



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

**GÉNESIS, MORFOLOGÍA Y CLASIFICACIÓN DE
SUELOS DERIVADOS DE YESO Y CALIZA EN LOS
MUNICIPIOS DE GUADALCÁZAR, VILLA HIDALGO Y
VILLA JUÁREZ, S.L.P.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO
DE MAESTRO EN CIENCIAS (EDAFOLOGÍA)**

P R E S E N T A

**EL INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA JOSÉ
CARMEN SORIA COLUNGA**

DIRECTOR DE LA TESIS: DR. ANTONIO GUERRA DELGADO

MÉXICO, D.F.

MARZO DEL 2004



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.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

DEDICATORIA

A MI FAMILIA: TONATIUH, JORGE ARTURO Y FLORINA, POR TODOS ESOS MOMENTOS, GRANDES Y PEQUEÑOS, QUE HEMOS COMPARTIDO.

A MIS PADRES: JOSÉ CARMEN SORIA LUGO Y MA. DE JESÚS COLUNGA REYNA, POR SU APOYO EN MI FORMACIÓN.

A MIS HERMANOS: MARY, JOSE L., JUANA, MACARIO Y MARGARITA.

AL MAESTRO NICOLÁS AGUILERA HERRERA, DONDE QUIERA QUE SE ENCUENTRE, POR TODO EL APOYO RECIBIDO Y SU PACIENCIA EN MI FORMACIÓN; ME ENCUENTRO Y CONVERSACIONES CON ÉL, FUE ALGO DE LO MEJOR DE MI VIDA.

A TODOS MIS ALUMNOS Y TESISISTAS, DEL PASADO, PRESENTE Y FUTURO.

A MIS COMPAÑEROS DEL LABORATORIO DE EDAFOLOGÍA DE LA UNAM Y DE LA MAESTRIA EN EDAFOLOGÍA.

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

NOMBRE: JOSÉ CARMEN SORIA COLUNGA

FECHA: 10 MARZO 2004

FIRMA: [Firma manuscrita]

AGRADECIMIENTOS

ES DIFÍCIL, EN UN DOCUMENTO QUE CULMINA UNA SERIE DE ESFUERZOS, AGRADECER CON JUSTICIA A QUIENES TANTO TE HAN APOYADO, ASÍ QUE:

A TODA LA HUMANIDAD.

A LA UASLP, LA UNAM Y EL CSIC, POR SU CONTRIBUCIÓN EN MI FORMACIÓN.

AL DR. ANTONIO GUERRA DELGADO, POR SU AMISTAD Y APOYO ABSOLUTO, Y PORQUE HA SIDO PILAR EN LA FORMACIÓN DE DIFERENTES GENERACIONES DE EDAFÓLOGOS, EN MÉXICO Y EN ESPAÑA.

AL RECTOR DE LA UASLP, POR SU CONFIANZA Y APOYO.

AL M. C. ANDRÉS DELGADILLO PASQUALI, DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA POR SU APOYO.

AL DR. OCTAVIO CANO CORONA, DR. ADOLFO CORDERO Y AL FIS. EDILBERTO HERNÁNDEZ JUÁREZ, POR SU APOYO EN LA DIFRACTOMETRÍA DE RAYOS X.

A LA DRA. TRINIDAD ALEIXANDRE, A LA DRA. ASCENCIÓN PINILLA Y A CHARO, DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIA MEDIOAMBIENTALES DEL CSIC, POR SU APOYO Y PACIENCIA EN EL ANÁLISIS MINERALÓGICO POR PETROGRAFÍA.

AL DR. FRANCISCO VELASCO DE PEDRO, POR SU AMISTAD Y APOYO EN EL FRACCIONAMIENTO DE LA MATERIA ORGÁNICA.

A LA DRA. NORMA EUGENIA GARCÍA CALDERÓN, POR LA TRANSMISIÓN DE SUS CONOCIMIENTOS, APOYO EN EL LABORATORIO DE EDAFOLOGÍA Y POR LA REVISIÓN DEL MANUSCRITO.

A MIS SINODALES: DRA. NORMA EUGENIA GARCÍA CALDERÓN, DRA. HILDA MARÍA FLORES OLVERA, DRA. TERESA DE JESÚS REYNA TRUJILLO, DR. MIGUEL ORTÍZ OLGUÍN, DR. ANTONIO GUERRA DELGADO, DR. DAVID FLORES ROMAN, Y DR. JORGE ENRIQUE GAMA CASTRO, POR SUS VALIOSAS APORTACIONES A ESTE TRABAJO Y TRANSMISIÓN DE CONOCIMIENTOS A MI PASO POR LA UNAM.

A LA FAMILIA ROSAS-HERNÁNDEZ, EN ESPECIAL A MI CUÑADO FERMÍN.

AL DR. JOE B. DIXON, DE TEXAS A&M UNIVERSITY SYSTEM, POR SUS APORTACIONES A LA PARTE MINERALÓGICA DE ESTE DOCUMENTO.

AL DR. JAIME PORTA CASANELLAS Y AL DR. JUAN HERRERO ISERN, POR SUS APORTES Y REVISIÓN DESINTERESADA AL BORRADOR DEL PRESENTE TRABAJO.

A LA FAMILIA AGUILERA-TRELLES, EN ESPECIAL A DOÑA CAROLINA.

CONTENIDO

	PÁGINA
INDICE	1
RESUMEN	11
I. INTRODUCCIÓN	12
II. OBJETIVOS	13
III. REVISION DE LITERATURA	17
3.1.Generalidades	18
3.2. Génesis de los suelos de zonas áridas	19
3.3. Morfología de los suelos de zonas áridas	22
3.4. Clasificación de los suelos de zonas áridas	30
3.5. Estudio del medio físico	30
3. 5.1. Climatología	30
3.5.2. Fisiografía	32
3.5.3. Geología	35
3.5.3.1. Área Villa Juárez	36
3.5.3.1.1 Estratigrafía	36
3.5.3.1.2. Rocas ígneas	37
3.5.3.2. Área El Coyote-La Pólvora	37
3.5.3.2.1. Estratigrafía	38
3.5.3.2.2. Rocas ígneas	38
3.5.4. Vegetación	39
3.5.4.1. Matorral desértico micrófilo	41
3.5.4.2. Matorral desértico rosetófilo	46

IV. MATERIALES Y METODOS	49
4.1. De campo	49
4.1.1. Ubicación del área de estudio	49
4.1.2. Muestreo de suelos	49
4.2. Determinaciones de laboratorio	52
4.2.1. Determinaciones físicas	52
4.2.2. Determinaciones químicas	53
4.2.3. Determinaciones mineralógicas	54
4.2.4. Fraccionamiento de la materia orgánica	57
4.2.5. Determinaciones microbiológicas	57
4.2.6. Análisis estadístico	58
4.2.7. Taxonomía de suelos	58
V. RESULTADOS	59
5.1. Descripción Morfológica y Resultados Analíticos de los Perfiles Estudiados	59
5.2. Análisis Granulométrico y Petrográfico	83
5.3. Difractometría de Rayos X	101
5.4. Fraccionamiento de la Materia orgánica	116
5.4. Análisis Microbiológico	118
5.5. Análisis Estadístico	118
VI. DISCUSION	122
6.1 Suelos yesosos	122
6.2 Suelos calcáreos	139
6.3 Clasificación de los suelos yesosos	150
6.4 Clasificación de los suelos calcáreos	154

6.5 Posibilidades de uso	156
VII. CONCLUSIONES	165
VIII. BIBLIOGRAFIA	167

INDICE DE FIGURAS

PÁGINA

- Figura 1.** Ubicación de los sitios de muestreo de los suelos yesosos y calcáreos. A. Perfiles 1, 2, 3, 4, 5, 9 y 10. B. Perfil 6. C. Perfiles 7 y 8. 50
- Figura 2.** Minerales ligeros presentes en la fracción arena del horizonte A, perfil ocho, El Coyote, Villa Hidalgo, S.L.P. Masas de carbonatos (ca) y sulfatos, principalmente yeso (sul). Aproximadamente 180 X. 90
- Figura 3.** Minerales presentes en la fracción limo medio del horizonte Ap del perfil cinco, El Tejocote, Villa Juárez, S.L.P. Contraste de fase; i. r. = 1.54. Carbonatos (ca) en masas, yeso (ye) y fitolitos (fi). Aproximadamente 600 X. 90
- Figura 4.** Minerales presentes en la fracción limo grueso del horizonte Ap del perfil seis, La Pólvora, Guadalcázar, S.L.P. Predomina el vidrio volcánico (vv). Aproximadamente 130 X. 93
- Figura 5.** Minerales en la fracción limo grueso del horizonte A del perfil seis, La Pólvora, Guadalcázar, S.L.P. Presencia de vidrio volcánico (vv), cuarzo (cu), feldespatos (fe) y fitolitos (fi). Contraste de fase; i. r. = 1.54. Aproximadamente 190 X. 93
- Figura 6.** Minerales presentes en la fracción limo grueso el horizonte A del perfil seis, La Pólvora, Guadalcázar, S.L.P. Presencia de cuarzo (cu), calcita (ca), fitolitos (fi), yeso (ye) y vidrio volcánico (vv). Contraste de fase; i. r. = 1.54. Aproximadamente 600 X. 94
- Figura 7.** Minerales presentes en la fracción limo medio del horizonte Bw2 del perfil seis, La Pólvora, Guadalcázar, S.L.P. Predominan el cuarzo (cu) redondeado y la calcita (ca); presencia de de yeso (ye). Contraste de fase; i. r. = 1.54. Aproximadamente 150 X. 94
- Figura 8.** Minerales presentes en la fracción limo medio del horizonte Bw2 del perfil seis, La Pólvora, Guadalcázar, S.L.P. Predominan el cuarzo (cu) redondeado y la calcita (ca) Contraste de fase; i. r. = 1.54. Aproximadamente 150 X. 97
- Figura 9.** Minerales presentes en el horizonte Cy del perfil ocho, El Coyote, Villa Hidalgo, S.L.P. Se trata de agregados de limo más arcilla. Presencia de yeso (ye) y carbonatos (ca). Muestra sin lavar. Aproximadamente 190 X. 97
- Figura 10.** Minerales presentes en la fracción limo grueso del horizonte Ap1 del perfil nueve, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P. Abundan los carbonatos (ca), en masa y alargados; presencia también de fitolitos (fi). Nícoles paralelos; i. r. = 1.54. Aproximadamente 150 X. 99
- Figura 11.** Minerales presentes en la fracción limo grueso del horizonte Ap1 del perfil nueve, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P. Abundan los carbonatos (ca), en masa y

alargados; presencia también de fitolitos (fi). Nícoles cruzados; i. r. = 1.54.
Aproximadamente 150 X. 99

Figura. 12. Minerales de la fracción limo fino del horizonte Ap1 del perfil nueve, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P. Aumenta el contenido de cuarzo (cu), se presentan también la calcita (ca) en masas y los fitolitos (fi). Contraste de fase; i. r. = 1.54. Aproximadamente 900 X. 100

Figura. 13. Minerales presentes en el limo + arcilla del horizonte Cy1 del perfil nueve, La Borreguita. Se presentan masas de carbonatos (ca), yeso (ye) y un cristal bien definido de celestita (ce). Aproximadamente 190 X. 100

Figura. 14. Difractograma de suelo total del perfil cinco, El Tejocote, Villa Juárez, S.L.P. Predomina la calcita en el horizonte Ap y el yeso en los horizontes By y C. Las distancias interplanares están dadas en Å. 104

Figura. 15. Difractograma de la fracción limo medio del horizonte Ap del perfil seis, La Pólvara. Abunda el cuarzo y la calcita; presencia de algunos feldespatos. Las distancias interplanares están dadas en Å. 105

Figura. 16. Difractograma de la fracción limo fino del horizonte Ap, perfil seis, La Pólvara, Villa Juárez, S.L.P. Predominio de calcita y cuarzo; algunos feldespatos y montmorillonita. 105

Figura. 17. Difractograma de la fracción arcilla del horizonte Ap del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Predomina la montmorillonita. Las distancias interplanares en Å. 106

Figura. 18. Difractograma de suelo total del horizonte A del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Predomina la calcita, seguida del cuarzo. Las distancias interplanares están dadas en Å. 106

Figura. 19. Difractograma de la fracción limo grueso del horizonte A del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Predominancia del cuarzo; algunos feldespatos. Las distancias interplanares están dadas en Å. 107

Figura. 20. Difractograma de la fracción limo medio del horizonte A del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Las distancias interplanares están dadas en Å. 107

Figura. 21. Difractograma de la fracción limo fino del horizonte A del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Predomina la calcita; presencia de algunos feldespatos y mica. Las distancias interplanares están dadas en Å. 108

Figura. 22. Difractograma de la fracción arcilla del horizonte A del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Predomina la montmorillonita. Las distancias interplanares están dadas en Å. 108

- Figura. 23. Difractograma de polvo de la muestra de suelo total del horizonte Bw1 del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Abunda la calcita; presencia de montmorillonita. Distancias interplanares en Å. 109**
- Figura. 24. Difractograma de polvo, de suelo total de la muestra del horizonte Bw2, perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Predominan calcita y cuarzo. Distancias interplanares en Å. 109**
- Figura. 25. Difractograma de polvo, fracción limo grueso, horizonte Bw2, perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Predominan cuarzo y feldespatos. Distancias interplanares en Å. 110**
- Figura. 26. Difractograma de polvo de la fracción limo medio horizonte Bw2, del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Predominan el cuarzo y la calcita. Distancias interplanares en Å. 110**
- Figura. 27. Difractograma de polvo de la fracción limo fino del horizonte Bw2, perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Predomina la calcita. Distancias interplanares en Å. 111**
- Figura. 28. Difractograma de polvo de la fracción arcilla del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. La calcita y la montmorillonita, las predominantes. Distancias interplanares en Å. 111**
- Figura. 29. Difractograma de polvo del suelo total del horizonte Ap1 del perfil nueve, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P. Predominancia de calcita y cuarzo. Distancias interplanares en Å. 113**
- Figura. 30. Difractograma de la fracción limo fino del horizonte Ap1 del perfil nueve, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P. Predominancia de la calcita; presencia de débiles señales de montmorillonita. Distancias interplanares en Å. 113**
- Figura. 31. Difractograma de polvo de la fracción arcilla del horizonte Ap1 del perfil nueve, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P. Predominan la calcita y la montmorillonita. Distancias interplanares en Å. 114**
- Figura. 32. Difractograma de polvo del suelo total del horizonte Ap2 del perfil nueve, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P. Predomina la calcita y el yeso. Distancias interplanares en Å. 114**
- Figura. 33. Difractograma de polvo del suelo total del horizonte Cy1 del perfil nueve, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P. Predomina el yeso; débiles señales de calcita. Distancias interplanares en Å. 115**
- Figura. 34. Difractograma de polvo del suelo total del horizonte A, perfil diez, Santo Domingo, Villa Juárez, S.L.P. Predominancia del yeso y la calcita; débiles señales de montmorillonita. Distancias interplanares en Å. 115**

- Figura. 35. Datos de precipitación y temperatura tomados de la estación “Villa Juárez”, la más cercana a los suelos perfiles yesosos (Tomados de García, 1988).** 124
- Figura. 36. Distribución de la materia orgánica en los suelos yesosos, indicando el porcentaje por horizonte. Los porcentajes más elevados se presentan en los horizontes A.** 124
- Figura. 37. Aspecto de la vegetación dominante en el área de los suelos yesosos durante la época de lluvias. 1. *Acacia Berlandieri*, 2. *A. schaffneri* y 3. *Dalea bicolor*.** 125
- Figura. 38. Vegetación de los perfiles yesosos. En el estrato bajo, domina *Hechtia glomerata* (1), que deposita una gran cantidad de MO al descomponerse sus raíces; en el estrato arbustivo, predomina *Acacia Berlandieri* (2).** 125
- Figura. 39. Distribución del ion calcio en los suelos yesosos estudiados. La distribución es más o menos uniforme, excepto en el horizonte Cy del perfil diez (Santo Domingo), donde es la mitad, aproximadamente, de la media.** 126
- Figura. 40. Distribución del ion sulfato en los suelos yesosos. Sigue una tendencia similar al calcio; la concentración más baja se presenta en el horizonte A, del perfil ocho (El Coyote).** 126
- Figura. 41. Distribución de los carbonatos en los perfiles yesosos. Como regla general se encuentran concentrados en el horizonte genético superior.** 129
- Figura. 42. Distribución del yeso en los perfiles estudiados. La acumulación se presenta en los horizontes subsupeciales.** 129
- Figura. 43. Datos de precipitación y temperatura de la estación “El Huizache” la más cercana a los perfiles calcáreos (Tomados de García, 1988).** 142
- Figura 44. Granulometría del Perfil seis, La Pólvora. Existe un aumento de la fracción fina (<2 μm) al aumentar la profundidad del suelo. Los tamaños de los separados están dados en μm .** 142
- Figura. 45. Distribución de los carbonatos en los perfiles calcáreos. La acumulación es evidente en los horizontes B y C, sobre todo del perfil siete, El Coyote.** 144
- Figura. 46. Distribución de los iones solubles, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- y HCO_3^- , en el perfil seis, La Pólvora. La acumulación se presenta en los horizontes B.** 144
- Figura. 47. Relación entre la CE y la concentración de los iones solubles en los perfiles calcáreos, tomada como la suma de los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} .** 149

- Figura 48.** La vegetación dominante en los perfiles calcáreos son matorrales de *Larrea tridentata* (gobernadora), con algunos otros elementos de hojas o folíolos pequeños. 149
- Figura 49.** Datos climáticos que determinan el régimen de humedad de los suelos yesosos, de acuerdo al segundo sistema de Thornthwaite. El régimen de humedad es arídico, dado que en ninguno de los meses se presenta recarga de humedad y en todos hay déficit de la misma. La precipitación y evapotranspiración están dadas en mm, la temperatura en °C. 152
- Figura 50.** Régimen de humedad de los suelos calcáreos, tomando los datos climáticos de la estación más cercana (El Huizache). En todos los meses existe déficit de humedad, por lo que el régimen es arídico. Basado en el segundo sistema de Thornthwaite. 155
- Figura 51.** Relaciones existentes entre diferentes parámetros medidos en los suelos yesosos. El yeso varía de manera inversa al contenido de carbonatos, a); la CIC está en función de la MO, b); y, existe una relación directa entre el contenido de carbonatos y la densidad aparente c). 159
- Figura 52.** Relaciones entre algunos de los parámetros medidos en los suelos yesosos. La cantidad de carbonatos está en función inversa a la profundidad, a); los cloruros y el calcio soluble tienen una relación directa, b); lo mismo que la arcilla y la MO, c). 161
- Figura 53.** Relaciones existentes en los suelos calcáreos entre la concentración iónica y la CE a); la CE, a su vez, está determinada en gran medida por el contenido de sodio soluble, b); la MO puede disminuir el riesgo de toxicidad por sodio c). 163

INDICE DE TABLAS

	PAGINA
Tabla 1. Descripción del Perfil 1, El Tejocote, Villa Juárez, S.L.P.	61
Tabla 2. Resultados analíticos del perfil No. 1, El Tejocote, Villa Juárez, S.L.P.	62
Tabla 3. Descripción morfológica del perfil No. 2, Las Enramadas, Villa Juárez, S.L.P.	63
Tabla 4. Resultados analíticos del perfil No. 2, Las Enramadas, Villa Juárez, S.L.P., muestreado por horizontes.	64
Tabla 5, Descripción morfológica del perfil No. 3, La Cardona, Villa Juárez, S.L P.	65
Tabla 6. Resultados analíticos del perfil No. 3, La Cardona, Villa Juárez, S.L.P., muestreado por horizontes y a cada 10 cm.	66
Tabla 7. Descripción del perfil 4, Las Enramadas, Villa Juárez, S.L.P.	67
Tabla 8. Resultados analíticos del perfil No. 4, Las Enramadas, Villa Juárez, S.L.P.	68
Tabla 9 Descripción del perfil 5, El Tejocote, Villa Juárez, S.L.P.	69
Tabla 10. Resultados analíticos del perfil No. 5, El Tejocote, Villa Juárez, S.L.P.	70
Tabla 11. Descripción del perfil 6, La Pólvora, Guadalcázar, S.L.P.	72
Tabla 12. Resultados analíticos del perfil No. 6, La Pólvora, Guadalcázar, S.L.P., muestreado por horizontes.	73
Tabla 13. Resultados analíticos del perfil No. 6, La Pólvora, Guadalcázar, S.L.P., muestreado a cada 10 cm.	74
Tabla 14 Descripción del perfil 7, El Coyote, Villa Hidalgo, S.L.P.	75
Tabla 15. Resultados analíticos del perfil No. 7. El Coyote, Guadalcázar, S.L.P.	76
Tabla 16. Descripción del perfil 8 , El Coyote, Villa Hidalgo, S.L.P.	77
Tabla 17. Resultados analíticos del perfil No. 8, El Coyote, Villa Hidalgo, S.L.P., muestreado por horizontes.	78
Tabla 18. Descripción del perfil 9, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P.	79
Tabla 19. Resultados analíticos del perfil No.9, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P., muestreado por horizontes.	80

Tabla 20. Descripción del perfil 10, Santo Domingo, Villa Juárez, S.L.P.	81
Tabla 21. Resultados analíticos del perfil No. 10 Santo Domingo, Villa de Juárez, S.L.P.	82
Tabla 22. Granulometría de los perfiles estudiados, en porcentajes.	84
Tabla 23. Porcentajes de las fracciones pesada y ligera de la arena.	84
Tabla 24. Análisis mineralógico de la fracción ligera de la arena, en porcentajes.	86
Tabla 25. Análisis mineralógico de la fracción pesada de la arena.	86
Tabla 26. Análisis mineralógico de las fracciones limo grueso (50-20 μm), limo medio (20-8 μ) y limo fino (8-2 μ) de los perfiles seleccionados.	89
Tabla 27. Fraccionamiento de la materia orgánica de cuatro perfiles seleccionados.	117
Tabla 28. Valores del coeficiente de determinación R^2, ecuación de regresión y valor de t de las variables de los suelos yesosos que tuvieron correlación significativa.	120
Tabla 29. Valores del coeficiente de determinación R^2, ecuación de regresión y valor de t de las variables de los suelos calcáreos que tuvieron correlación significativa.	121

RESUMEN

Es necesario conocer las características de los de zonas áridas suelos, desde el origen mismo, debido a que ocupan una extensión considerable, tanto al nivel mundial como nacional, para generar recomendaciones en su uso y manejo, ya que una gran población, sobre todo de países en vías de desarrollo, habita en estas áreas. Son necesarios también los estudios edáficos para entender mejor los endemismos vegetales que ahí se presentan.

Con el objeto de conocer el origen, características morfológicas, ubicarlos taxonómicamente y generar recomendaciones para el uso y manejo de los mismos, se estudiaron 10 perfiles de suelos, siete en una zona con yeso (perfiles uno, dos, tres, cuatro, cinco, nueve y diez) y tres en una calcárea (perfiles seis, siete y ocho), de los municipios de Guadalcázar, Villa Hidalgo y Villa Juárez, San Luis Potosí. El muestreo se llevó a cabo por horizontes y en algunos casos, a cada 10 cm.

En la génesis de los suelos tanto calcáreos como yesosos, han estado actuando fuertemente fenómenos de aerotransportación. Los minerales que más sufren este fenómeno son la calcita, el cuarzo y el yeso. En la polimerización de las sustancias húmicas, los materiales yesosos y calcáreos juegan un papel significativo. Los aportes de materia orgánica, en la mayor parte de los casos, provienen de las raíces y no de la parte aérea de las plantas que ahí prosperan.

Los suelos yesosos de Las Enramadas, La Cardona y El Tejocote (Perfil uno) se clasificaron como Haplogypsis, Subgrupo Usticos; El Tejocote (Perfil cinco), El Coyote y La Borreguita se clasificaron como Gypsic Calcistoll. Dentro del nivel de Familia todos, excepto El Coyote, que se ubicó como esquelético, se clasificaron como franco, en algunos casos fino y en otros grueso, gypsicos y térmicos, excepto el diez (Santo Domingo) que se ubicó como hipertérmico. Se identificaron además las series La Borreguita (perfil nueve) y El Tejocote (perfil cinco). De los suelos calcáreos, el del perfil seis se clasificó como Haplocalcid Típico, arcilloso, cálcico, térmico, denominándose Serie La Pólvora y el del perfil siete como Petrocalcid Cálcico, limoso grueso, carbonático, térmico, Serie El Coyote.

Las posibilidades de utilización de estos suelos, yesosos y calcáreos, se enfocarían inicialmente a la recuperación de la vida silvestre, ya que su utilización pecuaria o agrícola queda un tanto restringida por la falta de estabilidad estructural y por la mineralización excesiva que se causaría a las fracciones húmicas, una vez abiertos a las actividades agrícolas o pecuarias, sobre todo a las primeras.

I. INTRODUCCION

El estudio de los recursos naturales con que un país cuenta es de vital importancia para el desarrollo de su economía. Dentro de estos recursos destaca el suelo, ya que el nivel de fertilidad tendrá necesariamente un impacto decisivo en el desarrollo de los cultivos que sobre él se practiquen. Aquel país que tenga satisfechas sus necesidades alimentarias será un pueblo fuerte, porque no dependerá para subsistir de lo que otros cosechen.

Los Aridisoles ocupan una extensión considerable en todos los continentes, excepto en Europa y Antártida. En nuestro país quedan incluidos, principalmente, en grandes extensiones cubiertas por los desiertos Sonorense y Chihuahuense; dentro de este último se encuentra ubicado el estado de San Luis Potosí. Los Aridisoles existen también en forma aislada en otras partes de la república, como en el caso de los estados de Puebla y Oaxaca.

Una de las características de los Aridisoles es su régimen de humedad, que es arídico. Otras características son la presencia de un epipedón ócrico y de horizontes subsuperficiales de diagnóstico como el cálcico, petrocálcico, gypsico, petrogypsico, duripán, nátrico o un horizonte argílico. Se presentan en una amplia diversidad de geoformas y litologías. Son comunes sobre materiales del inicio del pleistoceno o más antiguos, lo cual sugiere que sus horizontes de diagnóstico requieren de un tiempo considerable para formarse (Nettleton y Peterson, 1983).

El estado de San Luis Potosí tiene una superficie de aproximadamente 62,000 km², de éstos, poco más de la mitad caen dentro de la definición de zona árida o semiárida, con una precipitación media anual que se encuentra por debajo de los 600 mm. En las zonas áridas y semiáridas de nuestro país y especialmente en el estado de San Luis Potosí, no se han desarrollado tecnologías o no se aplican con suficiente eficiencia en el manejo, aprovechamiento

y conservación del suelo. Condiciones climáticas como son precipitación escasa y mal distribuida durante la época coincidente con temperaturas favorables para el desarrollo de los cultivos y una evapotranspiración elevada, impiden la aplicación de las técnicas agrícolas que son útiles en otros ambientes. Solamente prospera aquella agricultura que sea de riego o la vegetación nativa que está adaptada a esas bajas condiciones de humedad, con modificaciones en sus hojas, profundidad radicular, órganos de almacenamiento más especializados, etc. Las actividades pecuarias se enfocan principalmente al desarrollo de la ganadería ovina y caprina; en menor escala se desarrolla la ganadería bovina y equina, dadas las condiciones de falta de agua y a la carga animal que pueden soportar estos suelos.

