067	C	525	5	-	0.24	1.15	0.16	0.24	0.24	0.15	1.7	1.2731	0.364	0.02	0.06	17.46	7.20	8.40	0.21
ZA066	C	525	5	-	0.24	1.15	0.16	0.24	0.24	0.15	1.7	1.2731	0.364	0.02	0.06	17.46	7.20	8.40	0.21
ZA065	C	530	5	528.00	0.24	1.15	0.16	0.24	0.24	0.15	1.7	1.2731	0.364	0.02	0.06	17.46	7.20	8.40	0.21
ZA064	E	540	6	551.8	0.02	0.79	0.10	0.20	0.11	0.12	0.97391	1.1831	0.207	0.04	0.24	4.40	7.40	7.90	0.25
ZA063	E	550	6	-	0.02	0.79	0.10	0.20	0.11	0.12	0.97391	1.1831	0.207	0.04	0.24	4.40	7.40	7.90	0.25
ZA062	Bt1	560	6	-	0.02	1.18	0.14	0.21	0.19	0.17	1.17124	1.6258	0.2985	0.09	0.86	10.50	7.20	8.30	0.18
ZA061	Bt1	570	6	-	0.02	1.18	0.14	0.21	0.19	0.17	1.17124	1.6258	0.2985	0.09	0.86	10.50	7.20	8.30	0.18
ZA060	Bt2	580	6	-	0.02	0.88	0.12	0.25	0.15	0.13	1.22051	1.0467	0.2795	0.05	0.43	15.50	7.30	8.50	0.29
ZA059	Bt2	590	6	519	0.02	0.88	0.12	0.25	0.15	0.13	1.22051	1.0467	0.2795	0.05	0.43	15.50	7.30	8.50	0.29
ZA058	Bt3	600	6	509	0.05	0.89	0.09	0.26	0.20	0.21	1.0168	1.6061	0.331	0.07	0.07	9.00	7.30	8.50	0.29
ZA057	Bt3	610	6	-	0.05	0.89	0.09	0.26	0.20	0.21	1.0168	1.6061	0.331	0.07	0.07	9.00	7.30	8.50	0.29
ZA056	Bt3	620	6	-	0.05	0.89	0.09	0.26	0.20	0.21	1.0168	1.6061	0.331	0.07	0.07	9.00	7.30	8.50	0.29
ZA055	Bt3	630	6	-	0.05	0.89	0.09	0.26	0.20	0.21	1.0168	1.6061	0.331	0.07	0.07	9.00	7.30	8.50	0.29
ZA054	Bt3	640	6	-	0.05	0.89	0.09	0.26	0.20	0.21	1.0168	1.6061	0.331	0.07	0.07	9.00	7.30	8.50	0.29
ZA053	Bt3	650	6	575	0.05	0.89	0.09	0.26	0.20	0.21	1.0168	1.6061	0.331	0.07	0.07	9.00	7.30	8.50	0.29
ZA052	Bt3	660	6	-	0.05	0.89	0.09	0.26	0.20	0.21	1.0168	1.6061	0.331	0.07	0.07	9.00	7.30	8.50	0.29
ZA051	Bt3	670	6	518	0.05	0.89	0.09	0.26	0.20	0.21	1.0168	1.6061	0.331	0.07	0.07	9.00	7.30	8.50	0.29

**TESIS CON
FALTA DE ORIGEN**

ANEXO 3

Algunos resultados obtenidos de los análisis magnéticos de la zona de estudio, localidad de Zacango (ZA).