Debido al régimen de humedad, a la geomorfología y a los materiales que les dan origen, algunos suelos de las zonas áridas y semiáridas del estado, presentan acumulaciones de carbonatos, yeso y sales más solubles que el yeso.

En el caso de los carbonatos, se presentan cementados o sin cementar, dando origen a los horizontes cálcico y petrocálcico. Esto representa en ciertos casos severas restricciones para su uso agrícola, e inclusive pecuario, ya sea por el impedimento físico que representan las capas endurecidas, llamadas localmente caliche, o por las restricciones en la nutrición vegetal al precipitar algunos de los elementos esenciales para la planta como el hierro y el fósforo.

Los suelos con yeso son frecuentes en el estado, ya sea formados a partir de lutitas yesosas, como en el caso de la formación Guaxcamá, o lacustres y con acumulación de yeso secundario como en el caso de la formación La Borreguita; estas dos formaciones se encuentran en el municipio de Villa Juárez. Derivados de yesos de origen lagunar, pero de menor espesor que el de La Borreguita, se encuentran algunos suelos de los municipios de Cárdenas, Cerritos, Cedral, Ciudad del Maíz, Guadalcázar, Matehuala, Rioverde, Vanegas y Villa de Guadalupe, cubriendo una

franja que corre del centro hacia el noroeste del estado, cubriendo una superficie mayor a las 100,000 hectáreas (INEGI, 1985).

Al igual que los suelos calcáreos, los suelos yesosos presentan limitaciones para su uso. Se han considerado como marginales para la producción agrícola por su baja capacidad de retención de humedad y nutrientes, la tendencia a colapsarse y a corroer el hierro y el concreto (Van Alphen y De los Ríos, 1971). Sin embargo, estos suelos coinciden con áreas densamente pobladas en el mundo, donde se hace necesaria una mayor y atención y estudios edáficos, si se quiere obtener alimento y otros satisfactores de estos suelos (FAO, 1990). La percepción de corrosión de las estructuras conductoras del agua de riego por los suelos y aguas ricos en sulfatos, está cambiando con el uso de sistemas de riego presurizados y de los plásticos (Herrero y Porta, 2000).

Existen otros puntos de interés en el estudio de los suelos yesosos, ya que en algunas áreas de México, particularmente en el estado de San Luis Potosí, son utilizados en la construcción de casas-habitación, con el nombre de “terrón” o “cuartón”. No menos importante es el enfoque ecológico que puede darse a este tipo de investigaciones, ya que por una parte, los suelos con yeso soportan ecosistemas específicos y mantienen ciertos tipos de endemismos vegetales (Meyer, 1980; Valdés y Flores, 1983; Herrero y Porta, 2000) y por otra, junto con los suelos calcáreos funcionan como un reservorio de carbono, evitando en cierta medida el aumento del dióxido de carbono en la atmósfera. Se estima que los suelos contienen 947 Pg de carbono inorgánico (CIS), del cual 19.8% se encuentra en los subórdenes Calcids y Gypsid (Eswaran *et al.*, 2000).

Se han llevado a cabo otros estudios en los suelos yesosos y calcáreos del estado de San Luis Potosí. Algunos de estos han estado enfocados a la génesis y morfología, en los municipios de Matehuala y Villa de Guadalupe (Grande, 1967); aproximadamente en la misma zona Gómez (1978), estudió algunas interacciones yeso-pastizal y Daunitch *et al.*, (1976) estudiaron la

capacidad de uso y manejo de los suelos yesosos del valle Huizache-Matehuala. En el presente trabajo se abordará la génesis, morfología y clasificación de los suelos yesosos y calcáreos de la parte norte de los municipios de Villa Hidalgo y Guadalcázar, así como los suelos yesosos del oriente de Villa Juárez, tomando en cuenta que los estudios de génesis, morfología y clasificación de los suelos, proveen de información precisa de ciertos parámetros que necesariamente tendrían que tomarse en cuenta para el manejo y conservación del recurso, tratando también de contribuir un poco a la resolución de los problemas agrícolas que aquejan a los habitantes de esta región.

II. OBJETIVOS

Generales:

- Determinar la génesis, morfología y clasificación de los suelos derivados de yeso y caliza en los municipios de Guadalcázar, Villa Hidalgo y Villa Juárez, San Luis Potosí.
- Generar recomendaciones aplicables al uso y manejo adecuado de los suelos de la zona.

Particulares:

- Determinar las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los suelos estudiados.
- Determinar las diferentes fracciones de la materia orgánica de perfiles representativos del área estudiada.
- Identificar las especies vegetales perennes-arbustivas representativas en las áreas cercanas a los perfiles estudiados y relacionarlas con las propiedades de los suelos.
- Realizar análisis estadísticos tendientes a correlacionar las diferentes variables en estudio.

Con base a lo anterior se plantean las siguientes hipótesis:

- El régimen de humedad arídico, la vegetación y el material de partida condicionan la morfología, génesis, manejo y uso de las áreas en estudio de los municipios de Guadalcázar, Villa Hidalgo y Villa Juárez, San Luis Potosí.
- El uso del suelo de las áreas en estudio de los municipios de Guadalcázar, Villa Hidalgo y Villa Juárez, San Luis Potosí, está condicionado por la presencia de yeso y carbonatos en los suelos.

II. OBJETIVOS

Generales:

- Determinar la génesis, morfología y clasificación de los suelos derivados de yeso y caliza en los municipios de Guadalcázar, Villa Hidalgo y Villa Juárez, San Luis Potosí.
- Generar recomendaciones aplicables al uso y manejo adecuado de los suelos de la zona.

Particulares:

- Determinar las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los suelos estudiados.
- Determinar las diferentes fracciones de la materia orgánica de perfiles representativos del área estudiada.
- Identificar las especies vegetales perennes-arbustivas representativas en las áreas cercanas a los perfiles estudiados y relacionarlas con las propiedades de los suelos.
- Realizar análisis estadísticos tendientes a correlacionar las diferentes variables en estudio.

Con base a lo anterior se plantean las siguientes hipótesis:

- El régimen de humedad arídico, la vegetación y el material de partida condicionan la morfología, génesis, manejo y uso de las áreas en estudio de los municipios de Guadalcázar, Villa Hidalgo y Villa Juárez, San Luis Potosí.
- El uso del suelo de las áreas en estudio de los municipios de Guadalcázar, Villa Hidalgo y Villa Juárez, San Luis Potosí, está condicionado por la presencia de yeso y carbonatos en los suelos.

III. REVISION DE LITERATURA

3.1 Generalidades.

Es importante el conocimiento que se pueda tener de las zonas áridas y semiáridas de México, y aunque no es posible contar con cifras exactas respecto a la extensión, delimitación y definición precisa en nuestro país, debido a las discrepancias entre los especialistas, ya que se mencionan entre 90-110 millones de hectáreas (Villa, 1980; Aguilera, 1989), nadie puede negar que éstos sistemas tienen una importancia fundamental para el desarrollo regional y nacional.

Las características diagnósticas de los Aridisoles se pueden encontrar en sus horizontes de diagnóstico tales como un horizonte gypico o petrogypico, un horizonte cámbico, o un horizonte cálcico o petrocálcico, o un duripán, o un horizonte nátrico o un argílico o un horizonte sálico (Nettleton y Peterson, 1983; USDA-NRCS, 1999).

Aún dentro de las mismas zonas áridas existen diferencias morfológicas en los perfiles de suelos encontrados en ellas. Características tales como una profundidad mayor, pueden encontrarse en aquéllos donde la aridez no es tan extrema como donde sí lo es (Domínguez y Aguilera, 1981).

Por otra parte, puede decirse que no todos los suelos de zonas áridas son Aridisoles, ya que se han reconocido Entisoles que están asociados a zonas de escasa precipitación pluvial y elevada evapotranspiración. En los desiertos pueden encontrarse los siguientes grandes grupos: Torrifluvents, Torriorthents y Torripsaments (Nettleton y Peterson, 1983).

Los Aridisoles están también relacionados con ciertos patrones de vegetación. Aunque se escribe mucho sobre la correlación clima y vegetación y el paralelismo entre los tipos de vegetación adaptados a las condiciones de aridez, poco se conoce sobre las relaciones suelo-planta y menos conocimiento se tiene sobre la relación suelo-cactáceas (Aguilera, 1970).

encontradas en el suelo además de la forma hemidrato o basanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) sobre todo en climas extremadamente áridos (Murray, 1964; Nelson *et al*, 1982), por hidratación la anhidrita puede ser alterada a yeso (Helfer, 1970).

Como mineral, el yeso es de apariencia granular, fibrosa o terrosa. Tiene un crucero perfecto y dos imperfectos, de lustre aperlado vítreo, dureza de 2, peso específico 2.3; usualmente blanco o incoloro; transparente o translúcido; las placas de clivaje son elásticas (Bateman, 1974; Longwell y Flint, 1983; Bush y Tasa, 1993).

En la forma y distribución del yeso en el suelo intervienen los siguientes factores: a) Oxidación, que no es muy común en zonas áridas, b) Disolución y precipitación, y c) Lixiviación y acumulación (Grande, 1977). La forma lenticular es la más común del yeso en los suelos de zonas áridas y semiáridas.

En el suelo las partículas de yeso son del tamaño del limo o de la arcilla gruesa; conforme aumenta la profundidad del perfil, los cristales pueden ser del tamaño de las arenas o inclusive más grandes (Nelson, 1982).

3.2 Génesis de los suelos de zonas áridas

En cualquier ciencia natural, el punto de partida del objeto de estudio es de importancia crucial. En el caso del suelo, Dokuchaev (1965) y Jenny (1941), establecieron que los factores formadores son: roca, clima organismos, topografía y tiempo. La génesis de los suelos consiste esencialmente de dos principales tipos de fenómenos (Simonson, 1978; Pedro, 1983): (1) los fenómenos correspondientes al intemperismo de los minerales primarios y la liberación de varios elementos y su posible recombinación para dar minerales estables en el ambiente de intemperización o en el suelo; (2) fenómenos desarrollados durante o después del intemperismo

relacionados al arreglo de los constituyentes del suelo, su organización y redistribución dentro de los horizontes pedogenéticos.

En la formación y desarrollo del suelo es difícil distinguir entre el intemperismo de las rocas y la formación del suelo; solamente se puede advertir por la presencia de mayor actividad biológica en este último (Marshall, 1977).

Para explicar la génesis del suelo se han utilizado modelos, que de acuerdo al grado de cálculos, complejidad y niveles jerárquicos, se han dividido en cualitativos y cuantitativos. Los modelos cualitativos iniciales han sido útiles para el propósito del reconocimiento de los suelos para describir la ubicación de estos cuerpos tridimensionales en el paisaje. En los países donde el reconocimiento de suelos está muy avanzado, son más útiles los modelos cuantitativos para obtener datos medibles y confiables (Hoosbeek y Bryant, 1992).

Se pueden utilizar técnicas mineralógicas, entre otras, obteniendo los datos de los cambios *in situ* en los minerales del tamaño de las arenas, para obtener la edad relativa del suelo (Soller y Owens, 1992); así como en las transformaciones de ciertos minerales en la neoformación de las arcillas (Jongmans *et al.*, 1991).

Con fin de dar al suelo el manejo más adecuado, deben considerarse simultáneamente las tasas de erosión y formación del mismo; un ecosistema sustentable deberá tener un balance dinámico entre la formación del suelo y su erosión. Se estima que el suelo, a escala mundial, se forma a razón de $695 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$; en tanto que la tasa de erosión es de $906 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Wakatsuky y Rasyidin, 1992).

Las primeras especulaciones teóricas sobre la formación de los suelos de zonas áridas establecían que la carencia de humedad limitaba el intemperismo químico y que la formación y translocación de arcilla no podrían ocurrir. Sin embargo, a mediados del siglo XX se demostró la amplia

ocurrencia de estos suelos, desarrollados fuertemente desde el punto de vista pedogenético (Nettleton y Peterson, 1983).

Los procesos edafogénicos identificados en los Aridisoles presentan los siguientes rasgos, como consecuencia del medio:

- El intemperismo es poco intenso, por lo que los suelos presentan componentes cuyo estado es poco intenso, y que corresponde a los estados 1 y 2 propuestos por Jackson y Sherman (1953).
- Las reacciones químicas se llevan a cabo con lentitud debido a la escasez de agua para desarrollarse.
- La actuación de los procesos, que se deducen a partir de los rasgos morfológicos observados, en algunos casos pueden no ser compatibles con los factores formadores actuales sino con procesos paleoclimáticos (Porta *et al.*, 1999).

Los procesos formadores de los Aridisoles son muy similares a aquellos que están actuando en los suelos de zonas húmedas, ya que están incluidos procesos de eluviación e iluviación (Fanning y Fanning 1989), aunque de efectos limitados (Buol, 1965) y recurrente desecación (Nettleton y Peterson, 1983). Existe típicamente eluviación lateral de sales en los salids, eluviación e iluviación de CaCO_3 en los Calcids, eluviación e iluviación de sílice en los Durids e eluviación de carbonatos y minerales más solubles en los cambids. Desde la perspectiva de los procesos, los salids pueden ser considerados como aquellos suelos afectados fuertemente por la salinización, los grandes grupos nátricos por la salinización y la sodificación, los Argids por lixiviación y los suelos con horizontes cálcico o petrocálcico por calcificación, pero sin la formación de un epipedón mólico debido a la aridez.

En el caso de los suelos con yeso o carbonatos, una de las principales características que influyen en su génesis es su relativa baja solubilidad ($\sim 2.6 \text{ g L}^{-1}$ a 25°C , en el caso del yeso),

especialmente donde existen afloramientos de estos materiales solos o combinados (Herrero y Porta, 2000).

Florea y Al-Joumaa (1998), estudiando algunos suelos yesosos de las planicies del Eufrates, en Siria, encontraron las siguientes características aplicables a la edafogénesis: (a) el material parental ha estado sujeto a una baja lixiviación; (b) una ligera bioacumulación de humus y nutrientes en un delgado horizonte A; (c) una lixiviación de las sales solubles de la parte superior del suelo, excepto en los suelos situados en áreas pobremente drenadas, donde puede tomar lugar una acumulación superficial de sales; (d) una ligera migración del yeso y su acumulación en un horizonte subsuperficial, algunas veces con cementación; (e) una carencia de migración del CaCO_3 debido, por una parte, a la baja precipitación pluvial, y por otra, a la disminución de la solubilidad del CaCO_3 en presencia del yeso (efecto del ion común).

3.3 Morfología de los suelos de zonas áridas.

Desde la escuela rusa, liderada por Docuchaev, los suelos fueron considerados como cuerpos naturales independientes, cada uno de ellos con una morfología particular, resultante de la combinación del clima, material orgánico, materiales parentales, relieve y edad de las geoformas. La morfología de cada suelo, expresada por sus horizontes en un corte vertical, refleja los efectos combinados de un particular grupo de factores genéticos responsables de su desarrollo (USDA-NCRS-NCSS, 1999).

Todos los Aridisoles tienen un epipedón ócrico, que no es ni duro ni masivo cuando está seco. Generalmente varía su morfología de acuerdo a condiciones locales tales como material parental, microtopografía, estabilidad de la geoforma, regímenes de humedad marginales a los ústicos y xéricos y a la eventual localización de plantas perennes individuales.

Casi siempre, los epipedones ócricos son de color claro y de espesores variables, pero principalmente son delgados. Los contenidos de carbono orgánico normalmente son de décimas por ciento (Nettleton y Peterson, 1983). Los epipedones de los Aridisoles xerólicos y ustólicos están notablemente enriquecidos de humus e intergradados hacia los epipedones mólicos en sus extremos húmedos (Flach y Smith, 1969).

Entre los Aridisoles, los horizontes cámbicos son significativos solamente para la identificación de cambids, aunque pueden ocurrir también en calcids y durids. Es el cámbico un horizonte subsuperficial alterado, iluviado o ligeramente iluvial. Por definición, la base del horizonte cámbico deberá estar 25 cm por debajo de la superficie del suelo mineral. La edafización puede consistir de una mezcla de cromas relativamente altas, o estructura del suelo (comúnmente prismática, pero también en bloques), o una ligera acumulación de arcilla, o la ocurrencia de un horizonte subyacente de acumulación de carbonatos de calcio, el cual puede ser interpretado como evidencia de que éstos han sido lixiviados de o transportados a través del horizonte cámbico (Soil Survey Staff, 1994).

Los horizontes cámbicos de algunas zonas desérticas, como resultado de alteraciones físicas, transformaciones químicas o remociones, o combinaciones de dos o más de estos procesos, tienen una o más de las siguientes características que demuestran el intemperismo de los materiales parentales: (1) Colores más rojizos que los horizontes adyacentes, (2) Estructura débilmente desarrollada, (3) Evidencia débil de acumulación de arcillas silicatadas (pero no lo suficiente para calificarlo como un horizonte argílico), y (4) Redistribución de carbonatos, tal como se muestra por la acumulación de éstos en el horizonte subyacente. Algunos horizontes en la posición B que están muy débilmente desarrollados y de una textura muy gruesa podrían calificarse como cámbicos (Gile, 1966; USDA-NCRS, 1999).

En los suelos de zonas áridas y semiáridas, se pueden encontrar acumulaciones de carbonatos, básicamente de calcio que forman los horizontes cálcico y petrocálcico. El cálcico, es un horizonte de acumulación de carbonato de calcio o de carbonatos de calcio y magnesio. La acumulación puede ser en el horizonte C, pero esta puede aparecer en otros horizontes tales como un epipedón mólico, en un horizonte argílico o nátrico o en un duripán. En un horizonte petrocálcico los carbonatos están cementados o indurados en una capa continua; esto es, los trozos secos al aire no se deshacen en el agua y ya húmedos podrían romperse con cierta facilidad (Soil Survey Staff, 1990; Nettleton y Peterson, 1983).

Los horizontes cálcico y petrocálcico están asociados con la formación de CaCO_3 secundario, predominantemente calcita sola o asociada con una pequeña fracción molar de MgCO_3 , lo cual constituye el principal depósito autigénico y cemento, pueden presentarse pequeñas cantidades de minerales accesorios como ópalo, sales solubles o yeso (Soil Survey Staff, 1975; Nettleton y Peterson, 1983). Los horizontes cálcico y petrocálcico son también llamados caliche y calcrete, respectivamente. Estos horizontes son usados en la definición de los grandes grupos de los Aridisoles. Entre los orthids, los calciorthids tienen horizontes cálcicos; los paleorthids, horizontes petrocálcicos, los argids incluyen a los paleargids petrocálcicos con horizontes petrocálcicos (Hendricks *et al*, 1985).

Comúnmente, aunque no necesariamente, el horizonte petrocálcico tiene un subhorizonte superior "laminar". Si es así, tiene capas subhorizontales de carbonato de calcio casi puro (90% de CaCO_3 equivalente). Bajo el subhorizonte laminar existe otro subhorizonte de carbonatos cementados aparentemente masivos e isotrópicos (Nettleton y Peterson, 1983). Se considera que 8×10^{14} kg de carbono se encuentran almacenados, en las capas de caliche de los Aridisoles y los Entisoles áridos del mundo (Schlezinger, 1982).

Quizá lo más significativo para la génesis y los regímenes de humedad es lo reportado por Gile (1961) referente a que los niveles de infiltración disminuyen marcadamente como el contenido de carbonato de los horizontes K se incrementa; los horizontes petrocálcicos tienen índices de infiltración muy bajos.

La génesis del horizonte cálcico ha sido objeto de mucha discusión. La divergencia de opiniones respecto a la génesis del caliche o de los horizontes ca es comprensible en vista de la variada naturaleza de la capa (Buol, 1965).

Los factores que pueden influenciar la formación de horizontes cálcicos son el clima, el material parental, el tiempo, la topografía y la biota (Marion *et al.*, 1985). El clima manifiesta su efecto por la deposición de carbonatos por los vientos y en la evapotranspiración, la cual a través de la temperatura, controla el flujo del agua en el suelo (Arkley, 1963). El material parental afecta la deposición de CaCO_3 principalmente a través de su papel como fuente de calcio y su efecto en la capacidad de retención de humedad (Marion *et al.*, 1985). Los suelos derivados de materiales parentales calizos generalmente contienen más carbono de carbonatos que los suelos derivados de basalto y de aluviones mezclados (Schlesinger, 1982).

El factor biótico juega un papel importante en la deposición del CaCO_3 mediante su control de las concentraciones edáficas del CO_2 y en los niveles de evapotranspiración (Schlesinger, 1982; Marion *et al.*, 1985).

El yeso, ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), como roca, se encuentra en regiones áridas y semiáridas (Richards, 1977), aunque también puede encontrarse en zonas de mayor precipitación pluvial, en cantidades que van desde muy bajas, hasta muy elevados porcentajes (Grande, 1967; Nettleton *et al.*, 1982), si bien en estos casos, tiende a desaparecer durante los procesos de meteorización y de formación del suelo. Por ello y quizá debido en gran parte a la escasez de yeso en los países donde se

desarrollaron los conceptos iniciales de la edafología, los suelos con este componente han tenido poco interés para la comunidad científica internacional (Porta y Herrero, 1988).

El yeso en el perfil a menudo se le divide en dos categorías, litogénica y edafogénica para distinguir aquellas que son heredadas del material parental de aquellas que se han formado como productos secundarios de procesos edafogénicos. Las formas litogénicas provienen de depósitos sedimentarios de gruesas capas de rocas (Richards, 1977; Rudel, 1979; Hallmark, 1985); la otra fuente es por la precipitación del calcio con el sulfato durante procesos de evaporación y por acumulación en la superficie por acción eólica y lixiviación subsecuente hacia los horizontes subsuperficiales (Richards, 1977; Nelson *et al.*, 1982). A la forma litogénica del yeso en el perfil también se le conoce como primaria y a la pedogénica como secundaria (Hallmark, 1985).

En el suelo, el yeso es el único mineral pedogénico de sulfato de calcio que puede encontrarse tanto en régimen de humedad ústico, como xérico y arídico. Se ha encontrado en gypsiorthids cámbicos, gypsiorthids típicos, gypsiorthids cálcicos y en gypsiorthids petrogypsicos (Nettleton *et al.*, 1982).

El horizonte gypsicico es un horizonte subsuperficial de enriquecimiento de sulfatos secundarios, no cementado o ligeramente cementado, que tiene un espesor de 15 cm o más, contiene 5% ó más yeso que el horizonte C, ó la capa subyacente, y en el cual el producto del espesor en centímetros por el porcentaje de yeso es mayor o igual a 150. Un horizonte petrogypsicico es un horizonte que está suficientemente cementado con yeso de tal manera que los fragmentos secos no se deshacen en el agua y las raíces, en ocasiones, no pueden penetrarlo (Soil Survey Staff, 1975).

La acumulación de yeso en el perfil depende de la temperatura, pH y CO₂ (Pankova y Yamnova, 1987). La distribución del yeso está limitada a los suelos con una precipitación actual que no sea suficiente para removerlo (Nettleton *et al.*, 1982). Grande (1977) manifiesta que el yeso en la

naturaleza se puede presentar en las formas siguientes: costras, eflorescencias, pendientes, estratos, cristalizado, veniforme y en exudaciones. Benayas *et al.*, (1988) mencionan que la forma lenticular es la más común del yeso en zonas áridas y semiáridas y que este hábito está estrechamente ligado con la presencia de materia orgánica.

En aquellas zonas áridas y semiáridas en las que el yeso es un componente mayoritario, constituye el soporte de la mayoría de los procesos edáficos como son la translocación de materiales finos silicatados y carbonatos (Porta y Herrero, 1988), también determina que la saturación del complejo de cambio sea preferentemente por el ion calcio (Arricibita *et al.*, 1988). Afecta adversamente algunas propiedades como la consistencia, estabilidad estructural, la retención de humedad y la cohesión (Sayegh *et al.*, 1978; Moore *et al.*, 1990). También las propiedades estructurales se ven afectadas directamente por el contenido de yeso, mientras más alto sea éste, se manifiestan más agudamente las propiedades estructurales de cristalización (Abrukova e Isayev, 1983).

En los suelos de las regiones áridas y semiáridas no solamente el yeso está influyendo en sus propiedades, se encuentra también que cantidades apreciables de carbonatos y sales solubles (sulfatos y cloruros de magnesio y sodio) afectan propiedades como el desarrollo de la estructura (Benayas *et al.*, 1988).

En el suelo las partículas de yeso son del tamaño del limo o de la arcilla gruesa; conforme aumenta la profundidad del perfil, los cristales pueden ser del tamaño de las arenas e inclusive más grandes (Nelson *et al.*, 1982); en tanto que los de la calcita son de diverso tamaño (Moore *et al.*, 1990). Las condiciones de acumulación de yeso en el perfil se reflejan directamente en el tamaño, forma y distribución de los cristales (Pankova y Yamnova, 1987).

Algunas de las propiedades edáficas de los suelos yesosos son difíciles de definir y no pueden identificarse a simple vista en el campo (Hendricks *et al.*, 1985). Para la identificación de

carbonatos es necesaria la aplicación de una prueba con HCl al 10%. Los taxa gypsicos también son difíciles de distinguir y establecer si los carbonatos son abundantes. Esto último ocurre con algunos de los perfiles que se estudian en este trabajo, sobre todo en los que el yeso y la calcita coexisten en cantidades elevadas.

Muchas de las determinaciones analíticas en suelos yesosos son difíciles de realizar, debido a que no son aplicables algunas de las técnicas usuales. Existe interferencia del ion calcio en la determinación de la capacidad de intercambio catiónico, un parámetro importante para la caracterización mineralógica y de fertilidad (Sayegh *et al.*, 1978); la disolución del carbonato de calcio y del yeso es la causa determinante que afecta el proceso (Polemio y Rhoades, 1977).

Una de las determinaciones más difíciles de realizar es el análisis del tamaño de partículas; y aunque existen metodologías adaptadas para suelos con minerales aluminosilicatados, como es el caso del método de Robinson (1922) Bouyoucos (1927), Day (1965), etc., para suelos yesosos existe información muy escasa al respecto. Algunos cálculos a partir de los valores críticos de la humedad del suelo, aún requieren ajustes para su “puesta a punto” (Laya, 1989). El método tradicional de la pipeta es efectivo cuando el contenido de yeso es menor a 25% (USDA.NRCS.NSSC, 1996). Se ha propuesto una técnica donde se utiliza el cloruro de bario, correcciones a la ley de Stokes, el secado de la muestra a una temperatura no mayor de 70 °C y la determinación de los contenidos de agua y de yeso (Vieillefon, 1979). Lo referente a los 70 °C de temperatura es discutible ya que se ha demostrado que a partir de los 50 °C el yeso puede pasar a hemidrato o basanita $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$.

Para el análisis del tamaño de las partículas en muchos casos se han propuesto pretratamientos tendientes a eliminar los compuestos interferentes de las muestras. Tal es el caso del uso del peróxido de hidrógeno para atacar la materia orgánica, el uso del HCl para la remoción de

carbonatos y el lavado para eliminar cierto tipo de sales y el yeso. Sin embargo, debido a que muchas de las propiedades químicas y físicas del suelo están relacionadas directa o indirectamente con el área superficial y desde luego con el tamaño de partículas de los carbonatos y el yeso, en los suelos calcáreos o yesosos, la distribución del tamaño de partículas después de la remoción y/o el lavado, no reflejarían la textura o las propiedades anteriores a la remoción, lo cual conduce a errores de apreciación en las propiedades físicas de estos suelos. Es necesario que exista una técnica para la determinación del tamaño de partículas sin la remoción del yeso; y aunque se ha escrito un procedimiento, este no ha sido probado ampliamente (Hesse, 1976; Moore *et al.*, 1990; Porta, 1998).

La determinación misma del yeso no es muy exacta cuando existen otros sulfatos solubles en el suelo. La valoración del yeso se efectúa habitualmente por determinación del alguno de sus iones. Cuando se trata de analizar el contenido de este compuesto en los extractos de suelo, los valores obtenidos pueden estar afectados por un gran error, por lo que se hace necesario determinar tanto el anión como el catión constituyentes, para tener una garantía mayor; pero aún así, no hay seguridad absoluta de tener una determinación real, por varias causas (Albareda *et al.*, 1962).

Se han propuesto algunos, métodos como la medición de la conductividad eléctrica de la solución del suelo que contenga yeso (Richards, 1977; Schleiff, 1979), la medición de sulfatos con y sin la remoción de sales solubles con etanol (Lagerwerff *et al.*, 1965) Nelson *et al.*, 1978; Nettleton *et al.*, 1982). También se ha propuesto la medición del yeso mediante la determinación de su agua de cristalización (Nelson *et al.*, 1978), y mediante el uso de resinas de Na y Cl (Frenkel *et al.*, 1986). La difracción de rayos X, permite una medida semicuantitativa del yeso o de otros componentes edáficos.

3.4 Clasificación de los suelos de zonas áridas

El orden Aridisoles se divide en siete subórdenes de acuerdo a características muy particulares. Cryids: Aridisoles que tienen un régimen de temperatura del suelo cryico. Salids: Aridisoles con un horizonte sálico dentro de los primeros 100 cm de suelo. Durids: Aridisoles que tienen un duripán dentro de los primeros 100 cm de suelo. Gypsid: Aridisoles que tienen un horizonte gypsico o petrogypsico dentro de los primeros 100 cm de suelo y no tienen un horizonte petrocálcico suprayacente. Argids: Aridisoles que tienen un horizonte argílico o nátrico y no tienen un horizonte petrocálcico suprayacente a estos horizontes. Calcids: Aridisoles que tienen un horizonte cálcico o petrocálcico dentro de los 100 cm de suelo superficial. Cambids: Aridisoles que cuentan con un horizonte cámbico. Soil Survey Staff, 1999). Dentro de la base referencial mundial de suelos de la FAO (1998), los Aridisoles pueden incluirse total o parcialmente dentro de las unidades Calcisoles, Gypsisoles, Solonetz y Solonchacks. Los Calcisoles y Gypsisoles corresponden a los Xerosoles e Yermosoles de la clasificación de la FAO anterior a 1985, pero aún persisten con ésta nomenclatura en la cartografía del INEGI.

3.5 Estudio del Medio Físico.

3.5.1. Climatología.

El estado de San Luis Potosí presenta una variedad climática que incluye, desde los cálidos relativamente húmedos de la región Huasteca, hasta los secos semitemplados del altiplano. Esta gama se debe, por un lado, a las variaciones de altitud y latitud, y por otro, a la influencia marítima.

La Sierra Madre Oriental es el factor determinante en la diversidad de climas, ya que al actuar como barrera orográfica, hace que la humedad que viene del Golfo se detenga en ella y los

vientos pasen secos hacia el centro y poniente del estado. En el norte mismo, influye además la latitud, en las condiciones áridas de la zona (INEGI, 1985).

El clima de acuerdo con el sistema de Köppen, modificado por García (1988), en el área que cubren todos los perfiles, es del grupo de los secos, del subtipo semiárido, con lluvias de verano (Bsohw"). En el municipio de Villa Juárez, la precipitación media anual, tomando en cuenta cinco estaciones cercanas al área, es de 412.1 mm, con una concentración máxima en el mes de septiembre de 85.2 mm y una mínima de 6.0 mm en el mes de febrero. El porcentaje de precipitación invernal es de 7.9. Hacia la parte oeste y sudoeste del área, la precipitación es más alta debido a que las diversas serranías forman una barrera orográfica donde la humedad, que ha pasado la Sierra Madre Oriental, se descarga sobre ellas. Existe también una pequeña temporada menos lluviosa dentro de la estación de lluvias llamada sequía de medio verano o canícula, entre los meses de Julio y Agosto. La temperatura media anual es de 20.8 °C, siendo mayo el mes más cálido, con una temperatura media mensual de 24.3 °C. El mes más frío es enero con temperatura media mensual de 16.3 °C. Presenta oscilación térmica de 7.9 °C, por lo que puede considerarse como extremoso.

Por lo que respecta al área de los suelos calcáreos, el subtipo climático es también semiárido, con precipitación en verano y porcentaje de lluvia invernal superior al de la región anterior Bsoh"(x'). La precipitación media anual, tomando en cuenta las tres estaciones más cercanas, es de 399.5 mm con una concentración máxima en el mes de septiembre de 71.5 mm y una mínima en el mes de febrero con 9.6 mm. El porcentaje promedio de precipitación invernal es de 9.2. También existe la condición canicular en los meses de verano. La temperatura media anual es de 19.8 °C, siendo el mes de mayo el más caliente con temperatura media mensual de 23.4 °C y el más frío

enero, con una temperatura media mensual de 14.5 °C. Presenta una oscilación térmica de 9.2 °C, considerándose como clima extremo.

3.5.2. Fisiografía

Fisiográficamente el área del El Coyote-La Pólvora y La Cardona-Santo Domingo pertenecen a la provincia de la Sierra Madre Oriental y a la Subprovincia de Sierras y Llanuras Occidentales.

En general, las cumbres de la Sierra Madre Oriental quedan comprendidas entre los 2000 y 3000 m, pero su parte más elevada, entre Saltillo y Ciudad Victoria, alcanza alturas superiores a los 3,000 msnm. Presenta una imponente escarpa hacia la Llanura Costera del Golfo Norte; su transición a la Mesa Central y a la provincia del Eje Neovolcánico es menos abrupta, debido en gran parte a la altitud media de las elevaciones y a procesos de rellenamientos con materiales aluviales y volcánicos.

La predominancia de calizas en la provincia originó en la parte media y sur de la misma considerables manifestaciones de karst; esto es, de geoformas resultantes de la disolución de la roca por el agua. Este proceso ha tenido una influencia muy importante sobre las condiciones naturales y en el paisaje en dicha región de la sierra.

La intensa infiltración del agua al subsuelo, típica de los karsts, forma extensos sistemas cavernarios y también genera copiosos manantiales, principalmente al pie de la Sierra, como El Paraíso, próximo a Ciudad Mante. Son frecuentes además grandes dolinas, depresiones circulares y ovaladas producidas por la disolución diferencial de rocas, lo mismo que depresiones más extensas formadas por la fusión de dolinas vecinas y al desplome de techos de cavernas. En aquellos sitios donde se encuentran calizas arrecifales, el paisaje se caracteriza por la abundancia de mogotes, a veces altos y de formas caprichosas (Valle de los Fantasma, San Luis Potosí).

La Subprovincia de las Sierras y Llanuras Occidentales está constituida por sierras de rocas calizas orientadas norte-sur y unidas generalmente entre sí por conjuntos de cerros menores, que tienen esa misma orientación o le son oblicuos. En consecuencia, estas sierras forman algo parecido a una red, en la que hay espacios planos (llanuras) cubiertos por aluviones. Las llanuras del norte están a unos 2000 msnm, y las del sur a 1000 metros.

En esta región dominan las rocas calizas, pero en el sur afloran algunos cuerpos de rocas ígneas extrusivas.

Esta subprovincia comprende parte de los estados de Nuevo León, Tamaulipas y San Luis Potosí.

En este último ocupa un área de 21,510 Km².

En la porción potosina de esta región dominan las sierras y llanuras, pero también hay algunos lomeríos, bajadas y valles (INEGI, 1985). Particularmente, en el área El Coyote - La Pólvora está formada por amplias llanuras, entre largas, angostas y aisladas sierras con una orientación general norte-sur. La sierra más alta es la de Lobos, localizada al occidente del área estudiada, con una altura de 2530 msnm y la más baja la sierra La Verdolaga, situada a la altura del entronque de las carreteras federales números 57 y 80, con una altura de 1600 msnm. La parte central del área está cubierta por aluvión, ocupando una superficie de más o menos del 60%, sobresaliendo pequeños lomeríos y cerros aislados con una altura, por lo general, de 1400 msnm.

La estructura del área está representada por una serie de anticlinales y sinclinales erosionados, con sus ejes orientados, por lo general, de norte a sur, en rocas sedimentarias del Cretácico Inferior, contribuyendo así al modelado de la topografía regional, la cual va de suave a abrupta.

El drenaje es de tipo dendrítico, siendo los arroyos cortos rectos, y los medianos y grandes zigzagueantes con sus vueltas pequeñas pero pronunciadas. Estos arroyos son de flujo intermitente, y solo las tormentas de alta intensidad, o bien, las lluvias provocadas por las

perturbaciones ciclónicas, causan el flujo superficial del agua, como es el caso el arroyo El Pato, que baja de las sierras situadas al SW del área; recorriendo aproximadamente 21 kilómetros y formando una charca que llega a durar varios meses. Esta charca está en el poblado El Coyote.

Las sierras han sido fuertemente erosionadas y han perdido su forma inicial adquiriendo perfiles redondeados en los parteaguas, y algunas se encuentran disectadas por cañones que siguen generalmente fracturas o fallas, otras han resistido la erosión y se hallan en un relieve abrupto, incluso coronadas por crestones, o bien, protegidas por derrames basálticos tomando la forma de meseta (Velazco, 1970).

El área donde se encuentran las localidades de La Cardona, Las Enramadas, La Borreguita y Santo Domingo, se encuentra limitada al noroeste por la sierra de Guadalcázar, al norte y noreste por las sierras El Sauz, Bosque, Rinconada, Cerro San Pedro y la sierra del Ojo de Agua. Al oeste y suroeste con la sierra El Tablón; al sur con la sierra de Agua Postrera y Diego Ruiz, así como por los cerros Cabrero y Cabrerito. La planicie aluvial, que posee una suave pendiente hacia el este, forma parte de la Llanura Rioverde.

Las altitudes más notables corresponden a la sierra El Tablón 2,600 msnm.; el cerro Bellaseña con 2,400 msnm.; el cerro Orejón 2,100 msnm.; picacho La Cabra, 1,900 msnm.; cerro San Pedro, 1,550 msnm; y cerro Cabrero, 1,374 msnm.

Los "valles colgados" más importantes son los de El Sauz, Bosque Caldera, Ojo de Agua y Romerillo.

En las sierras de El Tablón, Orejón y Bellaseña se encuentran una gran cantidad de dolinas de hundimiento y de karst, así como numerosos sumideros.

Al sur de La Gavia, se localizan algunas oquedades en yeso en las cuales aflora agua subterránea. Profundos cañones se encuentran labrados en las vertientes occidentales de la sierra El Tablón, que la hacen prácticamente inaccesible. Localizados principalmente al suroeste de los perfiles

estudiados, se encuentran cauces pocos profundos labrados en yeso, correspondientes a los arroyos El Carrizal, Agua de Enmedio y Agua Postrera.

Al norte se forman algunos arroyos, que riegan esta región y van a perderse a la altura de El Granjenal (Hermoso, 1965; Medina, 1966).

3.5.3. Geología

Tanto los perfiles de La Cardona, Las Enramadas, La Borreguita, El Tejocote y Santo Domingo, como los de El Coyote y La Pólvara se encuentran ubicados en la Plataforma Valles-San Luis Potosí.

Con este nombre se ha designado una gran unidad paleogeográfica de edad Mesozoica en los estados de Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo y Querétaro. La Plataforma Valles-San Luis Potosí es un gran segmento de rocas precámbricas, paleozoicas y triásicas, plegadas y falladas, sobre el cual se depositaron una secuencia delgada de sedimentos marinos del Jurásico Superior y potentes secciones de rocas evaporíticas y calizas de tipo arrecifal y post-arrecifal del Cretácico Inferior, Medio y Superior. El plegamiento que durante el Terciario superior afectó a la unidad paleogeográfica mencionada, fue intenso y estuvo influenciado por las evaporitas que se hallan entre las rocas rígidas antiguas y las calizas del Cretácico Medio y Superior. La actividad ígnea, aunque intensa en algunos sitios, en general es de tipo extrusivo; únicamente se localiza un cuerpo intrusivo de importancia.

En la Plataforma Valles-San Luis Potosí hay afloramientos de rocas Pre-Mesozoicas, tales como esquistos del Precámbrico; lutitas, areniscas y conglomerados del Triásico-Jurásico superior; una secuencia delgada de calizas, lutitas y limonitas del Jurásico superior. Sin embargo en el área de los perfiles estudiados solamente hay afloramientos de sedimentos del Sistema Cretácico, siendo las rocas que integran la mayor parte de la Plataforma Valles-San Luis Potosí y teniendo en algunos casos espesores que exceden los 6,000 metros (Carrillo, 1971).

3.5.3.1. Área Villa Juárez

3.5.3.1.1. Estratigrafía

En esta zona se abarcará solamente la estratigrafía de los perfiles de La Cardona, Las Enramadas, La Borreguita, El Tejocote y Santo Domingo. Los afloramientos encontrados van desde el Neocomiano hasta el Holoceno, por lo que se hace referencia únicamente de ellos.

A) Formación Guaxcamá. Secuencia evaporítica, del Aptiano superior, constituida por yesos y anhidritas, alternando con calizas y dolomías (Carrillo, 1971; Alemán, 1988). Aflora en los municipios de Villa Juárez, San Nicolás Tolentino, Rioverde y Guadalcázar.

B) Formación El Abra. Complejo calcáreo de tipo plataforma, del Albiano-Cenomaniano; lo constituyen dolomías de grano fino, de color gris oscuro; aflora en los municipios de Rioverde y Cerritos (Carrillo, 1971; PEMEX, 1988).

C) Formación Tamasopo-Inferior. Está representada por lutitas, que varían a limolitas con microfósiles, todas ellas del Turoniano; aflora en los municipios de Villa Juárez y Rioverde (Carrillo, 1971; PEMEX, 1988).

D. Formación Tamasopo Superior. Complejo litológico perteneciente a un macroambiente lagunar de edad Coniciano-Santoniano, constituida por limolita con microfósiles, fragmentos de moluscos, miliólidos, granos indeterminados de color pardo a pardo claro y pardo grisáceo, con alternancias de arenisca de interclastos, fragmentos de moluscos, miliólidos y granos indeterminados del mismo color, que intemperizan de gris claro a pardo grisáceo (Carrillo, 1971; PEMEX, 1988).

E. Formación Cárdenas. Rocas clásticas finas muy fosilíferas, de edad Campaniano-Mastrichtiano, que se divide en tres miembros, abarcando 1,050 m de espesor. El miembro inferior, 180 m de lutitas, areniscas y bioespátita, el miembro medio es de 440 m de lutitas y limolitas y el miembro superior 430 m de limolitas, areniscas y bioesparrodita.

F. Formación La Borreguita. El nombre de Formación La Borreguita se propone para una secuencia yesífera de origen lacustre, de edad Plioceno-Pleistoceno, que aflora en los alrededores de la Estación La Borreguita del Ferrocarril San Luis Potosí-Tampico. La localidad tipo se encuentra en la mina de yeso La Borreguita inmediatamente al norte de la estación del mismo nombre. Se trata de yesos finamente bandeados de color blanco y amarillo crema, en capas de espesor medio a grueso; en la estación La Borreguita tienen una potencia de aproximadamente 30 m; en el Valle Rioverde-San Bartolo-Tepeyac, S.L.P., el espesor varía de 20-30 m.

G. Cuaternario. Dentro del Cuaternario se consideran todas las rocas y sedimentos de tipo continental, del Pleistoceno-Holoceno, que actualmente están rellenando los valles y partes topográficamente bajas. Estas rocas y sedimentos son conglomerados, cantos rodados, gravas, arenas y caliche, que son el producto de la acción de los factores erosivos depositacionales que actúan en el área. Los afloramientos más significativos se encuentran en los municipios de Villa Juárez y Rioverde.

3.5.3.1.2. Rocas Igneas

La actividad ígnea en el área que corresponde al área Villa Juárez, fue de tipo efusivo únicamente, de composición ácida y básica.

A. Rocas Extrusivas Ácidas. Se trata de ignimbritas constituidas por vidrio, cuarzo, oligoclasa y andesinas, así como tobas formadas por vidrios, plagiclasas, cuarzo, ortoclasa y albita. Afloran al norte del municipio de Rioverde y al oriente del municipio de Villa Juárez. Ambas son de edad Oligoceno-Mioceno.

II. Rocas Extrusivas Básicas. Se trata de basaltos formados por plagioclasas cálcicas, piroxenos, labradorita, pigeonita y magnetita. Se le asigna una edad del Plioceno-Pleistoceno. Aflora al oriente del municipio de Villa Juárez.

3.5.3.2. Área El Coyote-La Pólvara

3.5.3.2.1. Estratigrafía

Las rocas sedimentarias se encuentran ampliamente distribuidas en el área, predominando sobre las rocas ígneas.

Durante el cretácico se fueron depositando sedimentos marinos que en el área están representados por calizas de facies arrecifal, con macro y microfósiles y que vienen a constituir la parte masiva de las sierras.

A. Formación El Doctor. Se le conoce también como Formación El Abra (PEMEX, 1988) y es un complejo calcáreo de tipo plataforma, de edad Albiano-Cenomaniano. Distribución amplia.

B. Cuaternario.

Los depósitos aluviales en el área cubren una superficie de más o menos un 60%. Se pueden agrupar en dos tipos, con diferente composición litológica y distribución. El primero, es el que viene a formar los sedimentos de los abanicos aluviales, y su constitución es propiamente de grava, limo, arena, arcilla, fragmentos angulosos cementados con material calcáreo y capas de caliche.

El segundo tipo es que cubre las grandes depresiones y está formado por limo, arena, arcilla, con cementante calcáreo yesífero y capas de caliche.

3.5.3.2.2. Rocas Ígneas

Las rocas ígneas están representadas por basaltos del Terciario y también por diques de composición riolítica y un cono de roca ígnea intrusiva clasificada como tonalita (Velazco, 1970).

La actividad ígnea en el área El Coyote-La Pólvora, fue exclusivamente de tipo intrusivo y extrusivo.

I. Rocas Ígneas Intrusivas.

Junto al cono de basalto de la población La Pólvora aflora un pequeño cuello intrusivo, de más o menos 50 m de diámetro por 15 m de altura, cuyo análisis petrográfico es el siguiente: roca ígnea

intrusiva, color gris oscuro, hipabisal, de textura porfirico-felsolítica, con abundantes fenocristales de hornblenda y augita, matriz de plagioclasa sódica y cuarzo, clasificación Tonalita.

También en la misma zona, aflora un cuerpo intrusivo de composición riolítica, sobre el aluvión de más o menos 20 m de diámetro.

Estas rocas intrusivas, sobre todo las de tipo riolítico deben ser contemporáneas a los derrames riolíticos del centro del país, por lo cual se les asigna una edad del Eoceno-Oligoceno (Velazco, 1970).

II. Rocas Igneas Extrusivas.

En el poblado San Juan Sin Agua existe un derrame basáltico de más o menos 30 Km², en contacto en su mayoría con el aluvión, y solo en su parte norte con las calizas El Doctor.

En el poblado de La Pólvora tenemos una clara y bien manifestada actividad volcánica, representada por dos conos de composición basáltica, uno de ellos muy bien preservado con un diámetro de 800 m, por 75 m de altura, y el otro de la misma composición, con un lado erosionado hacia el norte mostrando un derrame hacia el poblado de La Pólvora que cubre una superficie de 3 Km²

La edad de estos basaltos es más joven que las riolitas y se les ha colocado desde el Terciario superior al Reciente (Velazco, 1970).

3.5.4. Vegetación

La vegetación natural, si existe, en los Aridisoles típicos comúnmente está dispersa y compuesta de arbustos xerófilos anuales y algunos pastos (Nettleton y Peterson, 1983). En San Luis Potosí, los Aridisoles están muy relacionados con la presencia de la gobernadora, *Larrea tridentata*

(DC.) Cov., y de otras especies de hoja o foliolo muy pequeño como hojaseñ *Flourensia cernua* DC., ocotillo, *Fouquieria splendens* Engelm. y con algunas leguminosas.

Tomando en consideración que la diversidad florística en el país es grande, y la predominancia de elementos endémicos en las zonas áridas y semiáridas, es explicable el hecho que en el estado de San Luis Potosí ocurran estas situaciones, ya que en él se presentan características de geología, clima, altitud y suelos muy variados.

El territorio potosino parece caracterizarse, en gran parte por combinaciones de factores ambientales favorables para la existencia de condiciones en que la topografía, el suelo, la roca madre y otros elementos lleguen a atenuar la influencia del clima sobre la vegetación. Conviene remarcar que prácticamente en todas partes de México abundan casos en que las diferencias o semejanzas de la vegetación no encuentran explicación suficiente solo en función de diferencias o semejanzas con el clima.

Es importante el conocimiento que se tenga del factor suelo como determinante de la flora en sitios específicos, ya que son relativamente frecuentes los casos en que condiciones ecológicas intermedias dan origen a una vegetación de características también intermedias. Tales situaciones de transición son especialmente notables cuando el medio sufre cambios muy graduales, sobre todo cuando los factores edáficos son los determinantes (Rzedowski, 1961).

Como consecuencia de la diversidad de las formas biológicas originadas como una aparente adaptación al clima árido, resulta el hecho de que los matorrales desérticos difieren tan marcadamente entre sí, en cuanto a su apariencia externa, que cada uno de ellos merece un lugar separado en una clasificación de la vegetación basada primordialmente en los rasgos fisonómicos. Las categorías distinguidas por Rzedowski (1961) como matorral desértico rosetófilo, matorral desértico micrófilo y matorral crasicale son precisamente de este orden, pues en el primero dominan plantas semisuculentas con hojas en roseta (*Agave*, *Yucca*, *Hechtia*, *Dasylyrion*), en el

segundo arbustos de hoja (o foliolo) pequeña (*Larrea, Prosopis, Flourensia cernua* DC.) y en el tercero las suculentas de gran tallo (*Opuntia, Myrtillocactus*).

En condiciones del mismo clima árido ciertas características edáficas extremas como por ejemplo: drenaje deficiente, abundancia de sales o abundancia de yeso en el suelo, son también responsables de una fisonomía peculiar de la vegetación, pues este substrato, según Rzedowski (1961), parece ser desfavorable a las plantas leñosas, mismas que se presentan en forma espaciada o están completamente ausentes, dominando con frecuencia las gramíneas y otras especies herbáceas, lo que distingue notablemente a estas áreas de los matorrales que se desarrollan a su alrededor, sobre suelos "normales".

Es evidente que, al menos en algunos casos, los arbustos de zonas áridas se diseminan de acuerdo a ciertos patrones característicos de distribución de los elementos minerales debajo de ellos (Secor *et. al.*, 1983). Rikard (1965) observó que los arbustos glutinosos incrementaban la cantidad de sodio y potasio intercambiables debajo del área de sombreado, y Tiedemann y Klemmedson (1973) encontraron ciertos patrones químicos debajo del mezquite. El trabajo de Al-Ani *et al.*, (1971) también indica que una cierta cantidad de selección está incluida en la absorción y acumulación de minerales por las especies desérticas. Otra característica del suelo que influye en la distribución de los patrones de vegetación es la capacidad de retención y disponibilidad de agua (Branson *et al.*, 1976; Secor *et al.*, 1983). Cambios bruscos de vegetación suelen presentarse a veces en sitios de contacto entre dos tipos de substrato geológico, o cuando algún factor edáfico sufre una variación discontinua de suficiente magnitud (Rzedowski, 1961).

De acuerdo con la clasificación de las asociaciones vegetales hechas para el estado de San Luis Potosí por Rzedowski (1961) en las áreas de estudio de los perfiles de suelo existen dos tipos principales: el matorral desértico micrófilo y el matorral desértico rosetófilo.

3.5.4.1. Matorral Desértico Micrófilo

Se presenta en todos los perfiles excepto en el perfil 8 de El Coyote. En el área de Villa Juárez algunas veces se encuentra asociado con el matorral desértico rosetófilo y con el matorral submontano.

En el estado de San Luis Potosí el matorral desértico micrófilo ocupa aproximadamente un 38% de su superficie, por lo cual resulta el más ampliamente extendido y particularmente interesante. Corresponde al "Chihuahuan desert shrub" de Muller (1947), al "Desert Shrub" de Le Sueur (1945) y coincide con el "Creosote bush desert" de Leopold (1950).

El matorral desértico micrófilo se distingue por la predominancia de elementos arbustivos de hoja o foliolo pequeño y es propio de terrenos planos y partes inferiores de los cerros de una gran zona del Altiplano. En el norte del estado presenta su forma característica. Se localiza en altitudes entre 1000 y 2300 m, pero la elevación sobre el nivel del mar, desde luego, no es limitante en cuanto al desarrollo de esta vegetación.

Los efectos del factor humano sobre el área del matorral desértico micrófilo han sido de una intensidad relativamente poco significativa, aunque la situación varía de un lugar a otro. La agricultura en general es de poca cuantía, sobre todo la de riego, ya que las condiciones no permiten la construcción de estructuras almacenadoras de agua. En algunas áreas existen pozos profundos. El pastoreo es más importante, pues se realiza casi en todas partes, predomina el ganado caprino, cuya influencia en la vegetación es apreciable por su tendencia al ramoneo. En cuanto a la explotación de especies silvestres, cabe mencionar en primer lugar el uso del (mezquite) *Prosopis laevigata* (Zwartz.) DC. para fines de construcción y combustible (Rzedowski, 1961), industria maderera (Villa, 1980), como alimento para el ganado (Marroquín *et al.*, 1981). También se utiliza con fines medicinales y para la alimentación humana, en forma de una golosina llamada piloncillo de mezquite. Como combustible también se utilizan otras formas leñosas como *Larrea tridentata* (DC.) Cov.. El maguey (*Agave atrovierens* Karw.) se

utiliza de muy diferentes formas: para la producción de aguamiel, pulque, producción de mezcal (golosina), mezcal (bebida), el quiote que es el escapo floral, también se consume como golosina, se utiliza como forrajero, combustible y en la construcción de chozas rústicas. Diferentes especies de nopal (*Opuntia (Plathyopuntia)*) son comestibles y forrajeras.