Muestra	Horizonte	Profundidad	PT	Temp. Curie	C (%)	Fed (%)	Ald (%)	Feo %	Alo %	Sio %	Alo/Sio	Sio/Fe	Al+1/2Fe	Fep	Alp	Glass	pH	pH	Feo/Fed	
		cm																		
ZA050	BC	680	6	508.5	0.02	1.02	0.13	0.23	0.19	0.18	1.08889	1.5942	0.304	0.09	0.04	11.00	7.30	8.60	0.23	
ZA049	BC	690	6	-	0.02	1.02	0.13	0.23	0.19	0.18	1.08889	1.5942	0.304	0.09	0.04	11.00	7.30	8.60	0.23	
ZA048	C	700	6	-	0.03	0.80	0.08	0.26	0.16	0.17	1.03075	1.3181	0.2915	0.02	0.02	8.00	7.40	8.50	0.32	
ZA047	B11	710	7	-	0.03	0.90	0.11	0.36	0.26	0.25	1.11323	1.3863	0.443	0.04	0.15	16.00	7.50	8.10	0.40	
ZA046	B11	720	7	528.5	0.03	0.90	0.11	0.36	0.26	0.25	1.11323	1.3863	0.443	0.04	0.15	16.00	7.50	8.10	0.40	
ZA045	B12	730	7	-	0.05	1.29	0.15	0.40	0.29	0.22	1.3	1.112	0.4875	0.05	0.18	16.51	7.40	8.20	0.31	
ZA044	B12	740	7	-	0.05	1.29	0.15	0.40	0.29	0.22	1.3	1.112	0.4875	0.05	0.18	16.51	7.40	8.20	0.31	
ZA043	BC	750	7	-	0.03	0.88	0.11	0.20	0.18	0.16	1.2	1.6461	0.278	0.03	0.10	16.09	7.50	8.10	0.23	
ZA042	BC	760	7	542.5	0.03	0.88	0.11	0.20	0.18	0.16	1.2	1.6461	0.278	0.03	0.10	16.09	7.50	8.10	0.23	
ZA041	BC	770	7	-	0.03	0.88	0.11	0.20	0.18	0.16	1.2	1.6461	0.278	0.03	0.10	16.09	7.50	8.10	0.23	
ZA040	BC	780	7	-	0.03	0.88	0.11	0.20	0.18	0.16	1.2	1.6461	0.278	0.03	0.10	16.09	7.50	8.10	0.23	
ZA039	C	790	7	528.5	0.02	1.07	0.24	0.16	0.15	0.11	1.4	1.3122	0.2265	0.04	0.03	6.29	7.50	7.90	0.15	

TESIS CON
 FALLA DE ORIENTACIÓN

ANEXO 3

Algunos resultados obtenidos de los análisis magnéticos de la zona de estudio, localidad de Zacango (ZA).