En general, puede observarse que dentro del matorral desértico micrófilo, el aumento de las aradas va correlacionado con la atenuación de los efectos de la influencia del hombre, (Rzedowski, 1961). Una de las causas es la disminución o ausencia completa de especies útiles a medida que se empobrece o simplifica el manto vegetal.

Una de las variantes de este tipo de vegetación se encuentra en La Pólvora y consiste en un matorral abierto de 0.5 a 1.2 m de altura, compuesto de una sola especie dominante *Larrea tridentata* (DC.) Cov. y con pocas intervenciones de otras especies arbustivas. Esto parece ser el reflejo de condiciones especialmente desfavorables del suelo, en cuanto a la provisión de agua. Los arbustos cubren entre el 5 y el 25% de la superficie y las plantas herbáceas son escasas.

Otra de las variantes se presenta en los perfiles del área de Villa Juárez donde existen matorrales altos, casi bosquecillos (de 2 a 4 m de alto), que incluyen numerosas especies leñosas y herbáceas de formas biológicas diversas, cubriendo los arbustos hasta 50% o más de la superficie.

En el perfil 7 de El Coyote, existe un estrato de eminencias aisladas (*Yucca* spp.) hasta de 6 m de alto, que en algunos casos la comunidad presenta la forma de un "bosque" abierto de *Yucca* de aspecto muy peculiar, pero de composición análoga a la de un matorral típico de isotales.

El estrato herbáceo sufre cambios fenológicos notables pues en la época seca desaparece con frecuencia por completo, y su desarrollo, espesor e importancia cambian de año en año, en función de la incidencia de las lluvias. Por otra parte, sin embargo, existen sitios, donde debido a ciertas condiciones edáficas, puede existir una carpeta perenne de gramíneas debajo de los arbustos.

El tamaño de la hoja (o foliolo) de la gran mayoría de las especies de matorral desértico micrófilo corresponde a las categorías de leptofilia y nanofilia (Rzedowski, 1961). En cuanto a la persistencia de la hoja, una parte de los arbustos pierde con regularidad su follaje durante un período variable, pero generalmente breve (1 a 4 meses); otros son perennifolios o al menos facultativamente perennifolios, pues en época de sequía larga y pronunciada plantas como *Larrea* sp, *Flourensia* sp, *Celtis* sp, *Condalia* sp y *Fouquieria* sp, pueden perder parte o la totalidad de sus órganos fotosintéticos. Plantas áfilas, rosetófilas y suculentas son frecuentes, pero su abundancia disminuye notablemente con el incremento de las aradas y en algunos casos por condiciones edáficas particulares.

En el caso de la variante más exuberante del matorral desértico micrófilo y que se presenta en los perfiles del área Villa Juárez, marcando un ecotono con el matorral submontano, puede distinguirse la siguiente estructura. El estrato más alto (4 a 6 m) es el de las eminencias, que salvo casos muy especiales son muy aisladas (1 a 5 pies por hectárea), en el cual intervienen principalmente *Yucca filifera* Chab. o *Y. descipiens* Trel. El estrato dominante es el arbustivo superior, de 2 a 3 m de alto. La especie más abundante en él es *Prosopis laevigata* (Zwartz.) DC., que presta su fisonomía a la comunidad; otros arbustos menos importantes son: *Acacia constricta*, *A. farnesiana* (L.) Wild., *Celtis pallida* Torr., *Condalia lycioides* (Gray.) Wed., *Opuntia leucotricha* DC., *O. streptacantha* Lem. y *Yucca filifera* Chab.

El estrato arbustivo inferior, de 0.4 a 1.5 m de alto, incluye siempre a *Larrea tridentata* (DC.) Cov., y con frecuencia a *Flourensia cernua* DC. como dominantes, además suelen encontrarse: *Agave atrovierens* Karw., *Atriplex canescens* (Pursh.) Nutt., *Condalia mexicana* Sch., *C. spathulata* Gray., *Dalea tuberculata* Lag., *Koeberlinia spinosa* Hook., *Opuntia cantabrigensis* Lynch., *O. imbricata* (Haw.) DC., *O. leptocaulis* DC., *O. microdasys* (Lehm.) Pfeiff., *O. tunicata* (Lehm.), *Prosopis laevigata* (Zwartz.) DC. y *Rhus microphylla* Engelm.

En cuanto a los componentes del estrato herbáceo, pueden distinguirse dos nichos ecológicos distintos, habitados cada uno de ellos por elementos característicos. Un grupo de plantas se halla preferentemente en los espacios vacíos que dejan entre sí los arbustos; en cambio otras suelen encontrarse en torno o al abrigo de los mismos, donde gozan de un microclima más favorable y de mayor provisión de materia orgánica en el suelo; en el caso de arbustos bajos y espinosos, éstos les ofrecen también mayor protección contra los depredadores. Algunas especies comunes del primer grupo son: *Aplopappus venetus* (HBK.) Blake., *Aristida adscensionis* L., *Buchloe dactyloides* (Nutt.) Engelm., *Gutierrezia* spp., *Parthenium* spp., *Scleropogon brevifolius* Phil., *Sporobolus Wrightii* Munro. y *Zinnia pumila* Gray. En el caso del segundo grupo se pueden encontrar: *Chenopodium* spp., *Muhlebergia* spp., *Oxalis* spp., *Setaria macrostachya* H.B.K., *Solanum* spp., *Stipa eminens* Cav. y *Zaluzania triloba* Pers.

Algunas cactáceas pequeñas son localmente frecuentes, por ejemplo: *Ariocarpus retusus* Scheid., *Coryphanta* spp., *Echinocereus rigidissimus* (Engelm.), *Ferocactus latispinus* (Haw.) Br. et Rose., *Mamillaria* spp., *Stenocactus* sp. y *Thelocactus fossulatus* (Scheidw.) Br. et R.

En el caso de los perfiles de La Cardona y Enramadas es común encontrar especies como *Hechtia glomerata* Zucc., *Opuntia cantabrigensis* Lynch., *O. leptocaulis* DC., y *O. stenopetala* Engelm., aparentemente como resultado de un sobrepastoreo de caprinos y ocasionalmente de bovinos y equinos.

El perfil 6, de La Pólvara, se encuentra bajo la vegetación correspondiente a la variante más pobre del matorral desértico micrófilo ya que se trata de un matorral monótono de *Larrea tridentata* (DC.) Cov. y escasos manchones de asociación entre *Larrea tridentata* (DC.) Cov. y *Flourensia cernua* DC., frecuentemente con un estrato inferior de *Zinnia pumila* Gray.. Prácticamente todos los arbustos tienen la misma altura y las herbáceas perennes son escasas. Plantas bajas (1-1.5 m) de *Prosopis laevigata* (Zwartz.) DC. también forman parte de este

matorral, al igual que cactáceas (*Opuntia cantabrigensis* Lynch., *O. imbricata*, *O. leptocaulis* DC. y *O. stenopetala* Engelm.). En una pequeña elevación basáltica situada al oeste del perfil aparecen: *Myrtillocactus geometrizans* (Mart.) Cons., *Opuntia streptacantha* Lem., *Echinocactus platyacanthus* Link et Otto. y *Fouquieria splendens* Egelm..

3.5.4.2. Matorral Desértico Rosetófilo

Es importante por su extensión en el estado ($\pm 9\%$) y en particular por las especies que incluye. En este trabajo se encontró en los perfiles de El Coyote. El nombre de la unidad deriva de la circunstancia de que fisiológicamente son especies perennes, de hojas alargadas y estrechas, agrupadas a manera de roseta. Entre estas plantas rosetófilas pueden distinguirse esencialmente dos tipos: las que poseen un tallo (caudex) alargado y manifiesto (*Yuca*, *Dasyllirion*) y las que carecen de tallo visible y el conjunto de hojas está en la base de la planta (*Agave*, *Hechtia*).

El matorral desértico rosetófilo ocupa las laderas de los cerros calizos y margosos de diversas zonas de la Altiplanicie y desciende a las partes inferiores de los abanicos aluviales, situados en la base de los mismos cerros. En ocasiones se le puede encontrar en lugares de escasa inclinación, pero siempre y cuando el suelo contenga abundante grava y fragmentos de roca caliza (Rzedowski, 1961).

Los terrenos cubiertos por el matorral desértico rosetófilo no se utilizan para la agricultura y sostienen solamente una ganadería raquítica a base de ganado caprino. Tampoco existen muchas especies útiles para la construcción o para combustible. Abundan, sin embargo, varias plantas que han sido objeto de explotación intensiva por el hombre, y que en la actualidad solamente se explotan en forma aislada. Destacan entre ellas *Agave lecheguilla* Torr. (lechuguilla) y *Yucca carnerosana* (Trel) Mckeveley. (palma loca.), de cuyas hojas se extrae fibra dura para usos textiles; *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. (candelilla), de la cual se utiliza la cera que cubre la epidermis de los tallos; y *Parthenium argentatum* Gray. (guayule), planta que se utilizó

intensamente durante la primera mitad de este siglo por su alto contenido de látex. La explotación de las dos últimas se realiza cortando la planta al ras del suelo o arrancándola con una parte de la raíz, prácticas que reducen las existencias de las especies. En el caso de *Yucca* y de *Agave*, se corta exclusivamente el "cogollo", o sea el conjunto de hojas tiernas situadas en el centro de la roseta.

Fisionómicamente dominan en este tipo de vegetación casi siempre en forma muy amplia las plantas rosetófilas que son perennifolias, y aunque entre los demás arbustos existen muchos de hoja decidua, nunca se pierde el aspecto verde de la formación (Rzedowski, 1961).

Desde el punto de vista de su estructura, el papel primordial del matorral desértico rosetófilo le corresponde al estrato subarborescente, que alcanza por lo común 20-60 cm de alto. Este estrato cubre con frecuencia más del 50% de la superficie y muchas veces casi todo el suelo disponible. En el caso del perfil 8 de El Coyote, las especies dominantes son: *Hechtia glomerata* Zucc., *Agave lecheguilla* Torr. y *A. striata* Zucc., todas ellas rosetófilas y caracterizadas por una exuberante reproducción vegetativa, formando greges o colonias. Otros componentes del mismo estrato son: *Dalea tuberculata* Lag., *Euphorbia antisiphylitica* Zucc., *Lippia Berlandieri* Shawer., *Opuntia mycrodasys* (Lehm.) Pfeiff., *O. stenopetala* Engelm., *O. tunicata* (Lehm.), *Parthenium argentatum* (Gray.) y *Zinnia pumila* Gray.

Por encima del estrato subarborescente pueden distinguirse dos estratos superiores: uno de eminencias, compuesto en forma exclusiva de *Yucca carnerosana* (Trel.) Mckeveley., y otro subarborescente. El primero se presenta como individuos aislados en el perfil número 8, pero cerca del perfil 7 presta a la comunidad el aspecto de un bosquecillo ("palmar") donde se mezcla *Y. carnerosana* (Trel.) Mckeveley. con *Y. filifera* Chab y *Y. discipiens* Trel.

El estrato arbustivo propiamente dicho, incluye plantas de 1.0 a 2.0 m de alto, rara vez ocupa más de 20% de la superficie. Incluye un porcentaje considerable de plantas leñosas de hoja decidua y

de hoja gruesa de consistencia coriácea. Algunos ejemplos son: *Bahuinia divaricata* L. , *Buddleia marrubiofolia* Benth., *Dasyllirion longissimum* Lem., *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg., *Ferocactus pringlei* (Coult.) Britt. et Rose., *Karwinskia Humoldtiana* (Roem. et Schult.) Zucc., *Prosopis laevigata* (Swartz.) DC. y algunos individuos aislados de *Sophora secundiflora* (Ort.) Lag.

También existen numerosas cactáceas pequeñas, algunas semienterradas, como por ejemplo: *Astrophytum myriostigma* Lem., *Coryphanta* spp., *Echinocereus pectinatus* (Scheid.), *Lophophora williamisii* (Lem.) Coulter., *Mamillaria* spp., *Neollydia clavata* (Scheid.) y *Ariocarpus retusus* Scheid..

Es importante resaltar el papel que juegan las raíces de las plantas rosetófilas en la conservación de suelo. Algunas de ellas se encuentran sobre una delgada capa de suelo, que en muchos casos está sobreyaciendo a la roca firme. Las raíces fibrosas y el hecho de formar gregies o colonias evitan que este suelo se pierda por efectos de la erosión, también permiten la acumulación más o menos elevada de materia orgánica y prestan abrigo para que se desarrolle una buena actividad biológica de la mesofauna.

IV.- MATERIALES Y METODOS

4.1. De Campo.

4.1.1. Ubicación del área de estudio

Para el presente trabajo se escogieron sitios específicos de los Municipios de Guadalcázar, Villa Hidalgo y Villa Juárez, en el estado de San Luis Potosí (Fig. 1). Se dividió en dos áreas, una de ellas donde el material parental está dominado por el yeso, al oriente del Municipio de Villa Juárez, comprendida entre las coordenadas $22^{\circ} 17'$ y $22^{\circ} 25'$ de Latitud Norte y entre los $100^{\circ} 05'$ y $100^{\circ} 11'$ de Longitud Oeste. En ella están ubicados los perfiles uno (El Tejocote), dos (Las Enramadas), tres (La Cardona), cuatro (Las Enramadas), cinco (El Tejocote), nueve (La Borreguita) y diez (Santo Domingo).

La segunda área, donde dominan los materiales calizos, se ubica en los municipios de Guadalcázar y Villa Hidalgo, comprendida entre las coordenadas $22^{\circ} 50'$ y $22^{\circ} 57'$ de Latitud Norte y $100^{\circ} 17'$ y $100^{\circ} 35'$ de Longitud Oeste; incluye a los perfiles seis (La Pólvora) y siete (El Coyote).

El perfil ocho (El Coyote) queda incluido en el área de dominancia de la caliza, pero están influyendo en su edafogénesis materiales sulfatados que le dan un carácter yesoso.

La ubicación exacta de cada uno de los perfiles se da a conocer en las tablas correspondientes a las descripciones morfológicas.

4.1.2. Muestreo de suelos

Para elegir la ubicación de cada uno de los suelos muestreados, se consideró aquellos sitios representativos en los cuales los factores formadores del suelo estuvieran actuando con mayor intensidad, esto es, que el clima, la roca, la vegetación, los organismos y la topografía tuviesen una influencia que pudiera considerarse como representativa de un área dada. Para tal efecto se

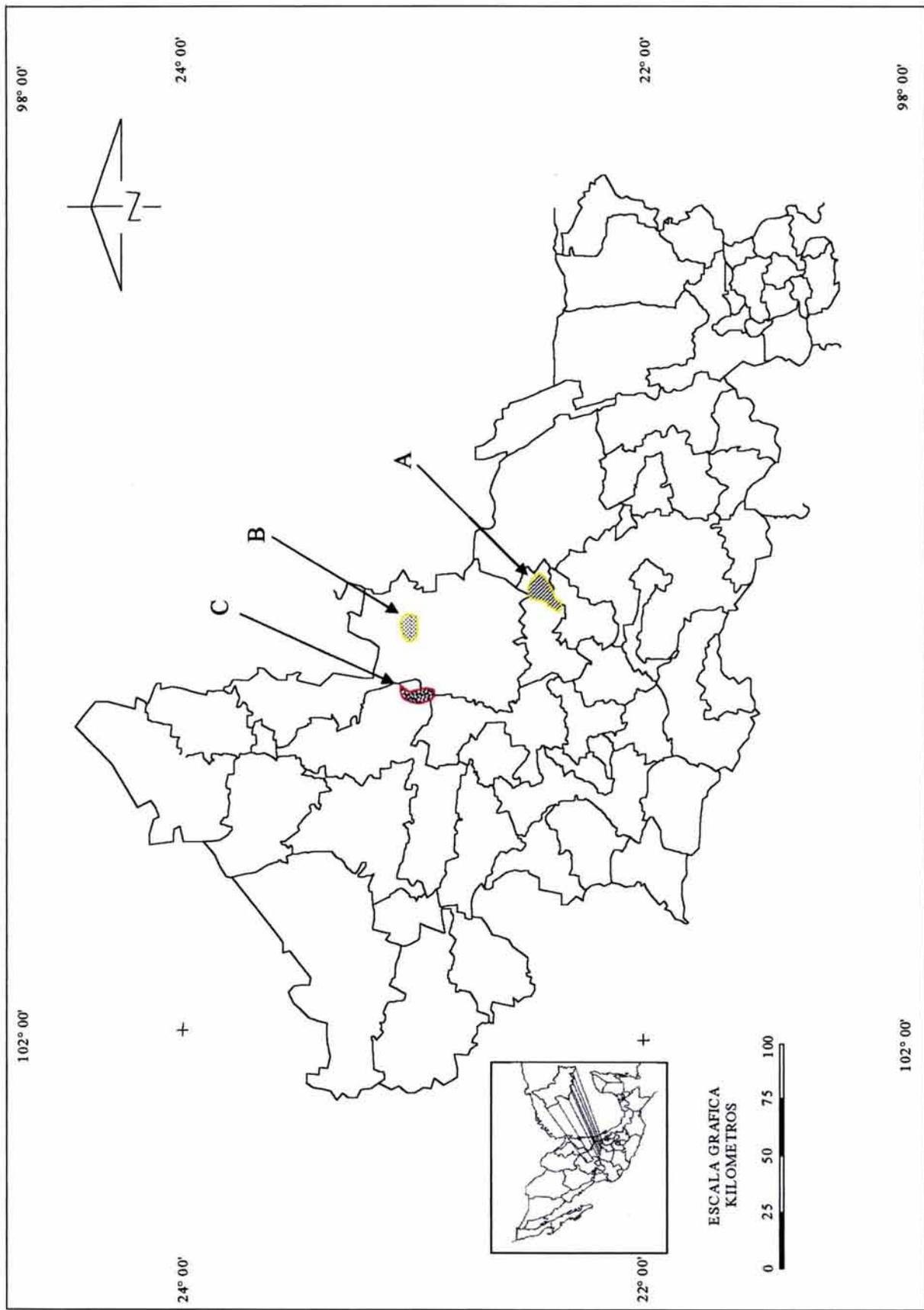


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo de los suelos yesosos y calcáreos. A. Perfiles 1, 2, 3, 4, 5, 9 y 10, en el municipio de Villa Juárez. B. Perfil 6, en el municipio de Guadalcázar. C. Perfiles 7 y 8, en el municipio de Villa Hidalgo.

contó con el apoyo de una imagen de satélite LANDSAT, con fotografías aéreas, cartas topográficas, geológicas, edafológicas, de uso del suelo, de vegetación y climatológicas. La escala aproximada para las fotografías fue de 1:75,000. Para las cartas se utilizaron escalas 1:50,000, 1:250,000 y 1:1'000,000 (INEGI, 1985).

Para el área de los suelos de El Tejocote, La Borreguita, La Cardona, Las Enramadas y Santo Domingo, se utilizaron imágenes de satélite, fotografías aéreas escala aproximada 1:75,000, pancromáticas, en blanco y negro, fecha de vuelo Junio de 1983, área F-14-4, Línea 155, números 011, 012 y 013. Las cartas fueron las de escala 1:1,000,000 la cual cubre la totalidad del estado, las de escala 1:250,000, hoja F-14-4 y las de escala 1:50,000, hoja F-14-A-76 (INEGI, 1985).

Para el área de los suelos de El Coyote y La Pólvora, considerados como calcáreos se utilizó la misma imagen de satélite, la misma carta escala 1:1'000,000 y la de 1:250,000. En la escala 1:50 000 se hizo uso de la hoja F-14-A-55. Las fotografías aéreas utilizadas fueron de las mismas características que las anteriores, las líneas fueron la 152 y 153 y los números 001, 002 y 003 de cada una de ellas.

Una vez ubicado el sitio de muestreo, se tomaron muestras con una barrena tipo holandesa, para tener una idea de la profundidad efectiva del suelo. Hecho lo anterior se procedió a la apertura de las calicatas.

Una vez abiertas las calicatas se muestrearon un total de 10 de ellas, haciéndolo por horizontes morfogenéticos. Con la finalidad de detectar los cambios en las propiedades del suelo de manera puntual, en algunos casos se tomaron muestras también a cada 10 cm.

Se colectaron plantas de hábito arbustivo y algunas perennes, no se pudo muestrear correctamente las herbáceas, dado que las condiciones de precipitación pluvial no lo permitieron. Los muestreos fueron realizados en puntos espaciados a cada dos metros a lo largo de transectos corridos dentro

de cada asociación vegetal. Se localizó un centenar de puntos en cada tipo de hábitat. Los transectos en todas las asociaciones corrieron paralelos uno del otro y al ecotono que los separaba y en general a la dirección noreste-suroeste.

En campo se describieron los perfiles con base a inferencias morfogenéticas y de algunos otros parámetros que pudieron determinarse *in situ*. Se tomó una muestra de aproximadamente dos kilogramos de cada uno de los horizontes y a cada 10 cm, en algunos de los perfiles. Las muestras fueron secadas al aire y a la temperatura del laboratorio, tomando las debidas precauciones para evitar su contaminación.

Las muestras secas se hicieron pasar a través de un tamiz de 2 mm de abertura y posteriormente se procedió a efectuar las determinaciones físicas y químicas.

Otra porción de la muestra no se tamizó para poder utilizarla en los análisis mineralógicos por petrografía y por rayos X y para el fraccionamiento de la materia orgánica.

En el caso específico del perfil 9, La Borreguita, y dado el desarrollo que presenta el horizonte A, una porción de suelo total fue utilizada para estudios microbiológicos.

4.2. Determinaciones de Laboratorio

4.2.1. Determinaciones Físicas

4.2.1.1. Color en seco y en húmedo, por comparación con las tablas Münsell (1975)

4.2.2.2. Densidad aparente, por el método de la probeta (Milford, 1991).

4.2.2.2. Densidad real, por el método del picnómetro (Milford, 1991).

4.2.1.3. Porcentaje de espacio poroso, calculado a partir de la densidad aparente y la densidad real.

4.2.1.4. Textura, por el método del hidrómetro de Bouyoucos (1951), en la cual se utilizó un pretratamiento con H₂O₂ al 8%, secando en placa caliente, exceptuando las muestras de suelos

yesosos, y utilizando dos mezclas de dispersantes. Una de ellas fue con metasilicato y oxalato de sodio, ambos al 5%.

La otra fue una mezcla de 54.2 g de hexametáfosfato de sodio y 12.4 g de carbonato de sodio, por litro de agua (Grande, 1985).

4.2.1.5. Porcentaje de humedad a saturación, midiendo el volumen de agua para preparar la pasta saturada del suelo (Richards, 1977).

4.2.2. Determinaciones Químicas

4.2.2.1. pH, utilizando un potenciómetro Corning modelo 7, en relaciones suelo-agua y suelo KCl 1N pH 7, 1:2.5, 1:5 y 1:10.

4.2.2.2. Materia orgánica, por el método de Walkley y Black, modificado por Walkley (1947).

4.2.2.3. Conductividad eléctrica del extracto de saturación (Richards, 1977, mediante lectura directa en un conductímetro Siemens).

4.2.2.4. Iones solubles.

4.2.2.4.1. Calcio y magnesio, por el método del versenato (Jackson, 1982; Lanyon y Heald, 1982).

4.2.2.4.2. Sodio y potasio, por flamometría. Para su determinación se empleó el flamómetro Corning 400 (Black, 1965).

4.2.2.4.3. Bicarbonatos por titulación con ácido (Bower y Wilcox, 1965).

4.2.2.4.4. Cloruros por el método de Mohr (Bower y Wilcox, 1965).

4.2.2.4.5. Sulfatos, como precipitado de sulfato de bario (Richards, 1977).

4.2.2.5. Capacidad de intercambio catiónico, mediante el método de Bower (1952), saturando con acetato de sodio 1N pH 7 y determinando el sodio desplazado por flamometría.

4.2.2.6. Potasio y sodio intercambiables por flamometría, utilizando acetato de amonio 1N pH 7

para la extracción (Black, 1965). Para calcio y magnesio intercambiables no existe un método adecuado, cuando en el suelo existe el calcio como carbonatos de calcio o yeso.

4.2.2.7. Nitrógeno total, por el método de Kjeldahl usando ácido sulfúrico concentrado para la digestión e hidróxido de sodio al 40% para la destilación (Jackson, 1982).

4.2.2.8. Yeso determinado por precipitación con acetona (Nelson, 1982).

4.2.2.9. Carbonatos totales por volumetría, utilizando ácido clorhídrico, 1N, hidróxido de sodio 1N y azul de bromotimol como indicador (Piper, 1942).

4.2.3. Determinaciones mineralógicas

4.2.3.1. Mineralogía de arenas y limos. Para esta determinación se seleccionaron solamente cuatro de los diez perfiles en estudio, buscando que éstos fueran representativos del material parental, de acuerdo a los objetivos planteados. Los perfiles seleccionados fueron:

- Perfil 4, Las Enramadas
- Perfil 5, El Tejocote
- Perfil 8, El Coyote
- Perfil 9, La Borreguita

El tratamiento de las muestras de suelo para su análisis granulométrico y su posterior fraccionamiento, se realizó sobre la muestra total, esto es sin molerlas y sin tamizarlas.

Para obtener la fracción arena la muestra se tamizó por una malla de 0.5 mm para eliminar gravillas y partículas de diámetro superior. La fracción tamizada se colocó en cápsulas de porcelana y se lavó pasándola por un tamiz de malla 0.05 mm, varias veces hasta que el agua salió limpia y clara (Pérez-Mateos, 1965; Alexandre y Pinilla, 1968).

Una vez obtenida la fracción arena, comprendida entre 0.54 y 0.05 mm se secó y se le sometió a la acción del ditonito de sodio con el fin de obtener granos minerales limpios que pudieran ser

identificados al microscopio petrográfico. Eliminado el ditonito, se pesó la arena y luego se separó en sus dos fracciones: pesada y ligera, por medio de bromoformo de p.e. 2.8.

A continuación se montó la fracción pesada, incluyendo los granos minerales en Bálsamo de Canadá. El contaje se efectuó en línea contando los granos minerales que pasaban por el cruce de los hilos del retículo, recorriendo la preparación en zig-zag, espaciando cada línea medio milímetro, lo que se efectúa con el micrómetro de la rama vertical del carro (Pérez-Mateos, 1965). Se da el porcentaje de los minerales transparentes y el número de opacos naturales y de alteración correspondiente a 100 especies minerales pesados (Pérez-Mateos, 1965; Aleixandre y Pinilla, 1968).

El estudio de la fracción ligera se hizo en preparaciones volantes, incluyendo los granos minerales en una mezcla de clorobenzol y nitrobenzol (i.r.=1.54). El contaje se hizo de la misma manera que para la fracción pesada.

Los tamaños separados para el análisis del limo fueron: limo grueso (50-20 μ m), limo medio (20-8 μ m) y limo fino (8-2 μ m).

Para separar la fracción limo de la fracción arcilla, así como para separar el limo en los diferentes tamaños a estudiar se sedimentaron las muestras aplicando la ley de Stokes, que viene dada en la ecuación siguiente:

$$t = h \mu 18/d^2(\rho - 1)g, \text{ donde:}$$

t = tiempo de sedimentación de la partícula, en segundos.

h = altura de caída de la partícula, en cm.

μ = viscosidad del agua en $\text{g cm}^{-1} \text{s}^{-1}$ (Poises)

d = diámetro de la partícula, en cm.

ρ = densidad de partícula (2.65 g cm^{-3})

l = densidad del líquido (1.0 g cm^{-3})

g = aceleración debida a la gravedad (981 cm s^{-2})

Para este efecto se uso como dispersante el hexametáfosfato de sodio al 0.7%.

Como se mencionó anteriormente se separaron las fracciones limo y arcilla, mediante extracciones sucesivas, aplicando la ley de Stokes. Una vez obtenida cada fracción se secó a temperatura ambiente, se pesó y se guardó para su estudio posterior.

Para el estudio de los limos se adoptaron los métodos descritos por Smithson (1948).

Al microscopio petrográfico Ultraphot III de Zeiss, se le acoplan los accesorios que permiten trabajar aplicando contraste de fases, incluyendo los limos en líquidos de índice de refracción conocido. Para el caso, se utilizó el correspondiente al cuarzo ($i.r. = 1.54$). En las muestras se estudiaron todos los componentes, tanto los mineralógicos como los biolitos. Debido a que por lo pequeño de las tres fracciones del limo no se pueden separar los minerales ligeros, se cuentan los minerales pesados y los biolitos correspondientes a un total de 100 minerales. Así figuran en las tablas de recuento mineralógico. No se determinó porcentaje en la fracción de 0.008-0.002 mm, por ser de tamaño muy pequeño. Aquí se estimó la abundancia relativa como sigue: +++ dominante; ++ abundante; +. frecuente; + presente; . escaso; ind. indicio.

4.2.3.2. Difractometría de rayos X.

Una parte del material segregado y fraccionado fue analizada en el laboratorio de Rayos X del Instituto de Física de la UNAM, en un aparato Siemens D-500, con un tubo de cobre de una longitud de onda de 1.54 \AA , con rendijas de 2, 2, 0.6 y 0.6. Se trabajaron las muestras con 30 kV y 20 mA y con 45 kV y 15 mA. La difracción de rayos X se llevó a cabo en muestras de suelo total y en las fracciones de limo grueso, limo medio, limo fino y arcilla. Para el análisis de suelo

total se utilizó la muestra del mismo cernida, la cual se molió en un mortero de ágata, para posteriormente cernirlo con una malla de 0.044 mm de abertura.

La muestra cernida se colocó en un portamuestras de aluminio, se enrasó con un vidrio para que quedara en el plano de dicho portamuestras y se colocó en el difractómetro, con las condiciones antes descritas. Enseguida se editó el programa de medición, efectuando la misma mediante el programa del aparato. El difractograma obtenido se desplegó en pantalla y se procedió a la identificación de la muestra por medio del banco de datos de la computadora anexa al difractómetro. Finalmente se procedió a la impresión con él o los patrones de líneas superpuestos obtenidos a partir del archivo de JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards, 1990).

Otras muestras fueron analizadas en el Centro de Ciencias Medioambientales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en Madrid, España. El aparato usado en este caso fue un Philips PW 1130/00 con radiación K de cobre y un filtro de níquel. Se analizaron muestras de la fracción arcilla misma que fue saturada con magnesio. Se realizaron en muestras en polvo desorientado y en muestras orientadas.

4.2.4. Fraccionamiento de la Materia Orgánica

Para este fin se seleccionaron muestras representativas de los perfiles cinco (El Tejocote), seis (La Pólvora), ocho (El Coyote) y nueve (La Borreguita). El fraccionamiento de la materia orgánica se llevó a cabo mediante el método de Dabin, (1961).

4.2.5. Determinaciones microbiológicas

Las muestras del perfil nueve (La Borreguita) se utilizaron para la cuantificación de microorganismos. Esta se realizó con base a peso seco del suelo, determinándose el contenido de humedad por calentamiento a la estufa a 90 °C, hasta lograr un peso constante (aproximadamente

2 horas). La cuantificación de microorganismos se efectuó por el método de diluciones, tomándose cantidades de 10 g de cada muestra de suelo para hacer diluciones hasta 1:10⁵ de agua destilada estéril y se tomaron alícuotas de 1 ml de cada dilución para incorporarlos a medios de cultivo específicos. En este caso se empleó el medio de cultivo general gelpa (glucosa, extracto de levadura, peptona y agar).

Los cultivos fueron incubados a 26 °C y se hicieron observaciones periódicas para descubrir la presencia de microorganismos de los cuatro grupos de interés (mohos, bacterias, levaduras y actinomicetes). Los recuentos se hicieron después de cuatro días y se efectuaron tres lecturas de cada una de las repeticiones de cada dilución en un cuenta colonias Quebec (Rodríguez *et al.*, 1992).

4.2.6. Análisis Estadístico

Con las variables de interés se realizó un análisis de correlación y regresión lineal, así como también un análisis de correlación y regresión múltiple.

4.2.7. Taxonomía de suelos

Se utilizó la tradicional Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975, 1990, 1994, 1999) complementada por los reportes del ICOMID (1989).

V.- RESULTADOS

Los suelos del área Villa Juárez están desarrollándose sobre yesos del Cuaternario, con influencia de las formaciones cretácicas Tamasopo Inferior y Cárdenas, ignimbritas y tobas del Oligoceno-Mioceno y basaltos del Cuaternario.

La vegetación dominante es la que comprende la asociación denominada matorral desértico micrófilo (Rzedowski, 1961), con abundancia de especies de la familia de las leguminosas. Se encuentran principalmente *Acacia Berlandieri Benth.*, (huizache), *A. constricta*, (uña de gato), *A. farnesiana* (L.) Wild, (huizache), *A. pringlei*, (gavia), *Prosopis laevigata* (Swartz.) DC., (mezquite), *Dalea tuberculata* Lag., (escoba de Ramón). En otros sitios, aunque la vegetación arbórea o arbustiva sea la dominante, existe en el estrato inferior una vegetación que en algunos casos se considera como rupícola con dominancia de *Hechtia glomerata* Zucc., (guapilla china). En ambos casos se encuentra también la presencia de otras especies como *Larrea tridentata* (DC.) Cov., (gobernadora), *Yucca carnerosana* (Trel.) Mckeveley., (palma loca), *Y. filifera*, (palma china), *Opuntia imbricata* (Haw.) DC., (xoconostle), *O. leptocaulis* DC., (tasajillo), *O. rastrera*, (nopal rastrero).

La precipitación media, tomando en cuenta los datos de las cinco estaciones evapotermoplumiométricas más cercanas al área es de 412.1 mm y la temperatura media anual es de 20.8 °C. El mes más seco es febrero con una precipitación de 6.0 mm y el mes más húmedo es septiembre con una precipitación media de 82.5 mm. El mes más frío es enero y el más caliente es mayo, con temperaturas medias mensuales de 16.3 °C y 24.3 °C, respectivamente. El porcentaje de lluvia invernal es de 6.8 y la oscilación térmica de 7.9 °C.

5.1. Descripción Morfológica y Resultados Analíticos de los Perfiles Estudiados

5.1.1. Descripción morfológica y resultados analíticos del Perfil 1, El Tejocote.

Los datos morfológicos se encuentran en la Tabla 1 y los resultados analíticos, en la Tabla 2. En este suelo solamente se tomaron muestras por horizontes.

5.1.2. Descripción morfológica y resultados analíticos del Perfil 2, Las Enramadas.

Los datos morfológicos se encuentran en la Tabla 3 y los resultados analíticos en la Tabla 4. En este sitio se tomaron las muestras por horizontes genéticos y a cada 10 centímetros.

5.1.3. Descripción morfológica y resultados analíticos del Perfil 3, La Cardona.

Los datos, de la morfología, como de los resultados analíticos se encuentran, en las Tablas 5 y 6, respectivamente. Los muestreos se llevaron a cabo tanto por horizontes genéticos, como a cada 10 centímetros.

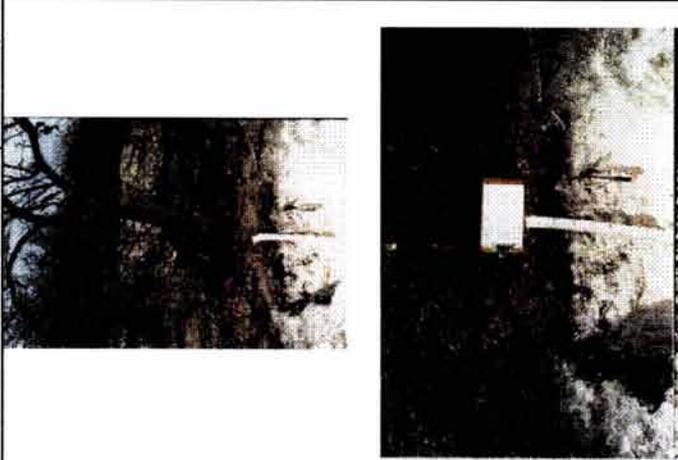
5.1.4. Descripción morfológica y resultados analíticos del Perfil 4, Las Enramadas.

Los datos de la descripción morfológica se encuentran en la Tabla 7 y los resultados analíticos, en la Tabla 8. Las muestras fueron tomadas únicamente por horizontes genéticos.

5.1.5. Descripción morfológica y resultados analíticos del Perfil 5, El Tejocote.

Los datos de la morfología y los obtenidos en el laboratorio, se encuentran en las Tablas 9 y 10. Las muestras se tomaron por horizontes genéticos únicamente.

Tabla 1. Descripción del Perfil 1, El Tejocote, Villa Juárez, S.L.P.

Localización: 2.8 km al W de la comunidad El Tejocote, sobre una vereda que va del cerro El Barril al cerro Alto; 2.25 km al sur de las vías del ferrocarril S.L.P.-Tampico.		
Altitud: 1130 msnm	Coordenadas: 22° 18' 16.21" LN y 100° 08' 15.88" LW. Cuadrante 14QLV 83 I 66 9.	
Clima: BS1hx(w)(e)g	Precipitación media anual: 500 mm; porcentaje de lluvia invernala, 7.7	
	Temperatura media anual: 20.5°C; oscilación térmica, 7.8	
		
Horizontes	Ap	By
Prof. (cm)	0-20	20-50
Límite	Neto, ondulado	Claro, plano
Textura (Tacto)	Migajón limoso	Limo arenoso
Color	Seco	Blanco, no Munsell
	Húmedo	10YR8/2
Estructura	Granular, fina, mod. desarrollada	Bloques angulares, muy finos mod. desarrollados
Plasticidad	Ligera	Nula
Adhesividad	Media	Media
Consistencia	Suave	Ligeramente dura
Permeabilidad	Alta	Media
Raíces	Comunes, gruesas	Moderadamente pocas, medias, desarrollo horizontal
Poros	Muchos, finos, vesiculares	Comunes, medios, vesiculares
Reacción al HCl	Fuertemente efervescente	Muy ligeramente efervescente
Reacción al H ₂ O ₂	Fuertemente efervescente	Ligeramente efervescente

Origen: Lacustre	Geología: Cuaternario	Material basal: Sedimentos de yeso	Topografía: Ondulada, pendiente del 8%
Pedregosidad superficial: Nula	Uso actual del suelo: Pastoreo intensivo de caprinos, ocasionalmente de ovinos y bovinos.	Cultivos: Ninguno	Salinidad: No apreciable
Erosión: Hídrica, moderada; cólica, ligera	Horizontes de diagnóstico: Ocrico de 0-25 centímetros; gypsic 25-50 centímetros.		
Vegetación natural: Matorral desértico microfilo; predominancia de <i>Acacia Berlandieri Benth.</i> , <i>Opuntia cantabrigensis Lynch.</i> , <i>O. imbricata (Haw.) DC.</i> , <i>Hechtia glomerata</i> , <i>Agave sp.</i> , <i>Dalea tuberculata</i> Lag.			
Clasificación USDA: Ustic Haplogypsid, franco fino, gypsic, térmico, Serie El Tejocote		Clasificación WRB: Gipsisol lepti-cálcico	

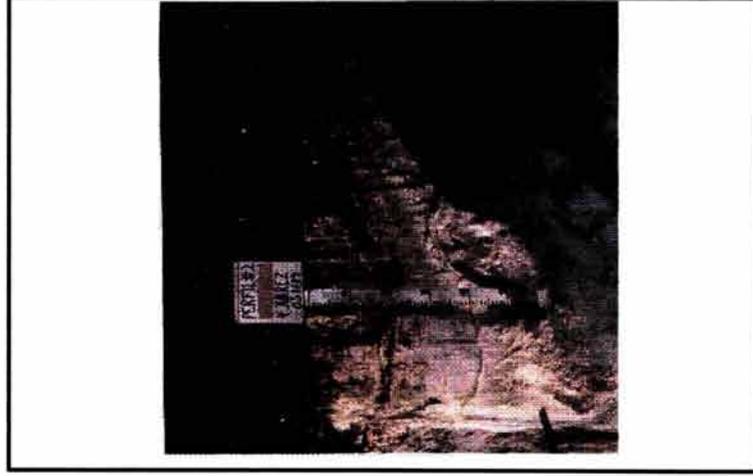
Tabla 2. Resultados analíticos del perfil No. 1, El Tejocote, Villa Juárez, S.L.P.

Horizonte	Ap	By
Profundidad (cm)	0-20	20-50
Densidad aparente (g cm^{-3})	1.08	0.82
Densidad real (g cm^{-3})	2.04	2.07
% Espacio poroso	47.1	60.4
Arena (%)	52.40	31.12
Limo (%)	36.00	58.56
Arcilla (%)	11.60	10.32
Clase textural	Franco	Migajón limoso
pH, relación 1:2.5		
En agua destilada	8.5	8.2
En KCl 1N	7.9	8.0
Del extracto	7.7	7.8
Materia orgánica (%)	8.41	0.62
Carbono orgánico (%)	4.88	0.36
Agua a saturación (%)	46.8	38.1
C. E. del extracto (dS m^{-1} a 25 °C)	2.1	2.0
Iones solubles ($\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$)		
HCO_3^-	18.0	16.0
Cl^-	0.17	12.0
CO_3^{2-}	2.0	N.D.*
SO_4^{2-}	33.5	39.6
Na^+	0.81	0.79
K^+	0.19	0.55
Ca^{2+}	45.1	49.2
Mg^{2+}	5.0	8.0
CIC ($\text{cmol}_e \text{kg}^{-1}$)	34.8	4.52
CaCO_3 (%)	29.8	5.0
Yeso (%)	32.1	72.5

* N.D. = No detectable

Tabla 3. Descripción morfológica del perfil No. 2, Las Enramadas, Villa Juárez, S.L.P.

Localización: 1.6 km sobre el camino de terracería de Las Enramadas-Granjenal, de ahí 600 m al este.		Coordenadas: 22° 21' 48.65" LN y 100° 06' 10.58" LW. Cuadrante QLV 86 6 73 8.	
Altitud: 1,100 msnm	Clima: BS ₁ hx'(w)(e)g	Precipitación media anual: 500 mm, % de lluvia invernal, 7.7	Temperatura media anual: 20.5 °C, oscilación térmica, 7.8.



Horizontes	Ap	A	Cy
Prof. en cm	0-5	5-16	16-40
Límite	Abrupto, ondulado	Claro, ondulado	Gradual, ondulado
Textura (tacto)	Limo arcillosa	Limo arcillosa	Limo arenosa
Color	10YR 5/2	10YR 8/1	10YR 8/1
	10YR 7/4	10YR 7/4	10YR 8/4
Estructura	Granular, fina, débilmente desarrollada	Bloques angulares, finos, débilmente desarrollados	Masiva
Plasticidad	Ligeramente plástico	Ligeramente plástico	No plástico
Adhesividad	Ligeramente adhesivo	Ligeramente adhesivo	Sin adhesividad
Consistencia	Suave	Suave	Extremadamente dura
Permeabilidad	Moderada	Moderada	Mod. lenta
Raíces	Comunes, medias	Comunes, gruesas	Muy pocas, medias
Poros	Muchos, medios, irregulares	Comunes, gruesos, tubulares	Muy pocos, medios, vesiculares
Reacción al HCl	Fuertemente efervescente	Moderadamente efervescente	Ligeramente efervescente
Reacción al H ₂ O ₂	Fuertemente efervescente	Moderadamente efervescente	Ligeramente efervescente

Origen: Lacustre	Geología: Cuaternario	Material basal: Sedimentos de yeso	Topografía: Ondulada, pendiente: 9%
Pedregosidad superficial: Nula	Uso actual del suelo: Pastoreo de ovinos	Erosión: Hídrica, severa	Salinidad: No apreciable
Horizontes de diagnóstico: Ócrico, de 0-18 centímetros; gypsic, de 18-40 centímetros			
Vegetación natural: Matorral desértico micrófilo; dominancia de <i>Acacia Berlandieri</i> Benth., <i>Opuntia cantabrigensis</i> Lynch., <i>Hechtia glomerata</i> Zucc., y <i>Agave sp</i>			
Clasificación USDA : Ustic Haplogypsid, franco fino, gypsic, térmico, Serie Las Enramadas		Clasificación WRB: Gipsisol lepti-cálcico	

Tabla 4. Resultados analíticos del perfil No. 2, Las Enramadas, Villa Juárez, S.L.P., muestreado por horizontes.

Horizonte	Muestreo por horizonte			Muestreo a cada 10 cm				
	Ap	A	C	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Profundidad (cm)	0-8	8-40	40-50					
Densidad (g cm ⁻³)								
Aparente	1.08	0.82	0.82	1.09	0.81	0.81	0.81	0.82
Real	2.12	2.07	2.06	2.12	2.12	2.12	2.11	2.06
Espacio poroso (%)	49.1	60.4	60.7	48.6	61.8	61.8	61.6	60.7
Arena (%)	26.76	19.84	36.76	24.68	17.64	20.82	28.6	34.28
Limo (%)	62.64	66.28	47.63	60.14	67.32	65.1	62.14	48.32
Arcilla (%)	10.6	13.88	15.6	14.28	15.04	14.08	9.26	17.4
Clase textural	Mig. Limoso	Mig. limoso	Franco	Mig. limoso	Mig. limoso	Mig. limoso	Mig. limoso	Franco
pH, relación 1:2.5 en agua destilada	8.1	8.2	8.2	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2
en KCl 1N	7.9	8.0	8.0	7.9	7.9	8.0	8.0	8.0
del extracto de la pasta de saturación	7.7	7.8	8.0	7.7	7.7	7.9	8.0	8.0
Materia orgánica (%)	3.10	0.68	0.62	2.66	1.16	0.96	0.62	0.62
Carbono orgánico (%)	1.80	0.40	0.36	1.52	0.67	0.56	0.36	0.36
C.E. del extracto de la pasta (dS m ⁻¹)	2.20	2.10	2.10	2.20	2.25	2.07	2.20	2.10
Agua a saturación (%)	52.0	41.2	40.8	49.2	46.4	41.3	41.2	40.8
Iones solubles (mmol _c L ⁻¹)								
HCO ₃ ⁻	18.0	16.0	12.0	18.0	10.0	12.0	10.0	15.0
Cl ⁻	17.0	12.0	11.0	16.0	12.0	13.0	12.0	11.0
SO ₄ ²⁻	35.1	33.4	32.6	34.2	26.6	30.8	33.4	32.6
Na ⁺	0.81	0.79	1.33	1.11	1.46	1.06	1.56	1.33
K ⁺	0.19	0.55	1.23	0.56	0.63	0.55	0.70	1.23
Ca ²⁺	45.1	49.2	48.0	45.2	38.0	42.8	45.8	48.0
Mg ²⁺	23.2	10.4	2.07	23.7	10.7	10.4	8.30	2.07
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	33.6	12.4	13.8	32.5	12.8	12.5	14.6	13.7
Carbonatos totales como CaCO ₃ (%)	32.0	8.0	7.0	30.0	8.0	8.0	8.0	7.0
Yeso (%)	14.2	21.4	69.8	14.8	19.4	21.2	21.6	69.8

Tabla 5, Descripción morfológica del perfil No. 3, La Cardona, Villa Juárez, S.L.P.

Localización: 650 m sobre el camino de terracería de La Cardona-Granjenal, de ahí 450 m al sur		Coordenadas: 22° 23' 14.59" LN y 100° 07' 49.41" LW. Cuadrante QLV 83 7 76 2	
Altitud: 1150 msnm	Clima: BS1hw(e)gw"	Precipitación media anual: 621.1 mm; porcentaje de lluvia invernal, 7.4	Temperatura media anual: 21.8°C; oscilación térmica, 9.5
			
Horizontes	Ap	Bw	Cy
Prof. (cm)	0-10	10-21	21-36
Límite	Muy abrupto, irregular	Abrupto, ondulado	Gradual, plano
Textura (tacto)	Migajón limosa	Limo arenosa	Limo arenosa
Color	Seco	10YR5/1	10YR8/1
	Húmedo	10YR4/1	10YR6/3
Estructura	Granular, media, mod. desarrollada	Bloques angulares, finos, mod. desarrollados	Bloques angulares, finos, mod. desarrollados
Plasticidad	Ligeramente plástico	Ligeramente plástico	No plástico
Adhesividad	Ligeramente adhesivo	Ligeramente adhesivo	No adhesivo
Consistencia	Suave	Ligeramente dura	Mod. dura
Permeabilidad	Alta	Moderada	Baja
Raíces	Comunes, medias	Muy pocas, medias	Muy pocas, medias
Poros	Muchos, finos vesiculares	Muy pocos, intersticiales	Muy pocos, intersticiales
Reacción al HCl	Efervescencia violenta	Efervescencia ligera	Efervescencia muy ligera
Reacción al H ₂ O ₂	Efervescencia fuerte	Efervescencia muy ligera	Efervescencia muy ligera

Origen: Lacustre	Geología: Cuaternario	Material basal : Sedimentos de yeso	Topografía: Ondulada, pendiente del 12%
Pedregosidad superficial: Baja		Uso actual del suelo: Pastoreo de caprinos y ovinos; agricultura de temporal	
Erosión: Hídrica, severa; cólica, moderada		Cultivos: Maíz y frijol	Salinidad: No apreciable
Horizontes de diagnóstico: Ócrico, de 0-12 centímetros; gypsic, de 12-50 centímetros			
Vegetación Natural: Matorral desértico micrófilo, dominancia de <i>Acacia Berlandieri</i> Benth., <i>Opuntia imbricata</i> (Haw.)DC, <i>Hechtia glomerata</i> Zucc., y <i>Agave</i> sp.			
Clasificación USDA: Ustic Haplogypsid, franco fino, gypsic, térmico, Serie La Cardona		Clasificación WRB: Gipsisol lepti-cálcico	

Tabla 6. Resultados analíticos del perfil No. 3, La Cardona, Villa Juárez, S.L.P., muestreado por horizontes y a cada 10 cm.

Horizonte	Ap	Bw	Cy				
Profundidad (cm)	0-10	10-21	21-36	0-10	10-20	20-30	30-36
Densidad (g cm ⁻³)							
Aparente	1.07	0.82	0.96	1.07	0.82	0.97	0.96
Real	2.20	2.29	2.25	2.20	2.29	2.36	2.25
Espacio poroso (%)	51.4	64.2	61.5	51.4	64.2	58.2	61.5
Arena (%)	24.76	54.12	39.04	24.00	54.12	38.76	39.04
Limo (%)	35.28	35.92	53.8	36.28	35.92	52.12	53.8
Arcilla (%)	39.96	9.96	7.16	39.72	9.96	9.12	7.16
Clase textural	Mig. arcilloso	Mig. arenoso	Mig. limoso	Mig. arcilloso	Mig. arenoso	Mig. limoso	Mig. limoso
pH, relación 1:2.5							
En agua destilada	8.0	8.0	8.2	8.0	8.0	8.1	8.2
En KCl 1N	7.7	7.5	7.6	7.7	7.5	7.6	7.7
Del extracto	8.0	8.0	7.7	8.0	7.9	7.7	7.9
Materia orgánica (%)	2.87	1.30	0.21	2.87	1.30	0.68	0.15
Carbono orgánico (%)	1.66	0.75	0.12	1.66	0.75	0.39	0.09
C.E. del extracto (dS m ⁻¹)	2.14	2.20	2.20	2.14	2.20	2.18	2.25
Agua a saturación (%)	40.0	44.0	33.0	40.0	44.8	32.0	34.0
Iones solubles (mmol _c L ⁻¹)							
HCO ₃ ⁻	10.0	12.0	12.0	10.0	11.0	11.0	10.0
Cl ⁻	13.0	11.0	9.0	13.0	13.0	10.0	9.0
SO ₄ ²⁻	24.8	36.8	36.8	24.8	36.8	37.8	24.8
K ⁺	0.19	0.18	0.20	0.19	0.26	0.15	0.24
Na ⁺	1.03	1.12	1.83	0.44	1.5	1.64	0.37
Ca ²⁺	41.0	43.1	36.8	41.0	41.0	38.9	36.8
Mg ²⁺	4.15	14.90	12.4	4.15	14.5	12.1	10.7
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	31.26	27.01	17.13	31.26	26.05	16.17	19.2
Carbonatos totales como CaCO ₃ (%)	32.0	8.0	8.0	32.0	11.0	8.0	8.0
Yeso (%)	16.4	35.7	76.8	16.4	35.6	75.1	76.9

Tabla 7. Descripción del perfil 4, Las Enramadas, Villa Juárez, S.L.P.