Muestra	Horizonte	Profundidad	PT	Ferr Feox1.7	Alp-Alp/Sio	Fep/Feo	Alp/Alp	SioX7.14	Arenas	Limos	Arcillas
		cm				cm					
I	B	10	1A	-	-	-	-	-	-	-	-
	Bw	43	1A	-	-	-	-	-	-	-	-
II	Ah	102	1A	-	-	-	-	-	-	-	-
pt1a	Bw	115	1A	-	-	-	-	-	-	-	-
III	C	117	1A	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	119	1A	-	-	-	-	-	-	-	-
ZA038	Ah1	130	2	2.14	1.02	0.05	0.085196	4.5696	53.3	26.4	20.3
ZA037	Ah1	140	2	2.14	1.02	0.05	0.085196	4.5696	53.3	26.4	20.3
ZA036	Ah2	150	2	1.67	2.79	0.02	0.066865	1.6065	54.8	16.5	28.7
ZA035	Ah2	160	2	1.67	2.79	0.02	0.066865	1.6065	54.8	16.5	28.7
ZA034	Bw	170	2	1.27	1.04	0.04	0.057971	2.6775	49	23.2	27.8
ZA033	Bw	180	2	1.27	1.04	0.04	0.057971	2.6775	49	23.2	27.8
ZA032	Bw	190	2	1.27	1.04	0.04	0.057971	2.6775	49	23.2	27.8
ZA031	BC	200	2	1.27	1.04	0.04	0.057971	2.6775	49	23.2	27.8
ZA030	BC	210	2	1.27	1.04	0.04	0.057971	2.6775	49	23.2	27.8
ZA029	BC	220	2	1.27	1.04	0.04	0.057971	2.6775	49	23.2	27.8
ZA028	BC	230	2	0.74	1.66	0.03	0.033333	2.499	56.4	36.3	7.3
ZA027	C	240	2	0.74	1.66	0.03	0.033333	2.499	56.4	36.3	7.3
ZA026	C	250	2	0.97	1.59	0.01	0.045455	1.0353	89.5	7.9	2.6
ZA025	C	260	3	0.97	1.59	0.01	0.045455	1.0353	89.5	7.9	2.6
ZA024	Ah1	270	3	0.65	1.49	0.06	0.053571	2.5347	56.5	24.8	18.7
ZA023	Ah1	280	3	1.56	1.02	0.10	0.12069	4.284	54.9	26.1	19
ZA022	Ah1	290	3	1.56	1.02	0.10	0.12069	4.284	54.9	26.1	19
ZA021	Ah1	300	3	1.56	1.02	0.10	0.12069	4.284	54.9	26.1	19
ZA020	AB	310	3	3.00	0.97	0.03	0.071141	5.1051	51	24.5	24.5
ZA019	B	320	3	2.44	0.27	0.03	0.348485	3.3558	51.1	25	23.9
ZA018	B	330	3	2.44	0.27	0.03	0.348485	3.3558	51.1	25	23.9
ZA017	B	340	3	2.44	0.27	0.03	0.348485	3.3558	51.1	25	23.9
ZA016	B	350	3	2.44	0.27	0.03	0.348485	3.3558	51.1	25	23.9
ZA015	B	360	3	2.44	0.27	0.03	0.348485	3.3558	51.1	25	23.9
ZA014	B	370	3	2.44	0.27	0.03	0.348485	3.3558	51.1	25	23.9
ZA013	B2	380	3	1.25	0.66	0.09	0.390173	2.2848	57.3	26	16.7
ZA012	BC	390	3	0.90	1.06	0.06	0.180328	1.6779	57.5	24.9	17.6
ZA011	BC	400	3	0.90	1.06	0.06	0.180328	1.6779	57.5	24.9	17.6

TESIS CON
PALA DE ORIGEN

ANEXO 3

Algunos resultados obtenidos de los análisis magnéticos de la zona de estudio, localidad de Zacango (ZA).