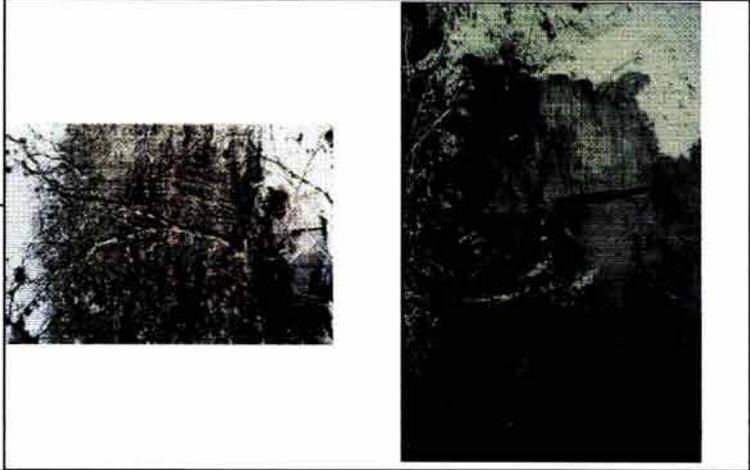
Localización: 2.2 km sobre el camino de terracería de Las Enramadas-Granjeral, de ahí 500m al NW		Coordenadas: 22° 21' 16.21" LN y 100° 06' 35.29" LW. Cuadrante 14QLV 85 6 74 6.			
Altitud: 1100 msnm	Clima: BS1hx'(w)(e)g	Precipitación media anual: 538.6 mm; porcentaje de lluvia invernal, 7.7	Temperatura media anual: 20.5°C; oscilación térmica, 7.8		
	Horizontes	Ap	A/B	By	
	Prof. (cm)	0-7	7-12	12-30	
	Límite	Claro, Plano	Gradual, Ondulado	Gradual, plano	
	Textura (tacto)	Migajón limosa	Migajón limosa	Migajón arenosa	
	Color	Seco	10YR4/1	10YR6/1	10YR8/1
		Húmedo	10YR3/1	10YR4/1	10YR8/2
	Estructura	Granular, fina y muy fina, mod. desarrollada	Bloques angulares, finos y medios, débilmente desarrollados	Bloques angulares, finos y medios, fuertemente desarrollados	Bloques angulares, finos y medios, fuertemente desarrollados
	Plasticidad	Ligeramente plástico	Ligeramente plástico	Ligeramente plástico	No plástico
	Adhesividad	Ligeramente adhesivo	Ligeramente adhesivo	Ligeramente adhesivo	No adhesivo
	Consistencia	Suave	Ligeramente dura	Ligeramente dura	Mod. dura
	Permeabilidad	Alta	Moderada	Moderada	Baja
	Raíces	Muchas, medias y finas	Comunes, medias	Comunes, medias	Muy pocas, gruesas
	Poros	Muchos, finos vesiculares	Muy pocos, intersticiales	Muy pocos, intersticiales	Muy pocos, intersticiales
Reacción al HCl	Eferescencia violenta	Eferescencia ligera	Eferescencia ligera	Eferescencia muy ligera	
Reacción al H ₂ O ₂	Eferescencia fuerte	Eferescencia ligera	Eferescencia ligera	Eferescencia muy ligera	

Origen: Lacustre	Geología: Cuaternario, Cretácico	Material basal : Yeso de color crema	Topografía: Ondulada, pendiente del 9%
Pedregosidad superficial: Nula	Uso actual del suelo: Pastoreo de caprinos y ovinos; agricultura de temporal		
Erosión: Hídrica, severa; cólica, moderada	Cultivos: Maíz y frijol	Salinidad: No apreciable	
Horizontes de diagnóstico: Ócrico, de 0-12 centímetros; gypsic, de 12-30 centímetros			
Vegetación Natural: Matorral desértico micrófilo y matorral crasicaule, dominancia de <i>Hechtia glomerata</i> Zucc, <i>Acacia Berlandieri</i> Benth., <i>Opuntia imbricata</i> (Haw.) DC, y <i>Yucca filifera</i> Chab.			
Clasificación USDA: Ustic Haplogypsid, franco fino, gypsic, térmico, Serie Las Enramadas	Clasificación WRB: Gipsisol lepti-cálcico		

Tabla 8. Resultados analíticos del perfil No. 4, Las Enramadas, Villa Juárez, S.L.P.

Horizonte	Ap	A/B	By
Profundidad (cm)	0-7	7-12	12-30
Densidad (g cm ⁻³)			
Aparente	0.91	0.75	0.82
Real	1.96	2.06	2.15
Espacio poroso	53.6	63.6	61.9
pH, relación 1:2.5			
En agua destilada	8.1	8.4	8.3
En KCl 1N	7.3	7.7	7.9
pH, relación 1:5			
En agua destilada	7.8	7.9	8.0
En KCl 1N	7.1	7.8	8.1
pH, relación 1:10			
en agua destilada	8.3	8.3	8.4
en KCl 1N	7.3	7.8	8.2
pH del extracto	7.9	8.0	8.0
Materia orgánica (%)	10.9	3.58	1.21
Carbono orgánico (%)	6.33	2.08	0.70
Textura con [(NaPO ₃) ₆ + Na ₂ CO ₃]			
Arena (%)	31.8	21.8	25.1
Limo (%)	42.0	70.0	66.0
Arcilla (%)	26.2	8.2	8.9
Clase textural	Franco	Migajón limoso	Migajón limoso
Textura con (Na ₂ SiO ₃ + Na ₂ C ₂ O ₄)			
Arena (%)	30.4	20.4	20.2
Limo (%)	68.4	71.6	74.2
Arcilla (%)	1.2	8.0	5.6
Clase textural	Migajón limoso	Migajón limoso	Migajón limoso
Agua a saturación (%)	49.6	44.0	36.0
C.E. del extracto (dS m ⁻¹)	2.23	2.00	2.00
Iones solubles (mmol _c L ⁻¹)			
HCO ₃ ⁻	16.0	12.0	10.0
Cl ⁻	11.0	12.0	11.0
SO ₄ ²⁻	38.6	37.9	37.9
Na ⁺	0.83	0.65	0.83
K ⁺	0.33	0.14	0.19
Ca ²⁺	36.9	38.9	38.9
Mg ²⁺	10.4	15.8	22.8
Carbonatos totales como CaCO ₃ (%)	28.0	9.0	3.0
Yeso (%)	12.8	31.62	71.8
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	43.9	15.8	4.7

Tabla 9. Descripción del perfil 5, El Tejocote, Villa Juárez, S.L.P.

Localización: 2 km al sur de la localidad El Tejocote, 1.6 km al sur de las vías del ferrocarril S.L.P.-Tampico		Coordenadas: 22° 18' 22.7" LN y 100° 07' 21.17" LW. Cuadrante QLV 84 1 67 I			
Altitud: 1100 msnm	Clima: BS1hx'(w)(e)g	Precipitación media anual: 538.6 mm; porcentaje de lluvia invernal, 7.7	Temperatura media anual: 20.5°C; oscilación térmica, 7.8		
		Horizontes	Bw	Cy	
		Prof. en cm	0-12	20-56	
		Límite	Gradual, irregular	Gradual, plano	
		Color	Seco Húmedo	10YR4/2 10YR2/2	Blanco, no Münsell 10YR7/3
		Textura (tacto)	Migajón limosa	Migajón limosa	Migajón arenosa
		Estructura	Bloques subangulares, finos y muy finos, déb. desarrollados	Bloques angulares, finos y medios, mod. desarrollados	Laminar, media, débilmente desarrollada
		Plasticidad	Ligeramente plástico	Ligeramente plástico	No plástico
		Adhesividad	Ligeramente adhesivo	Ligeramente adhesivo	No adhesivo
		Consistencia	Suave	Suave	Mod. dura
		Permeabilidad	Alta	Alta	Baja
		Raíces	Muchas, medias y muy gruesas, des. horizontal	Muchas, gruesas y finas	Muy pocas, finas
		Poros	Muchos, finos vesiculares	Comunes, intersticiales	Mod. pocos, intersticiales
		Reacción al HCl	Efervescencia ligera	Efervescencia ligera	Efervescencia muy ligera
		Reacción al H ₂ O ₂	Efervescencia muy fuerte	Efervescencia ligera	Efervescencia muy ligera

Origen: Lacustre	Geología: Cuaternario	Material basal : Sedimentos de yeso	Topografía: Ondulada, pendiente del 9%
Pedregosidad superficial: Nula	Uso actual del suelo: Pastoreo de caprinos y ovinos		
Erosión: Hídrica, moderada; cólica, ligera	Cultivos: Ninguno	Salinidad: No apreciable	
Horizontes de diagnóstico: Mólico, 0-18 centímetros; gypso, 18-56 centímetros			
Vegetación natural: Matorral desértico micrófilo, dominancia de <i>Acacia Berlandieri</i> Benth., <i>Hechtia glomerata</i> Zucc., <i>Opuntia imbricata</i> (Haw.) DC. y <i>Opuntia</i> sp.			
Clasificación USDA: Gypsic Calcicustoll, franco fino, gypso, térmico, Serie El Tejocote	Clasificación WRB: Kastanozem calci-gypso		

Tabla 10. Resultados analíticos del perfil No. 5, El Tejocote, Villa Juárez, S.L.P.

Horizonte	Ap	Bw	Cy
Profundidad (cm)	0-12	12-20	20-30
Densidad (g.cm ⁻³)			
Aparente	0.86	0.70	0.75
Real	1.99	2.12	2.15
Espacio poroso (%)	56.8	67.0	65.1
pH, relación 1:2.5			
en agua destilada	8.2	8.3	8.3
en KCl 1N	7.7	8.0	8.0
pH, relación 1:5			
en agua destilada	8.0	8.2	8.3
en KCl 1N	7.8	7.9	7.9
pH, relación 1:10			
en agua destilada	8.4	8.4	8.4
en KCl 1N	8.1	8.1	8.3
pH del extracto	7.8	8.0	8.0
Materia orgánica (%)	8.41	1.50	1.04
Carbono orgánico (%)	4.88	0.87	0.60
Textura con [(NaPO ₃) ₆ +Na ₂ CO ₃]			
Arena (%)	31.84	23.84	
Limo (%)	46.00	66.0	
Arcilla (%)	22.16	10.16	
Clase textural	Franco	Migajón limoso	
Textura con (NaSiO ₃)+(Na ₂ C ₂ O ₄)			
Arena (%)	34.4	26.8	20.8
Limo (%)	49.6	67.4	71.6
Arcilla (%)	16.0	5.6	7.6
Clase textural	Migajón limoso	Migajón limoso	Migajón limoso
Agua a saturación (%)	55.6	40.8	34.8
C.E. del extracto (dS m ⁻¹)	1.95	2.08	1.90
Iones solubles (mmol _c L ⁻¹)			
HCO ₃ ⁻	11.0	8.0	10.0
Cl ⁻	12.0	13.0	9.0
SO ₄ ⁻²	34.3	39.4	36.3
Na ⁺	0.55	0.81	0.83
K ⁺	0.43	0.27	0.35
Ca ²⁺	34.9	38.9	38.7
Mg ²⁺	20.3	12.2	2.07
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	39.6	10.2	4.26
Carbonatos totales como			
CaCO ₃ (%)	32.0	5.0	4.0
Yeso (%)	25.4	37.5	78.3

Como ya se mencionó anteriormente, los perfiles seis y siete tienen en común que son derivados de materiales donde en gran medida tienen influencia los carbonatos, principalmente de calcio.

En el caso del perfil seis, el material que le está dando origen a este suelo son aluviones del Cuaternario, más o menos estables; tiene influencia, al menos en parte, de calizas del Cretácico y de materiales basálticos del Cuaternario; recibe también influencia de roca ígnea intrusiva, ya que en la parte alta del área existe un cono basáltico y un cuello intrusivo de tonalita.

La precipitación media anual, tomando en cuenta la cinco estación más cercana (El Huizache), es de 336.1 mm, siendo el mes más lluvioso junio con 56.5 mm y el más seco noviembre con 7.2 mm; el porcentaje de lluvia invernal es de 10.0. La temperatura media anual es de 20.7 °C; el mes más cálido es mayo con 24.2 °C de promedio mensual; el mes más frío es enero con una temperatura media mensual de 16.0 °C; la oscilación térmica es de 8.2 (García, 1988).

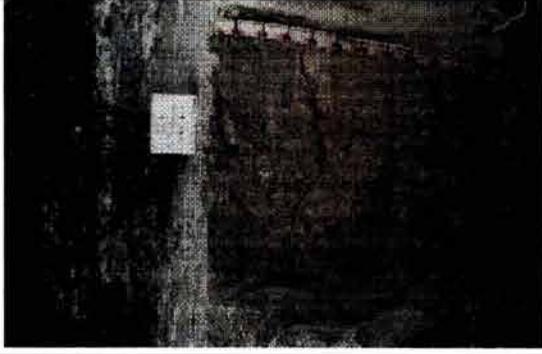
La vegetación dominante, tanto en este perfil como en el siete, es la perteneciente al matorral desértico micrófilo (Rzedowski, 1961), con la presencia casi exclusiva de *Larrea tridentata* (DC.) Cov., gobernadora. En el perfil siete existen otros elementos que conforman la vegetación y que llegan a formar bosquecillos, estos son individuos de *Yucca carnerosana* (Trel.) Mckeveley., palma loca y *Y. filifera*. Para el perfil ocho, que se desarrolla en la ladera de un cerro calizo, la vegetación dominante es la perteneciente al matorral desértico rosetófilo (Rzedowski, 1961) y la especie más abundante es *Hechtia glomerata* Zucc., guapilla china.

5.6. Descripción morfológica y resultados analíticos del Perfil 6, La Pólvora.

La descripción morfológica del perfil seis se encuentra en la tabla 11; los resultados analíticos de este perfil, de las muestras tomadas por horizontes se muestran en la tabla 12.

Tabla 11. Descripción del perfil 6, La Pólvora, Guadalcázar, S.L.P.

Localización: 4.5 km al norte del entronque de la carretera San Luis Potosí-Cd. Mante con un camino de terracería de La Pólvora-Santa Rita del Rucío, 400 m hacia el este.		Coordenadas: 22° 56' 34.05" LN y 100° 19' 12.35" LW. Cuadrante 14QLA63 5 37 8	
Altitud: 1340 msnm		Temperatura media anual: 20.7°C; oscilación térmica, 8.2	
Clima: BS0hx(w)(e)gw"		Precipitación media anual: 336 mm; porcentaje de lluvia invernal, 10.0	
Horizontes		A	Bw1
Ap		Bk	
Prof. (cm)		35-55	70-120
Limite		Dif., abrupto	Dif., irreg.
Color		10YR7/4	10YR8/4
Seco		10YR5/4	10YR6/4
Húmedo			
Textura (tacto)		Limo arenosa	Migajón limosa
Estructura		Bloques angulares, medios y finos, déb. desarrollados	Bloques subangulares, medios, mod. desarrollados
Plasticidad		Ligeramente plástico	Ligeramente plástico
Adhesividad		Ligeramente adhesivo	No adhesivo
Consistencia		Ligeramente dura	Muy dura
Permeabilidad		Alta	Moderada
Raíces		Comunes, medias	Mod. Pocas, finas
Poros		Muchos, finos vesiculares	Mod. pocos, vesiculares
Reacción al HCl		Efervescencia ligera	Efervescencia muy fuerte
Reacción al H ₂ O ₂		Efervescencia fuerte	Efervescencia muy ligera



Origen: Aluvial	Geología: Cretácico, Cuaternario	Material basal : Aluvión	Topografía: Plana, pendiente del 2%
Pedregosidad superficial: Baja		Uso actual del suelo: Pastoreo de caprinos, bovinos y ovinos; agricultura de temporal	
Erosión: Hídrica, moderada; cólica, severa		Cultivos: Maíz, frijol	Salinidad: Moderada
Horizontes de diagnóstico: Ócrico, 0-50 centímetros; cálcico, 50-120 centímetros			
Vegetación Natural: Matorral desértico micrófilo, dominancia de <i>Larrea tridentata</i> DC. (Cov.) y elementos aislados de <i>Prosopis laevigata</i> (Swartz.) DC			
Clasificación USDA: Typic Haplocalcid, arcilloso, cálcico, térmico, Serie La Pólvora			Clasificación WRB: Calcisol háplico

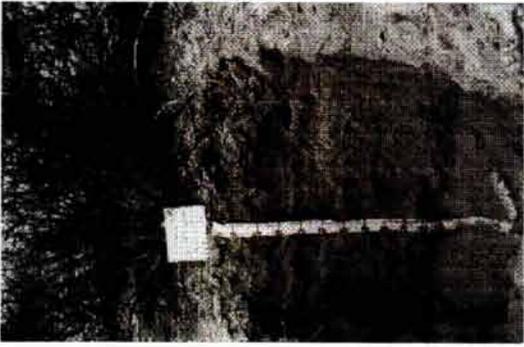
Tabla 12. Resultados analíticos del perfil No. 6, La Pólvora, Guadalcázar, S.L.P., muestreado por horizontes.

Horizonte	Ap	A	Bw1	Bw2	Bk
Profundidad (cm)	0-20	20-35	35-55	55-70	70-120
Densidad (g cm ⁻³)					
Aparente	0.90	0.93	0.91	0.90	0.98
Real	2.13	2.10	2.27	2.30	2.26
Espacio poroso (%)	57.7	57.9	59.9	60.9	56.6
pH, relación 1:2.5					
En agua destilada	8.8	8.6	8.5	8.5	8.6
En KCl 1N	7.8	7.7	7.8	7.8	8.0
pH, relación 1:5					
en agua destilada	9.0	8.6	8.6	8.7	8.9
en KCl 1N	8.9	8.1	7.9	7.8	8.0
pH, relación 1:19					
en agua destilada	9.2	9.1	9.1	9.4	9.2
en KCl 1N	8.4	8.2	8.2	8.3	8.6
pH del extracto	8.4	8.0	7.8	7.7	7.8
Materia orgánica (%)	3.58	0.75	2.08	1.33	0.65
Carbono orgánico (%)	2.08	0.43	1.21	0.77	0.38
Textura con [(NaPO ₃) ₆ + Na ₂ CO ₃]					
Arena (%)	21.84	27.12	21.84	19.84	37.84
Limo (%)	52.00	26.00	42.00	42.00	42.00
Arcilla (%)	26.16	46.88	36.16	38.16	20.16
Clase textural	Migajón arcilloso	Arcilla	Migajón arcilloso	Migajón arcilloso	Franco
Textura con Na ₂ SiO ₃ + Na ₂ C ₂ O ₄					
Arena (%)	24.8	22.4	20.8	32.8	34.8
Limo (%)	51.2	51.6	47.6	39.6	47.5
Arcilla (%)	24.0	26.0	32.6	27.6	17.8
Clase textural	Migajón limoso	Migajón arcilloso	Migajón arcilloso	Migajón arcilloso	Franco
Agua a saturación (%)	47.9	42.0	40.4	38.5	38.2
C.E. del extracto (dS m ⁻¹)	0.56	3.40	10.0	12.3	11.3
Iones solubles cmol _c L ⁻¹					
HCO ₃ ⁻	16.0	14.0	14.0	16.0	10.0
Cl ⁻	11.0	32.0	98.0	121.0	121.0
SO ₄ ²⁻	11.1	11.1	12.9	21.4	13.7
Na ⁺	1.02	8.65	54.6	78.0	79.6
K ⁺	0.97	1.38	1.50	1.70	1.20
Ca ²⁺	14.3	32.8	61.5	55.4	47.2
Mg ²⁺	12.5	10.4	18.7	47.7	12.5
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	28.17	25.65	26.62	20.31	19.56
Carbonatos totales como CaCO ₃ (%)	18.0	26.0	31.0	30.0	38.0
Yeso (%)	0.3	0.6	0.4	0.3	0.3

Tabla 13. Resultados analíticos del perfil No. 6, La Pólvora, Guadalcázar, S.L.P., muestreado a cada 10 cm.

Profundidad (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120
Densidad g cm ⁻³												
Aparente	0.87	0.92	0.94	0.93	0.94	0.93	0.93	0.93	0.96	0.98	0.99	1.00
Real	2.09	2.09	2.08	2.21	2.24	2.30	2.27	2.26	2.45	2.30	2.29	2.28
Espacio poroso (%)	54.8	56.0	54.8	57.9	58.0	59.6	59.0	58.0	60.8	57.4	56.8	56.1
pH, relación 1:2.5												
En agua destilada	8.8	8.9	8.6	8.4	8.4	8.5	8.5	8.5	8.5	8.7	8.5	8.7
En KCl 1N	8.0	7.9	8.1	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.7	7.8	7.8	8.0
pH, relación 1:5												
En agua destilada	8.9	8.9	8.6	8.6	8.6	8.5	8.7	8.7	8.8	9.0	9.1	9.0
En KCl 1N	8.0	8.0	8.0	7.9	8.0	7.9	7.8	8.0	7.9	7.9	8.1	8.1
pH relación 1:10												
En agua destilada	9.2	9.1	8.1	8.8	9.0	9.1	9.2	9.4	9.3	9.3	9.3	9.4
En KCl 1N	8.3	8.5	8.2	8.1	8.3	8.4	8.5	8.5	8.5	8.1	8.2	8.3
pH del extracto	8.5	8.5	8.1	7.8	7.8	7.6	7.2	7.8	7.8	7.8	7.9	7.8
Materia orgánica (%)	4.48	3.19	2.78	1.77	1.59	0.83	1.71	1.12	0.77	0.83	0.59	0.65
Carbono Orgánico (%)	2.56	1.85	1.67	1.03	0.92	0.48	0.99	0.65	0.45	0.48	0.34	0.38
Textura con (NaPO ₃) ₆ +Na ₂ CO ₃												
Arena (%)	26.56	43.12	20.56	20.56	14.56	22.56	21.12	34.56	38.56	37.28	38.56	40.56
Limo (%)	48.00	34.00	52.00	48.00	46.0	34.00	38.00	42.00	44.00	48.00	42.00	32.00
Arcilla	25.44	22.88	27.44	31.44	34.99	43.44	40.88	23.44	17.44	14.72	19.44	27.44
Clase textural	Fr.	Fr.	Mig. Lim.	Mig. Arc.	Mig. Arc. Lim.	Arc.	Arc.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Mig. Arc.
Textura con Na ₂ SiO ₃ +Na ₂ C ₂ O ₄												
Arena (%)	23.2	16.4	26.8	25.6	15.6	27.6	31.6	31.6	25.6	35.6	43.6	37.2
Limo (%)	62.0	58.0	51.6	50.8	50.8	47.2	45.6	45.6	49.2	49.2	45.2	47.6
Arcilla (%)	14.8	25.6	21.6	23.6	33.6	25.2	22.8	22.8	25.2	14.8	11.2	15.2
Clase textural	Mig.	Mig.	Mig.	Mig.	Mig.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.
Agua a sat. (%)	50.0	47.3	45.0	44.4	39.8	39.5	38.0	38.8	39.0	37.2	36.6	35.9
C.E. (dS m ⁻¹)	0.52	0.64	2.33	7.20	12.0	12.2	12.2	10.2	10.2	9.6	8.6	9.2
Iones solubles (mmol _c L ⁻¹)												
HCO ₃ ⁻	14.0	16.0	10.0	10.0	9.0	8.0	8.0	7.0	8.0	8.0	9.0	5.0
Cl ⁻	12.0	11.0	27.0	63.0	124.5	117.0	121.0	117.5	107.0	104.5	97.5	101.5
SO ₄ ²⁻	5.14	15.9	15.1	15.9	10.4	19.6	22.3	17.4	15.6	16.1	11.4	14.6
Na ⁺	1.02	1.20	5.48	25.4	20.9	26.1	78.3	70.4	70.3	67.3	60.0	63.9
K ⁺	0.77	0.73	1.38	2.43	2.82	2.26	1.95	1.67	1.64	1.33	1.08	1.03
Ca ²⁺	18.5	16.4	24.6	55.3	71.6	63.7	55.7	33.8	49.6	45.8	17.9	35.8
Mg ²⁺	4.2	6.2	2.1	20.7	19.4	15.5	15.5	31.0	13.8	5.8	13.6	17.5
Carbonatos totales Como CaCO ₃ (%)	15.0	17.0	22.0	31.0	29.0	29.0	32.0	34.0	38.0	35.0	34.0	33.0

Tabla 14. Descripción del perfil 7, El Coyote, Villa Hidalgo, S.L.P.

Localización: Sobre la carretera 57, tramo S.L.P.-Matchuala, desviarse en el cruce de Charco Cercado 8.1 km rumbo a El Coyote, de ahí 600 m al sur sobre una vereda		Coordenadas: 22° 53' 00" LN y 100° 33' 19.41" LW. Cuadrante 16QLA 40 2 31 6.			
Altitud: 1400 msnm	Clima: BSohx'(w)(e)gw" Precipitación media anual: 336 mm; porcentaje de lluvia invernal, 10.0		Temperatura media anual: 20.7 °C; oscilación térmica, 8.2		
					
Horizontes	Ap1	Ap2	Ck1	Ck2	Ckm
Prof. (cm)	0-20	20-30	30-55	55-85	85-110
Límite	Claro, ondulado	Gradual, plano	Gradual, plano	Gradual, plano	Gradual, plano
Color	Seco	10YR5/3	10YR6/2	10YR6/3	10YR8/2
	Húmedo	10YR6/3	10YR6/3	10YR5/4	10YR5/3
Textura (tacto)	Areno limosa	Areno limosa	Areno limosa	Areno migajón	Arena
Estructura	Bloques subangulares, medios y finos, déb. desarrollados	Bloques angulares, medios y finos, déb. desarrollados	Bloques angulares, medios y finos, déb. desarrollados	Bloques angulares, medios y finos, mod. desarrollados	Bloques subangulares, medios, fuertem. desarrollados
Plasticidad	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico
Adhesividad	No adhesivo	No adhesivo	No adhesivo	No adhesivo	No adhesivo
Consistencia	Suave	Lig. dura	Lig. dura	Dura	Muy dura
Permeabilidad	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada
Raíces	Pocas, medias	Pocas, medias	Mod. pocas, finas	Mod. Pocas, finas	Mod. Pocas, finas
Poros	Muchos, finos vesiculares	Comunes, vesiculares	Comunes, vesiculares	Pocos, vesiculares	Pocos, vesiculares
Reacción al HCl	Efervescencia violenta	Efervescencia fuerte	Efervescencia fuerte	Efervescencia fuerte	Efervescencia muy fuerte
Reacción al H ₂ O ₂	Efervescencia ligera	Efervescencia ligera	Efervescencia ligera	Efervescencia ligera	No efervescente

Origen: Aluvial	Geología: Cretácico, Cuaternario	Material basal : Aluvión	Topografía: Plana-ondulada, pendiente del 7%
Pedregosidad superficial: Moderada	Uso actual del suelo: Pastorcio de caprinos, bovinos y ovinos; agricultura de temporal		
Erosión: Eólica, moderada; hídrica severa	Cultivos: Maíz, frijol Salinidad: No apreciable		
Horizontes de diagnóstico: Ocrico, de 0-35 centímetros; cálcico, de 35-90 centímetros; petrocálcico de 90-110 centímetros			
Vegetación Natural: Matorral desértico micrófilo en asociación con matorral desértico rosetófilo. Las principales especies son: <i>Prosopis laevigata</i> (Swartz.) DC., <i>Flourensia cernua</i> DC., <i>Agave</i> sp., <i>Opuntia imbricata</i> (Haw.) DC., <i>O. leptocaulis</i> DC., <i>O. cantabrigensis</i> Lynch., <i>Ferocactus pilosus</i> (Galeotti), <i>Echinocactus platyacanthus</i> Link et Otto, <i>Yucca filifera</i> Chab., <i>Y. carnerosana</i> y <i>Larrea tridentata</i> (DC.) Cov.			
Clasificación USDA: Calcic Petrocalcic, limoso, grueso, carbonático, térmico, Serie El Coyote		Clasificación WRB: Calcisol petric-hipercálcico	

Tabla 15. Resultados analíticos del perfil No. 7. El Coyote, Guadalcázar, S.L.P.