Muestra	Horizonte	Profundidad	PT	Ferr Feox1.7	Alo-Alp/Sio	Fep/Feo	Alp/Alo	SioX7.14	Arenas	Limos	Arcillas
		cm									
ZA10	BC	410	3	0.90	1.06	0.06	0.180328	1.6779	57.5	24.9	17.6
ZA09	C	420	3	1.27	1.15	0.02	0.125541	1.2495	64.9	20.2	14.9
ZA08	Ahr	430	4	1.04	0.07	0.17	0.942257	2.1777	63.2	19.2	17.6
ZA07	Ah2	440	4	0.73	0.51	0.17	0.537217	1.9992	52	23.2	24.8
ZA06	Ah2	450	4	0.73	0.51	0.17	0.537217	1.9992	52	23.2	24.8
ZA05	B1	460	4	0.85	1.29	0.05	0.109859	1.7493	48.6	26.9	24.5
ZA04	B1	470	4	0.85	1.29	0.05	0.109859	1.7493	48.6	26.9	24.5
ZA03	B1	480	4	0.85	1.29	0.05	0.109859	1.7493	48.6	26.9	24.5
ZA02	B1	490	4	0.85	1.29	0.05	0.109859	1.7493	48.6	26.9	24.5
ZA01	B2	500	4	0.89	0.42	0.10	0.596774	2.1063	56.1	26	17.9
ZA074	Bt	505	5	0.43	0.19	0.17	0.820225	1.1781	48.2	24.6	27.2
ZA073	Bt	510	5	0.43	0.19	0.17	0.820225	1.1781	48.2	24.6	27.2
ZA072	Bt	510	5	0.43	0.19	0.17	0.820225	1.1781	48.2	24.6	27.2
ZA071	Bt	515	5	0.43	0.19	0.17	0.820225	1.1781	48.2	24.6	27.2
ZA070	Bt	515	5	0.43	0.19	0.17	0.820225	1.1781	48.2	24.6	27.2
ZA069	C	520	5	0.41	1.20	0.09	0.262295	1.071	55.7	22.9	21.4
ZA068	C	520	5	0.41	1.20	0.09	0.262295	1.071	55.7	22.9	21.4
ZA067	C	525	5	0.41	1.20	0.09	0.262295	1.071	55.7	22.9	21.4
ZA066	C	525	5	0.41	1.20	0.09	0.262295	1.071	55.7	22.9	21.4
ZA065	C	530	5	0.41	1.20	0.09	0.262295	1.071	55.7	22.9	21.4
ZA064	E	540	6	0.34	-1.10	0.21	2.175926	0.8211	51.6	11.9	36.5
ZA063	E	550	6	0.34	-1.10	0.21	2.175926	0.8211	51.6	11.9	36.5
ZA062	Bh1	560	6	0.36	-3.95	0.40	4.494792	1.2138	47.6	18.3	34.1
ZA061	Bh1	570	6	0.36	-3.95	0.40	4.494792	1.2138	47.6	18.3	34.1
ZA060	Bh2	580	6	0.43	-2.12	0.18	2.803922	0.9282	39.1	25	35.9
ZA059	Bh2	590	6	0.43	-2.12	0.18	2.803922	0.9282	39.1	25	35.9
ZA058	Bh3	600	6	0.44	0.63	0.28	0.358209	1.4637	37.1	22.4	40.5
ZA057	Bh3	610	6	0.44	0.63	0.28	0.358209	1.4637	37.1	22.4	40.5
ZA056	Bh3	620	6	0.44	0.63	0.28	0.358209	1.4637	37.1	22.4	40.5
ZA055	Bh3	630	6	0.44	0.63	0.28	0.358209	1.4637	37.1	22.4	40.5
ZA054	Bh3	640	6	0.44	0.63	0.28	0.358209	1.4637	37.1	22.4	40.5
ZA053	Bh3	650	6	0.44	0.63	0.28	0.358209	1.4637	37.1	22.4	40.5
ZA052	Bh3	660	6	0.44	0.63	0.28	0.358209	1.4637	37.1	22.4	40.5
ZA051	Bh3	670	6	0.44	0.63	0.28	0.358209	1.4637	37.1	22.4	40.5

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO 3

Algunos resultados obtenidos de los análisis magnéticos de la zona de estudio, localidad de Zacango (ZA).

Muestra	Horizonte	Profundidad	PT	Ferr Feox1.7	Alo-Alp/Sio	Fep/Feo	Alp/Alo	SioX7.14	Arenas	Limos	Arcillas
		cm				cm					
ZA050	BC	680	6	0.39	0.83	0.38	0.21164	1.2852	34	17.8	48.2
ZA049	BC	690	6	0.39	0.83	0.38	0.21164	1.2852	34	17.8	48.2
ZA048	C	700	6	0.43	0.90	0.09	0.097561	1.1781	70.8	15.1	14.1
ZA047	B11	710	7	0.61	0.47	0.12	0.56654	1.7493	43.5	24.4	32.1
ZA046	B11	720	7	0.61	0.47	0.12	0.56654	1.7493	43.5	24.4	32.1
ZA045	B12	730	7	0.69	0.49	0.11	0.625874	1.5708	51.6	20.8	27.6
ZA044	B12	740	7	0.69	0.49	0.11	0.625874	1.5708	51.6	20.8	27.6
ZA043	BC	750	7	0.34	0.50	0.14	0.553073	1.1424	50.9	28.1	21
ZA042	BC	760	7	0.34	0.50	0.14	0.553073	1.1424	50.9	28.1	21
ZA041	BC	770	7	0.34	0.50	0.14	0.553073	1.1424	50.9	28.1	21
ZA040	BC	780	7	0.34	0.50	0.14	0.553073	1.1424	50.9	28.1	21
ZA039	C	790	7	0.28	1.10	0.25	0.2	0.7497	75.8	12.6	11.6

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**