Horizonte	Ap1	Ap2	Ck1	Ck2	Ckm
Profundidad (cm)	0-20	20-30	30-55	55-85	85-110
Densidad (g cm ⁻³)					
Aparente	0.89	0.78	0.89	0.91	0.90
Real	2.13	2.08	2.17	2.27	2.27
Espacio poroso (%)	58.2	65.2	59.0	59.9	60.4
pH relación 1:2.5					
En agua	8.7	8.4	8.3	8.1	8.8
En KC1 1N	8.0	8.0	8.0	8.0	8.1
pH. Relación 1:5					
En agua	9.1	8.7	8.4	8.2	8.3
En KC1 1N	8.4	8.3	8.3	8.3	8.2
pH. Relación 1:10					
En agua	9.2	9.0	8.7	8.6	8.7
En KC1 1N	8.5	8.2	8.2	8.2	8.2
pH del extracto	8.4	8.2	7.6	7.4	7.7
Materia orgánica (%)	4.66	4.58	3.37	2.18	1.71
Carbono orgánico (%)	2.70	2.66	1.95	1.27	0.99
Textura con [(NaPO ₃) ₆ +Na ₂ CO ₃]					
Arena (%)	31.84	31.12	25.84	25.84	35.12
Limo (%)	38.00	30.00	70.00	40.00	30.00
Arcilla	30.16	38.88	4.16	34.16	34.88
Clase textural	Mig.arc.	Mig.arc.	Mig.lim.	Mig.arc	Mig.arc.
Con [Na ₂ SiO ₃ +Na ₂ C ₂ O ₄]					
Arena (%)	40.4	51.2	30.8	23.2	39.6
Limo (%)	48.0	39.2	53.6	75.2	58.8
Arcilla (%)	11.6	9.6	15.6	1.6	1.6
Clase textural	Franco	Franco	Mig	Mig.	Mig
Agua a saturación (%)	49.4	49.0	45.8	45.6	44.8
C.E. del extracto (dS m ⁻¹)	0.6	2.3	16.0	18.5	16.5
Iones solubles (cmmol _c L ⁻¹)					
HCO ₃ ⁻	12.0	12.0	9.0	8.0	10.0
Cl ⁻	10.0	21.0	167.5	213.5	190.0
SO ₄ ²⁻	13.2	17.3	12.1	5.2	5.2
Na ⁺	1.52	6.19	47.5	61.3	61.3
K ⁺	1.44	2.18	6.87	9.13	5.23
Ca ⁺²	9.95	15.9	113.4	139.3	121.4
Mg ⁺²	1.94	9.7	33.0	52.4	39.9
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	27.6	25.4	20.4	18.5	16.5
Carbonatos totales					
Como CaCO ₃ (%)	46.0	45.0	52.0	58.0	59.0
Yeso (%)	0.2	0.2	0.1	--	--

Tabla 16. Descripción del perfil 8 , El Coyote, Villa Hidalgo, S.L.P.

Localización: Sobre la carretera 57, tramo S.L.P.-Matehuala, desviarse en el cruce de Charco Cercado 8.1 km rumbo a El Coyote, de ahí 600 m al sur sobre una vereda, de ahí 250 m hacia el este, sobre la cara oeste de una montaña		Coordenadas: 22° 53' 4.86" LN y 100° 33' 15.86" LW. Cuadrante 16QLA 40 8 31 7.	
Altitud: 1450 msnm	Clima: BSohx'(w)(e)gw"	Precipitación media anual: 336 mm; porcentaje de lluvia invernal, 9.3	Temperatura media anual: 20.7°C; oscilación térmica, 8.5
Horizontes		O1	A
Prof. (cm)		10-0 (Filtro de raíces, sin descomponer, pedregoso)	0-40
Limite			Claro, ondulado
Color	Seco		7.5YR6/2
	Húmedo		7.5YR3/2
Textura (tacto)			Migajón arenosa
Estructura			Granular, fina y muy fina, moderadamente desarrollada
Plasticidad			Ligera
Adhesividad			No adhesivo
Consistencia			Suelta
Permeabilidad			Alta
Raíces			Muchas, medias y finas
Poros			Comunes, vesiculares
Reacción al HCl			Efervescencia fuerte
Reacción al H ₂ O ₂			Efervescencia ligera

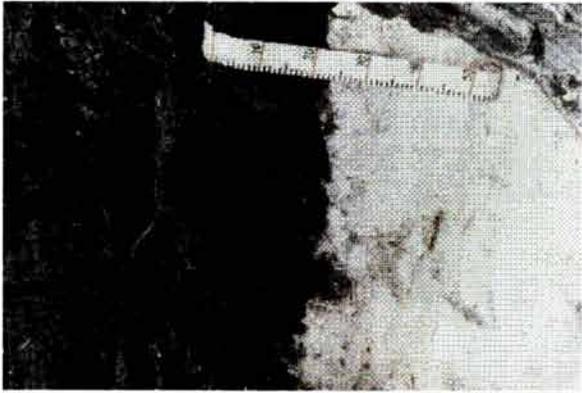


Origen: Residual	Geología: Cretácico	Material basal : Caliza, con intercalaciones de yeso	Topografía: Escarpada, pendiente del 30%
Pedregosidad superficial: Alta		Uso actual del suelo: Pastoreo de caprinos, bovinos y ovinos	
Erosión: Eólica, moderada; hídrica severa	Cultivos: Ninguno	Salinidad: No apreciable	
Horizontes de diagnóstico: Mólico, 0-40 centímetros; gypsic, de 40-70 centímetros			
Vegetación Natural: Matorral desértico rosetófilo, las principales especies son <i>Hechtia glomerata</i> Zucc., <i>Agave</i> sp., <i>Yucca carnerosana</i> (Trel.) McKeveley., <i>Ferocactus pilosus</i> (Galeotti), <i>Echinocactus platyacanthus</i> Link et Otto , <i>Lippia</i> spp., y <i>Bahinia</i> spp.			
Clasificación USDA: Gypsic Calcistoll grueso, carbonático, térmico, Serie El Coyote		Clasificación WRB: Kastanozem calcic-gipsico	

Tabla 17. Resultados analíticos del perfil No. 8, El Coyote, Villa Hidalgo, S.L.P., muestreado por horizontes.

Horizonte	A	Cy
Profundidad (cm)	10-50	>50
Densidad (g cm ⁻³)		
Aparente	0.84	0.70
Real	2.08	2.61
Espacio poroso (%)	59.7	72.0
pH, relación 1:2.5		
En agua destilada	7.9	8.2
En KCl 1N	7.9	8.1
pH, relación 1:5		
En agua destilada	8.1	8.2
En KCl 1N	7.9	8.1
pH, relación 1:10		
En agua destilada	8.4	8.0
En KCl 1N	8.1	8.0
pH, del extracto de la pasta	8.0	7.9
Materia orgánica (%)	5.31	1.24
Carbono orgánico (%)	3.08	0.72
Textura con [(NaPO ₃) ₆ + Na ₂ CO ₃]		
Arena (%)	43.83	15.84
Limo (%)	40.00	82.00
Arcilla (%)	16.60	2.16
Clase textural	Migajón limoso	Migajón limoso
Textura con Na ₂ SiO ₃ + Na ₂ C ₂ O ₄		
Arena (%)	26.8	14.8
Limo (%)	71.20	79.6
Arcilla (%)	2.00	5.6
Clase textural	Migajón limoso	Migajón limoso
Agua a saturación (%)	57.1	45.3
C.E. del extracto (dS m ⁻¹)	2.2	2.4
Iones solubles (mmol _c L ⁻¹)		
HCO ₃ ⁻	11.0	7.0
Cl ⁻	9.0	7.0
SO ₄ ²⁻	14.2	27.2
Na ⁺	1.96	4.78
K ⁺	0.15	0.38
Ca ²⁺	29.8	33.8
Mg ²⁺	5.8	4.4
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	23.5	7.3
Carbonatos totales como CaCO ₃ (%)	45.0	9.0
Yeso (%)	6.1	69.2

Tabla 18. Descripción del perfil 9, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P.

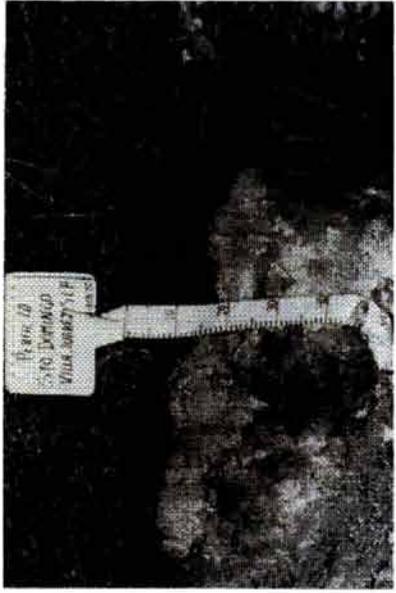
Localización: 1.5 km sobre el camino de terracería de la estación La Borreguita-Las Enramadas, de ahí 3.50 m al SW.		Coordenadas: 22° 20' 00" LN y 100° 08' 12.36" LW. Cuadrante QLV 82 7 70 I.	
Altitud: 1100 msnm	Clima: BS lhx(w)(e)g	Precipitación media anual: 538.6 mm; porcentaje de lluvia invernal, 7.7	Temperatura media anual: 20.5°C; oscilación térmica, 7.8
			
Horizontes	Ap1	Ap2	Cy2
Prof. en cm	0-10	10-20	>54
Límite	Gradual, ondulado	Difuso, ondulado	Difuso, plano
Color	Seco 10YR4/2	10YR4/2	10YR8/1
	Húmedo 10YR3/2	10YR3/2	10YR8/2
Textura (tacto)	Franco limo arenosa	Franco limo arcillosa	Areno limosa
Estructura	Bloques angulares, finos y muy finos, déb. desarrolados; granular muy fina, deb. desarrollada	Bloques angulares, finos y muy finos, déb. desarrolados; granular muy fina, deb. desarrollada	Bloques angulares, finos, mod. desarrolados
Plasticidad	Ligeramente plástico	Ligeramente plástico	Ligeramente plástico
Adhesividad	Ligeramente adhesivo	Ligeramente adhesivo	Ligeramente adhesivo
Consistencia	Suave	Suave	Ligeram. dura
Permeabilidad	Alta	Alta	Moderada
Raíces	Muchas, medias y muy gruesas, des. horizontal	Muchas, gruesas y finas	Muy pocas, finas
Poros	Muchos, finos vesiculares	Comunes, vesiculares	Pocos, vesiculares
Reacción al HCl	Efervescencia violenta	Efervescencia fuerte	Efervescencia muy ligera
Reacción al H ₂ O ₂	Efervescencia muy fuerte	Efervescencia ligera	Efervescencia muy ligera

Origen: Lacustre	Geología: Cuaternario	Material basal : Sedimentos de yeso	Topografía: Ondulada, pendiente del 6%
Pedregosidad superficial: Nula		Uso actual del suelo: Pastoreo de caprinos y ovinos	
Erosión: Hídrica, moderada; eólica, ligera	Cultivos: Ninguno	Salinidad: No apreciable	
Horizontes de diagnóstico: Mólico, 0-22 centímetros; gypsic, de 22-54 centímetros			
Vegetación Natural: Matorral desértico micrófilo, dominancia de <i>Acacia Berlandieri</i> Benth., <i>Prosopis laevigata</i> (Swartz.) DC., <i>Dalea tuberculata</i> Lag., <i>Yucca filifera</i> Benth., <i>Dalea tuberculata</i> Lag., <i>Yucca filifera</i> Chab., <i>Y. carnerosana</i> , <i>Larrea divaricata</i> .			
Clasificación USDA: Gypsic Calcistoll, franco fino, gypsic, térmico, Serie La Borreguita		Clasificación WRB: Kastanozem calci-gypsic	

Tabla 19. Resultados analíticos del perfil No.9, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P., muestreado por horizontes.

Horizonte	Ap1	Ap2	Cy1	Cy2
Profundidad (cm)	0-10	10-20	20-54	> 54
Densidad (g/cm ³)				
Aparente	0.84	0.86	0.84	0.82
Real	1.92	2.02	2.14	2.43
Espacio poroso (%)	56.2	57.5	60.7	66.2
pH. Relación 1:2.5				
En agua	8.0	8.2	8.3	8.3
En KCl 1N	7.5	7.7	8.0	8.1
pH. Relación 1:5				
En agua	8.1	8.0	8.4	8.3
En KCl 1N	7.7	7.7	8.1	8.1
pH. Relación 1:10				
En agua	8.3	8.2	8.3	8.2
En KCl 1N	7.7	7.6	8.2	8.1
pH. del extracto	7.9	8.0	7.6	7.5
Materia orgánica (%)	8.16	6.79	7.42	1.24
Carbono orgánico (%)	5.31	3.94	4.30	0.72
Textura con (NaPO ₃) ₆ +Na ₂ CO ₃				
Arena (%)	37.84	25.82	25.84	19.12
Limo (%)	30.00	48.00	64.00	70.00
Arcilla (%)	32.16	26.16	10.16	10.88
Clase textural	Mig.arc.	Franco	Mig.Lim	Mig.Lim
Textura con (Na ₂ SiO ₃ +Na ₂ C ₂ O ₄)				
Arena (%)	30.8	34.4	34.8	28.8
Limo (%)	53.6	64.0	59.6	65.6
Arcilla (%)	15.6	1.6	5.6	5.6
Clase textural	Mig.Lim	Mig.Lim	Franco Lim	Franco Lim
Agua a saturación (%)	54.0	53.6	34.1	33.9
C.E. del extracto (dS/m)	1.6	2.2	2.0	2.3
Iones solubles (mmol _c L ⁻¹)				
HCO ₃ ⁻	9.0	4.0	12.0	8.0
Cl ⁻	5.5	6.5	9.5	11.0
SO ₄ ²⁻	33.7	35.4	39.6	39.7
Na ⁺	1.09	1.30	7.6	8.4
K ⁺	0.10	0.15	0.26	4.31
Ca ⁺²	25.9	29.8	38.7	39.1
Mg ⁺²	18.4	7.8	15.8	7.9
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	42.6	30.5	4.5	--
Carbonatos totales como CaCO ₃ (%)	34.0	34.0	5.0	4.0
Yeso (%)	24.6	30.7	85.4	85.8

Tabla 20. Descripción del perfil 10, Santo Domingo, Villa Juárez, S.L.P.

Localización: 9.9 km sobre la carretera Cerritos-Rioverde, tramo Villa Juárez-Rioverde, de ahí desviarse 350 m al norte.		Coordenadas: 22° 17' 11.35" LN y 100° 10' 52.94" LW. Cuadrante 14QLV 78 3 65 I.		
Altitud: 1050 msnm	Clima: BS0(h')hw(e)w"	Precipitación media anual: 414.3 mm; porcentaje de lluvia invernal, 8.0	Temperatura media anual: 22.0°C; oscilación térmica, 8.0	
		Horizontes	A	Cyk
		Prof. en cm	0-15	15-40
		Límite	Abrupto, ondulado	Difuso, quebrado
		Color	Seco 10YR4/1	10YR6/3
			Húmedo 10YR3/1	10YR5/3
		Textura (tacto)	Limo arenosa	Franco limosa
		Estructura	Bloques angulares, finos y muy finos, mod. desarrollados	Masiva
		Plasticidad	Ligeramente plástico	No plástico
		Adhesividad	Ligeramente adhesivo	Ligeramente adhesivo
		Consistencia	Suave	Ligeram. Dura
		Permeabilidad	Alta	Moderada
		Raíces	Muchas, medias y finas	Pocas, medias
		Poros	Muchos, finos, vesiculares	Pocos, vesiculares
Reacción al HCl	Efervescencia violenta	Efervescencia violenta		
Reacción al H ₂ O ₂	Efervescencia muy fuerte	Efervescencia		

Origen: Lacustre	Geología: Cuaternario	Material basal : Sedimentos de yeso	Topografía: Plana, pendiente del 2%
Pedregosidad superficial: Nula	Uso actual del suelo: Agricultura de temporal, pequeñas áreas de riego		
Erosión: Hídrica, ligera; eólica, ligera	Cultivos: Maíz, frijol, hortalizas	Salinidad: Ligera	
Horizontes de diagnóstico: Ócrico de 0-18 centímetros; gypsic, de 22-40 centímetros			
Vegetación Natural: Matorral desértico micrófilo, dominancia de <i>Prosopis laevigata</i> (Swartz.) DC., <i>Opuntia imbricata</i> (Haw.) DC., <i>O. stenopetala</i> Engelm.			
Clasificación USDA: Ustic Haplogypsid, franco fino, gypsic, hipotérmico, Serie Santo Domingo	Clasificación WRB: Gipsisol calci-hipergipsico		

Tabla 21. Resultados analíticos del perfil No. 10 Santo Domingo, Villa de Juárez, S.L.P.

Horizonte	Ap	Cyk
Profundidad	0-15	15-40
Densidad ((g cm ⁻³)		
Aparente	0.89	1.16
Real	2.36	2.47
Espacio poroso (%)	54.1	47.6
pH. relación 1:2.5		
En agua	8.1	8.4
En KCl IN	7.8	8.10
pH. relación 1:5		
En agua	8.1	8.4
En KCl IN	7.7	8.3
pH. relación 1:10		
En agua	8.7	8.7
En KCl IN	7.7	8.2
pH. del extracto	8.2	8.0
Materia orgánica (%)	8.16	1.48
Carbono orgánico (%)	5.31	0.86
Textura [(NaPO ₃) ₆ +Na ₂ CO ₃]		
Arena (%)	33.84	--
Limo (%)	44.00	--
Arcilla (%)	22.16	--
Clase textural	Franco	
Textura Na ₂ SiO ₃ +Na ₂ C ₂ O ₄		
Arena (%)	29.6	28.8
Limo (%)	68.8	66.0
Arcilla (%)	1.6	5.2
Clase textural	Migajón limoso	Migajón limoso
Agua a saturación (%)	34.0	33.0
C.E. del extracto (dS m ⁻¹)	2.8	2.6
Iones solubles (mmol _c L ⁻¹)		
HCO ₃ ⁻	13.0	9.0
Cl ⁻	13.0	10.5
SO ₄ ²⁻	26.3	32.5
Na ⁺	1.52	1.95
K ⁺	3.02	2.46
Ca ⁺²	37.8	19.9
Mg ⁺²	21.3	56.3
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	46.9	--
Carbonatos totales		
Como CaCO ₃ (%)	19.0	13.0
Yeso	17.9	81.6

5.2. Análisis Granulométrico y Petrográfico

5.2.1. Análisis mineralógico de la arena

En el caso del análisis mineralógico de la arena y el limo solamente se tomaron en cuenta los perfiles cinco (El Tejocote), seis (La Pólvora), ocho (El Coyote) y nueve (La Borreguita). La granulometría de estos perfiles, expresada en porcentajes, se encuentra en la Tabla 22. Los porcentajes de la fracción ligera y pesada de la arena se encuentran en la Tabla 23.

5.2.1.1 Fracción ligera.

Los componentes son sulfatos (yeso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y carbonatos (calcita, CaCO_3), excepto en el perfil seis, La Pólvora, en el que domina el vidrio volcánico (Tabla 24).

Morfología

Cuarzo: En granos prismáticos con apuntamientos y contorno de grano suavizado. Su tamaño es mayor que el del resto de los minerales.

Calcedonia: Granos subangulares, ligeramente pardos y fibrosos.

Feldespatos: Granos prismáticos, algunos con terminaciones; pocos tienen el contorno de grano suavizado. Hay también algunos fragmentos de prismas. En bastantes de ellos se aprecian maclas polisintéticas. No muestran signos aparentes de alteración química.

Yeso: Masas subredondeadas de coloración pardusca, formadas por cristales del tamaño de limo. Los yesos del horizonte Cy1 del perfil La Borreguita están alterados.

Carbonatos: En granos aislados subangulares, subredondeados y son escasos los romboedros, incoloros o débilmente grisáceos debido a las impurezas que contienen, o en masas subredondeadas, subangulares de coloración parda, debido a impurezas, especialmente en el perfil de El Coyote (Fig. 2). En los perfiles de El Tejocote y La

Tabla 22. Granulometría de los perfiles estudiados, en porcentajes.

Fracción	Arena fina y muy fina			Limo		Limo total	Arcilla	Limo + Arcilla
	> 500 μm	500-50 μm	50-20 μm	20-8 μm	8-2 μm	50-2 μm	< 2 μm	
Horizonte	Perfil 5, El Tejocote							
Ap	7.90	18.70	12.00	11.75	18.36	42.10	31.00	
Bw	2.62	15.60	--	--	--	--	--	81.76*
Cy	2.42	12.20	--	--	--	--	--	86.18*
	Perfil 6, La Pólvara							
Ap	1.24	10.70	18.36	15.66	21.96	55.98	32.64	
A	1.70	10.94	14.44	9.80	18.82	43.04	44.30	
Bw2	0.84	10.76	12.24	8.42	19.20	39.86	48.54	
	Perfil 8, El Coyote							
A	34.40	18.50	6.25	8.63	11.05	24.16	20.96	
Cy	4.12	8.44	--	--	--	--	--	87.44*
	Perfil 9, La Borreguita							
Ap1	4.62	11.70	14.12	9.90	17.94	42.96	40.92	
Cy1	11.70	22.30	--	--	--	--	--	65.94*

* Dispersión no satisfactoria

Tabla 23. Porcentajes de las fracciones pesada y ligera de la arena.

Perfil/Horizonte	% Fracción Pesada	% Fracción Ligera
5 El Tejocote		
Ap	4.03	95.97
Bw	0.45	99.55
Cy	1.05	98.55
6 La Pólvara		
Ap	0.64	99.36
A	0.41	99.59
Bw2	0.43	99.57
8 El Coyote		
A	0.20	99.80
Cy	0.00	100.0
9 La Borreguita		
Ap1	0.20	99.80
Cy1	0.26	99.74

Pólvora hay mas carbonatos en masas que en granos aislados, al contrario de lo que ocurre en La Borreguita donde son dominantes los granos aislados.

Vidrio volcánico: Fragmentos irregulares, incoloros, pocos con superficie resquebrajada en algún fragmento. Se observan vacuolas. Indicios de vidrio de coloración parda.

5.2.1.2 Fracción pesada.

Los minerales dominantes son los piroxenos rómbicos acompañados por anfíboles y en los perfiles de La Pólvora y La Borreguita, se identificó además olivino (Tabla 25).

El número de opacos naturales es bajo, si se exceptúa el horizonte Bw1 del perfil cinco, El Tejocote, y aún más escasos son los óxidos de hierro.

Morfología

Circón ($ZrSiO_4$): Cristales prismáticos bipiramidales, límpidos, incoloros y casi no presentan inclusiones.

Fluorita(CaF_2): Fragmentos angulosos, incoloros y de relieve negativo.

Sulfatos: Algunos fragmentos rectangulares o subangulares, a veces con bordes mellados e incoloros.

Anfíboles: Unicamente se identificó hornblenda [$CaNa(Mg,Fe)_4(Al,Si)_8O_{22}(OH,F)_2$], de color pardo mas frecuentemente que la que presenta coloración verde, en prismas alargados según el eje c, aplanados; en algunos el contorno está suavizado. Hay también prismas fragmentados y algún grano subredondeado. Pocos son los que presentan estriación paralela al eje c. Casi no contienen inclusiones.

Piroxenos: La mayoría son **hiperstena** $(Mg,Fe)SiO_3$, pero también se identificó **augita** (piroxeno monoclinico) $(Ca,Na(Mg,Fe,Al)(Si,Al)_2O_6)$, no sobrepasando el 5%. La hiperstena aparece en prismas cortos, a veces, de contorno suavizado, pocos con terminaciones bipiramidales; fragmentos de prismas y formas subangulares menos

Tabla 24. Análisis mineralógico de la fracción ligera de la arena, en porcentajes.

Perfil Horizonte	5 El Tejocote			6 La Pólvara			8 El Coyote		9 La Borreguita	
	Ap	Bw	Cy	Ap	A	Bw2	A	Cy	Ap1	Cy1
Cuarzo	1	--	--	--	--	--	--	1	--	--
Calcedonia	--	--	1	--	--	--	--	--	--	--
Feldespatos	21	1	--	5	1	1	9	6	25	--
Yeso	6	96	99	--	--	--	82	79	3	84
Carbonatos	52	5	--	5	25	29	5	3	60	16
Yeso + carbonatos	--	--	--	--	--	--	4	7	--	--
Vidrio volcánico	20	--	--	90	74	70	--	4	12	--

Tabla 25. Análisis mineralógico de la fracción pesada de la arena

Perfil Horizonte	5 El Tejocote			6 La Pólvara			8 El Coyote		9 La Borreguita	
	Ap	Bw	Cy	Ap	A	Bw2	A	Cy	Ap1	Cy1
Opacos naturales	51	153	43	21	31	32	24	--	37	15
Óxidos de hierro	1	27	78	6	17	9	10	--	6	17
Hidróxidos de hierro	--	--	--	--	2	2	3	--	2	2
Circón	1	--	--	--	--	2	4	--	2	1
Fluorita	--	--	--	--	--	--	7	--	--	--
Sulfatos	--	--	--	--	--	--	5	--	--	--
Anfiboles	23	19	6	20	13	35	10	--	14	3
Piroxenos	76	81	54	80	74	52	74	--	84	41
Olivino	--	--	--	--	13	11	--	--	--	1

frecuentes y son muy escasos los granos subredondeados. Además, hay cristales perfectos de caras prismáticas desarrolladas y terminadas por apuntamientos. Presentan pleocroísmo de verde, que vira al rosado o amarillo. Son raras las hiperstenas que tienen sus extremos denticulados. Contienen inclusiones opacas y cristalinas, no abundantes en general. Algunas hiperstenas están adheridas al vidrio volcánico. No presentan signos evidentes de alteración química.

El piroxeno **augita** se presenta en granos subangulares, o fragmentos de prismas, de color verde, la identificada en El Tejocote, y en los otros perfiles se encuentran augitas verdes o de coloración parda, en general bastante bien conservadas y tienen algunas inclusiones de magnetita. No se aprecia denticulación en los extremos del grano (Parfenoff *et al.*, 1970).

Olivino: Se presenta en granos incoloros (var. **forsterita**, Mg_2SiO_4), subredondeado o redondeado, en algunos granos la superficie está resquebrajada, erosionada, y a veces se extiende hacia el interior del grano. Algunos olivinos están empezando a alterarse a **idingsita**.

Opacos naturales: Se han identificado **magnetita** (Fe_3O_4) e **ilmenita** ($FeTiO_3$), en granos subangulares y subredondeados. Es raro el observar algún octaedro no perfecto de magnetita. Hay también algunos cristales tabulares de ilmenita.

Con cierta frecuencia la magnetita presenta manchas pardas o rojas, señal del comienzo de su alteración a hidróxidos u óxidos de hierro, respectivamente.

Oxidos de hierro: la mayoría de los identificados se presentan en granos irregulares de superficie rugosa que coexisten con otros granos subredondeados y redondeados de superficie lisa; su color es rojo intenso.

5.2.2. Análisis Mineralógico de los Limos

De los cuatro perfiles estudiados solamente en uno, La Pólvora, se pudo obtener una

dispersión satisfactoria en todos los horizontes. En los restantes perfiles, invariablemente sólo en el horizonte A se logró llegar a este objetivo.

5.2.2.1. Granulometría

Perfil cinco, El Tejocote

En este perfil solamente se logró únicamente la dispersión en el horizonte Ap (0-5 cm) en el cual existe una predominancia de materiales finos (Tabla 22), más abundante el limo con un 42.1%. Del resto del material, solamente la suma de arena fina y muy fina se acerca al 20%. En los dos restantes horizontes la suma de limo y arcilla supera el 80% y los materiales gruesos son también escasos.

Del limo se estudiaron los tamaños 50-20 μm (limo grueso), 20-8 μm (limo medio) y 8-2 μm (limo fino). En los tres tamaños dominan los minerales ligeros y los pesados no sobrepasan a 2 (Tabla 26).

Morfología

Carbonatos: En el tamaño de 50-20 μm , en granos irregulares, como formados por varios granos; las masas de granillos pequeños son escasos y se observan algunos de formas tabulares y en punta de lanza. En el tamaño 20-8 μm , en granos irregulares aislados y en masas de granillos (Fig. 3). En el tamaño de 8-2 μm , en granillos procedentes de las masas al desgranarse.

Feldespatos: En formas subangulares, los cuales se identifican como **albita** ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) y **andesina** ($\text{Ab}_{70}\text{-An}_{30}$ $\text{Ab}_{50}\text{-An}_{50}$).

Cuarzo: Este mineral domina en el tamaño de 20-8 μm y se presenta en forma de granos redondeados.

Ceniza volcánica: Se observó en porcentajes de 8 y 10, para los tamaños de 50-20 μm y 20-8 μm , respectivamente; se observó también cierto grado de alteración.

Tabla 26. Análisis mineralógico de las fracciones limo grueso (50-20 μm), limo medio (20-8 μm) y limo fino (8-2 μm) de los perfiles seleccionados.

Horizonte	Porcentajes										
	Cuarzo	Feldespatos			Vidrio Volc.	Ceniza Volc.	Yeso Carbonatos Alteritas			Min. Pesados	Fitolitos
		Ir <1.54	ir=1.54	ir>1.54							
Perfil 5, El Tejocote											
Ap1											
50-20 μm	2	4	--	8	12	8	2	64	--	2	5
20-8 μm	12	9	--	2	20	--	--	47	--	1	18
8-2 μm	--	--	--	--	+	--	--	+++	--	--	++
Bw											
< 50 μm	--	--	--	--	ind.	--	+++	+	--	--	.
Cy											
< 50 μm	--	--	--	--	--	--	+++	+	--	--	.
Perfil 6, La Pólvera											
Ap											
50-20 μm	1	1	3	4	90	--	--	--	1	4	1
20-8 μm	3	--	10	7	78	--	--	1	1	3	6
8-2 μm	+	--	+	+++	--	--	--	+	--	.	..
A											
50-20 μm	3	2	4	5	76	--	--	9	1	2	3
20-8 μm	8	3	8	6	64	--	--	9	2	2	10
8-2 μm	+	--	+	+	+++	--	--	+	--	.	..
Bw2											
50-20 μm	6	4	1	5	66	--	--	18	--	4	--
20-8 μm	30	3	3	4	31	--	--	28	--	3	9
8-2 μm	++	--	--	.	+	--	--	+++	--	.	+
Perfil 8, El Coyote											
A											
50-20 μm	5	8	--	1	13	--	1	74	--	2	2
20-8 μm	14	4	--	4	9	--	--	69	--	2	12
8-2 μm	.	--	--	.	--	--	--	+++	--	.	+
Cy											
< 50 μm	--	ind.	--	--	--	--	+++	+	--	--	--
Perfil 9, La Borreguita											
Ap1											
50-20 μm	5	1	10	7	10	--	1	66	--	1	4
20-8 μm	12	10	19	4	2	--	1	52	--	4	6
8-2 μm	--	+	--	+	--	--	--	--	--	--	--
Cy1											
< 50 μm	--	--	--	--	--	--	+++	--	--	--	.

+++ Dominante; ++ Abundante; + Frecuente; .. Presente; . Escaso.

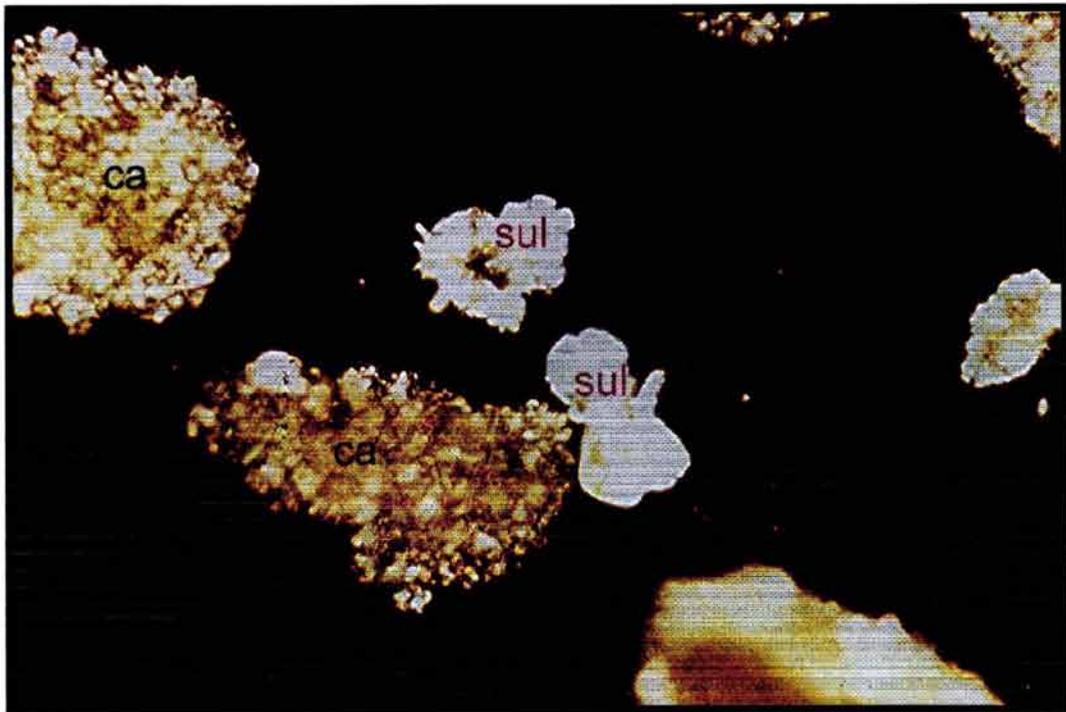


Figura 2. Minerales ligeros presentes en la fracción arena del horizonte A, perfil ocho, El Coyote, Villa Hidalgo, S.L.P. Masas de carbonatos (ca) y sulfatos, principalmente yeso (sul). Aproximadamente 180 X.

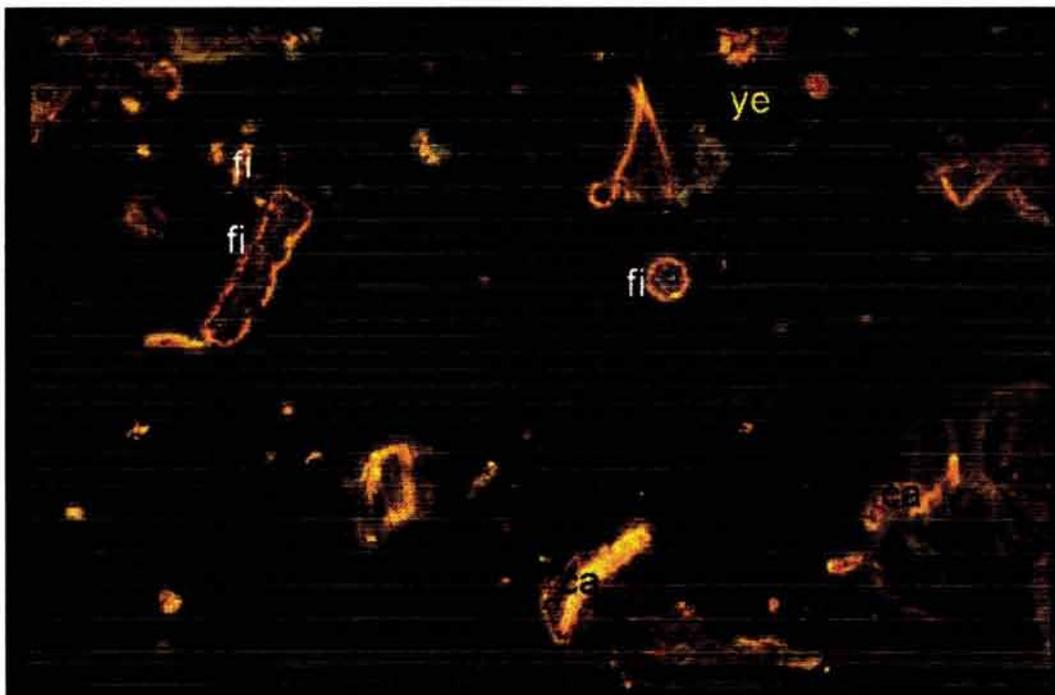


Figura 3. Minerales presentes en la fracción limo medio del horizonte Ap del perfil cinco, El Tejocote, Villa Juárez, S.L.P. Contraste de fase; i.r. = 1.54. Carbonatos (ca) en masas, yeso (ye) y fitolitos (fi). Aproximadamente 600 X.

Vidrio volcánico: Se presenta en fragmentos angulosos, con pocas inclusiones, y con vacuolas escasas. Es incoloro, y en algunos casos de color pardo.

Minerales pesados: En el tamaño de 50-20 μm son **turmalina** $(\text{Na Ca})(\text{Li, Mg, Al})(\text{Al, Fe, Mn})_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$, **anfíboles**, **piroxenos**, **circón** y algún opaco como **magnetita** e **ilmenita**. Algún mineral opaco en 20-8 μm y escasos óxidos de hierro en 8-2 μm .

Fitolitos: Son abundantes en el tamaño de 20-8 μm y la mayoría son **globulolitos** y **prismatolitos**.

En el caso del horizonte Bw de este mismo perfil, en la muestra no se pudo segregar completamente el limo de las arcillas. Casi todo es yeso en granos de limo medio (20-8 μm) y fino (8-2 μm), siendo escasas las partículas del tamaño arcilla. La morfología de estos yesos es pseudo-hexagonal y lenticular; cuanto más pequeño el tamaño, solo se localiza algún tabular y no muy grande. Hay presencia de carbonatos, casi siempre en granos muy pequeños, tamaño arcilla, aunque también hay algunos de tamaño limo. Escasos fitolitos e indicios de vidrio volcánico.

Para este horizonte también se utilizó una muestra a la que se le hicieron varios lavados, durante aproximadamente un mes, con la finalidad de poder dispersar bien la muestra, pero al cabo de ese tiempo se observó al microscopio que era muy similar a la que no se sometió a lavados; no se observó una alteración profunda del yeso, pero sí se detectó un aumento de carbonatos. El horizonte Cy de este perfil, es muy semejante al Bw. Los porcentajes de minerales encontrados se indican en la Tabla 26.

Perfil seis, La Pólvora

Granulometría

En los tres horizontes de este perfil, el dominio corresponde a los materiales finos: limo y arcilla. El limo es más abundante en el horizonte Ap y la arcilla lo es ligeramente en el horizonte Bw2, siendo los porcentajes similares para limo y arcilla en el horizonte A.

El resto del material es inferior siempre al 13%, corresponde en su mayoría a más o menos el 10% arena fina y muy fina, siendo muy escaso el material mayor de 500 μm (Tabla 22).

Para este perfil, el limo también se estudió en los tamaños de 50-20 μm , 20-8 μm y 8-2 μm . En los tres tamaños y en los tres horizontes el porcentaje de minerales ligeros es superior al 95%, siendo muy escasos los minerales pesados (Tabla 22).

El vidrio volcánico es el componente principal en el horizonte Ap (Fig. 4), aunque disminuye su porcentaje al disminuir el tamaño de grano, por el aumento principalmente de carbonatos, que no se observan en 50-20 μm y que son bastante frecuentes en 8-2 μm .

Los restantes minerales son feldespatos: **oligoclasa** ($\text{Ab}_{90}\text{-An}_{10}$ $\text{Ab}_{70}\text{-An}_{30}$) y andesina y algo de albita; también se observó algo de cuarzo.

En el horizonte A se sigue manteniendo la misma asociación vidrio-carbonatos (Figs. 5 y 6), pero aumentan los segundos y existe también algo más de cuarzo. Estas dos especies, carbonatos y cuarzo, son aun más frecuentes en el horizonte Bw2 (Figs. 7 y 8), aumentan con la disminución del grano, y son componentes principales en la fracción 8-2 μm . Se ha observado la presencia de biolitos en todo el perfil. Son más escasos en el horizonte superior y son más frecuentes en el A y en el Bw2; casi siempre son fitolitos, pero también se han observado indicios de estomatocistos de rizofitas en el horizonte Ap y de diatomeas en el Bw2.

Morfología

El **vidrio volcánico** se presenta en fragmentos angulosos, casi siempre sin inclusiones, y con escasas vacuolas. Es incoloro, viéndose en algunos casos de color pardo. Los

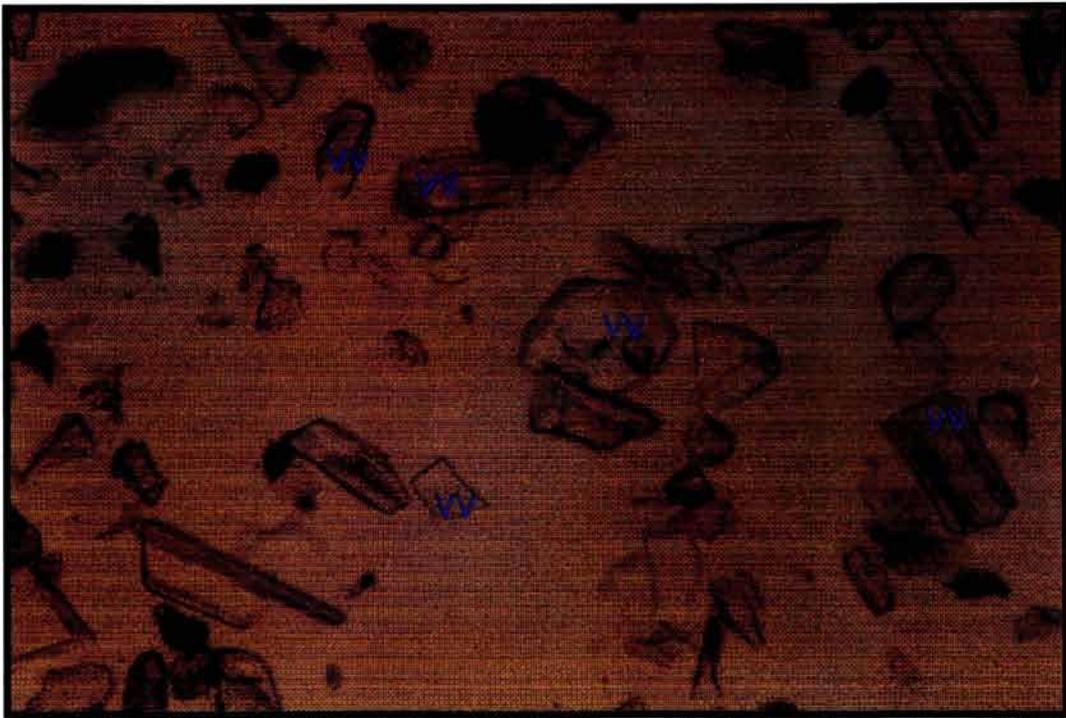


Figura 4. Minerales presentes en la fracción limo grueso del horizonte Ap del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Predomina el vidrio volcánico (vv). Aproximadamente 130 X.

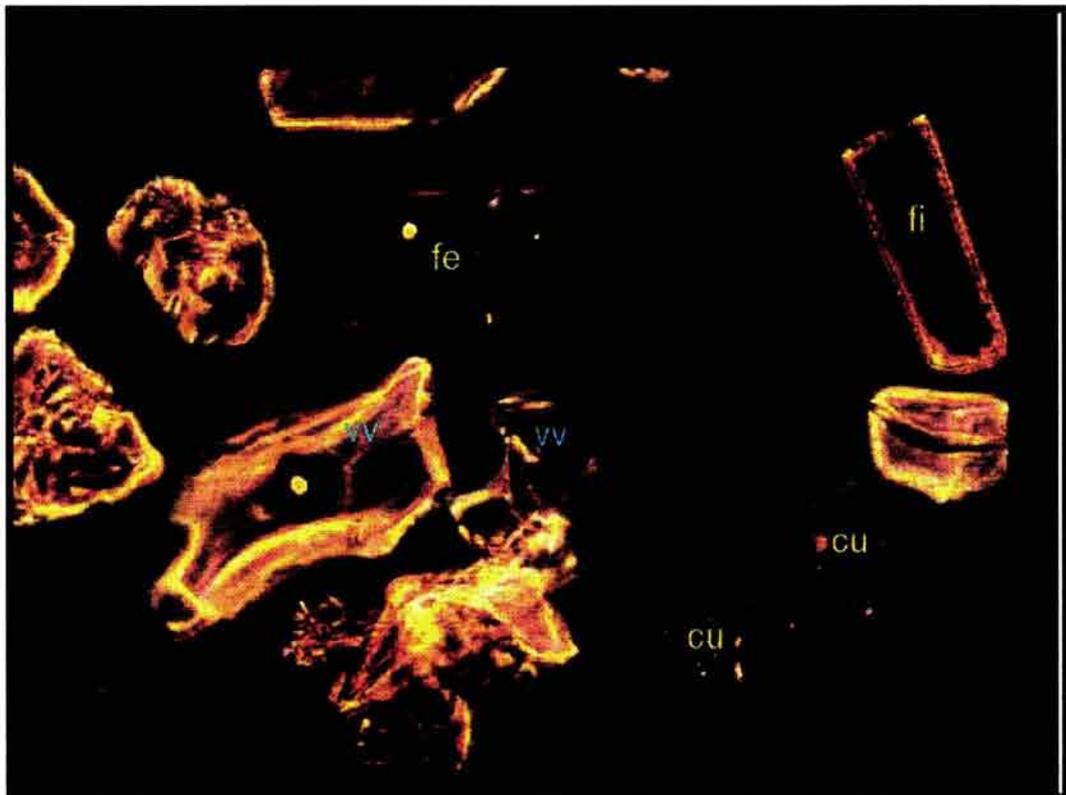


Figura 5. Minerales en la fracción limo grueso del horizonte A del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Presencia de vidrio volcánico (vv), cuarzo (cu), feldspatos (fe) y fitolitos (fi). Contraste de fase; i. r. = 1.54. Aproximadamente 190 X.



Figura 6. Minerales presentes en la fracción limo grueso el horizonte A del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Presencia de cuarzo (cu), calcita (ca), fitolitos (fi), yeso (ye) y vidrio volcánico (vv). Contraste de fase; i. r. = 1.54. Aproximadamente 600 X.

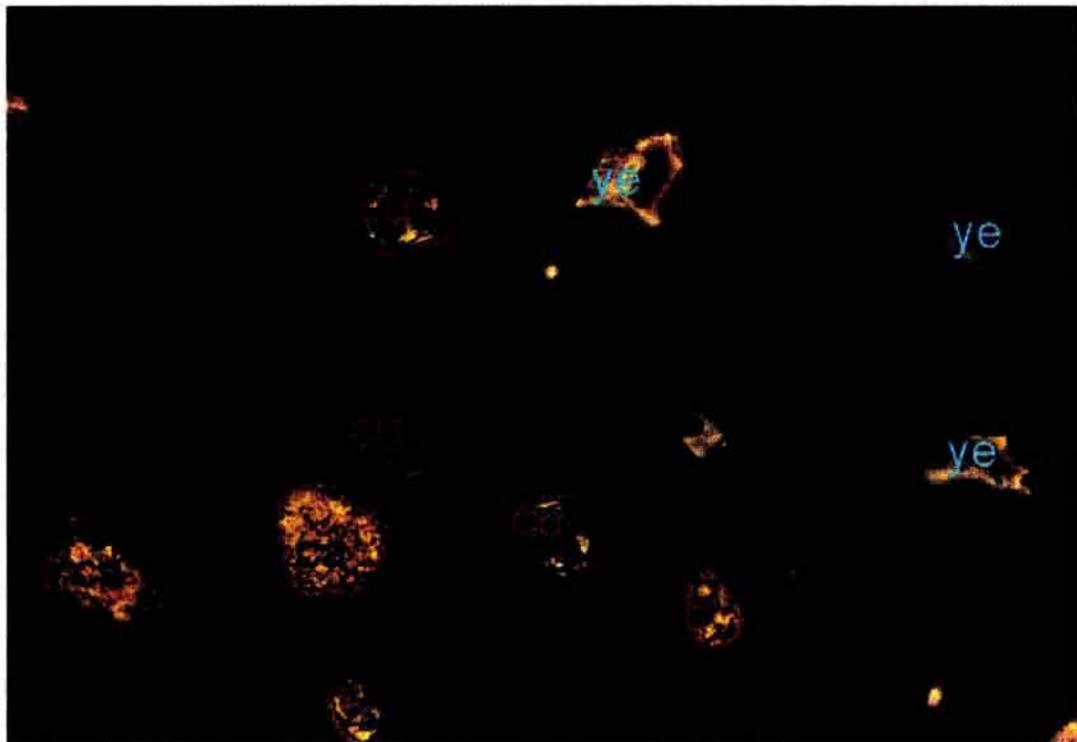


Figura 7. Minerales presentes en la fracción limo medio del horizonte Bw2 del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Predominan el cuarzo (cu) redondeado y la calcita (ca); presencia de de yeso (ye). Contraste de fase; i. r. = 1.54. Aproximadamente 150 X.

feldespatos tienen casi siempre, tendencia al redondeamiento, aunque también hay cristales que conservan su forma cristalográfica. No se observa alteración química.

El **cuarzo** siempre, o casi siempre, se presenta de forma ovalada a redondeada (Fig. 8). La **calcita** se presenta en masas compuestas de granillos muy pequeños en el limo grueso, desagregándose conforme disminuye el tamaño de grano, siendo cercano a los 2 μm el carbonato de la fracción 8-2 μm . También se observan granos de carbonatos redondeados en el limo medio y fino.

Los escasos minerales pesados encontrados en las muestras son: **opacos naturales, piroxenos y hornblendas**.

Perfil ocho, El Coyote.

Granulometría.

En este perfil se logró solamente la dispersión del horizonte A (10-50 cm), en el cual, a diferencia de los anteriores perfiles, existe una cantidad elevada de material mayor de 500 μm , pero en el caso del horizonte Cy (> 50 cm), el porcentaje de esta fracción disminuye a 4.12%. En el horizonte A, los porcentajes de limo y arcilla son muy similares, 24.16% y 26.95%, respectivamente. En el horizonte Cy la suma de ambas fracciones nos da un total de 87.44%, ya que no se logró una dispersión satisfactoria (Tabla 22).

Los tamaños de grano estudiados para la fracción limo, fueron los mismos que para los perfiles anteriores. Los minerales pesados son escasos en cada uno de los horizontes; el resto son minerales ligeros (Tabla 26).

Morfología

Carbonatos: la mayoría de estos se encuentran en los tamaños de 50-20 μm y 20-8 μm , en masas formadas por granillos muy pequeños, que se están deshaciendo; también se ven granos de morfologías redondeadas, lenticulares y tabulares y algo más abundantes en

granos subangulares formados por un solo cristal. En 8-2 μm los granillos son procedentes de las masas desagregadas de los tamaños mayores.

Feldespatos: Se encuentran en formas subangulares y son principalmente **albita** y **andesina**.

Cuarzo: de forma redondeada a ovoidea.

Vidrio volcánico: es incoloro en la mayoría de los casos, pero se encuentra también de color pardo.

Minerales pesados: los principales son **magnetita** e **ilmenita**, **óxidos de hierro** y algunos fragmentos de **piroxenos** y **anfíboles**.

Fitolitos: son **globulolitos** y en algunos casos **prismatolitos**.

La muestra del horizonte C no pudo segregarse el limo de las arcillas. Se considera un material heterométrico, desde limo grueso a limo fino, en conexión con el tamaño arcilla, siendo escasas las partículas menores de 2 μm (alrededor de 1-3%). La mayoría de las partículas están comprendidas entre limo grueso y medio, siendo más escaso el fino. El componente principal es el yeso y hay presencia de calcita (Fig. 9). Es difícil ver si hay algún otro mineral en porcentajes muy bajos, ya que el dominio del yeso enmascara la existencia de cualquier otro constituyente. La morfología del yeso es diferente según el tamaño: los granos más grandes suelen ser tabulares, viéndose también algunos pseudo-hexagonales. Es esta segunda forma la que domina en el limo medio, donde también se observan algunos tabulares más cortos. En el limo fino junto a estas formas, hay abundancia de otras que son lenticulares y bastantes fragmentos.

Los **carbonatos** se presentan en granos irregulares, casi siempre policristalinos. Existen también indicios de un mineral de índice de refracción 1.54, tabular, probablemente un feldespato.

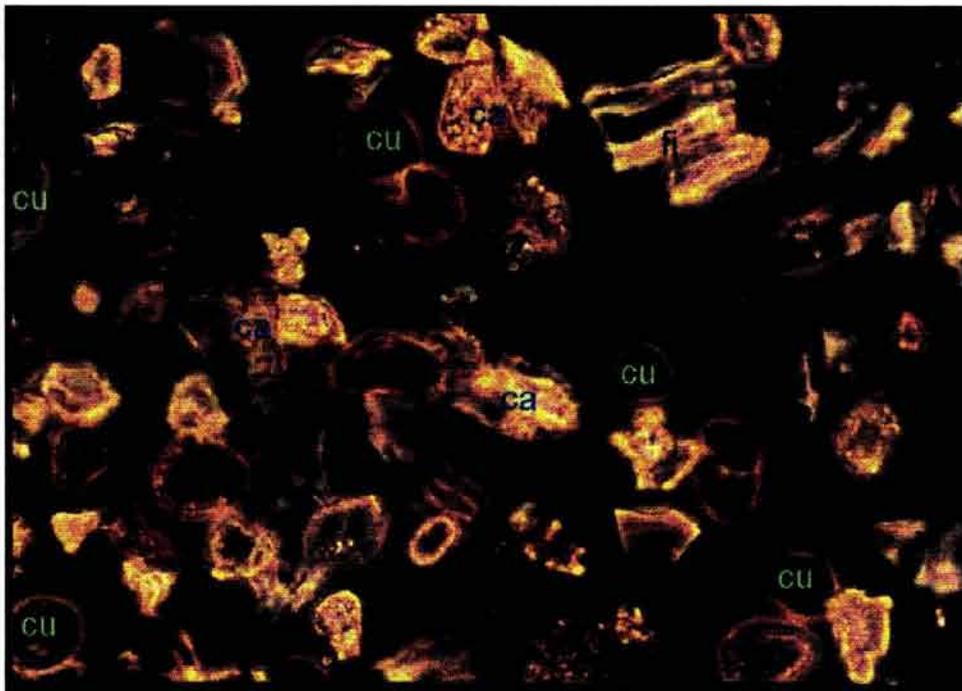


Figura 8. Minerales presentes en la fracción limo medio del horizonte Bw2 del perfil seis, La Pólvora, Guadalcázar, S.L.P. Predominan el cuarzo (cu) redondeado y la calcita (ca) Contraste de fase; i. r. = 1.54. Aproximadamente 150 X.

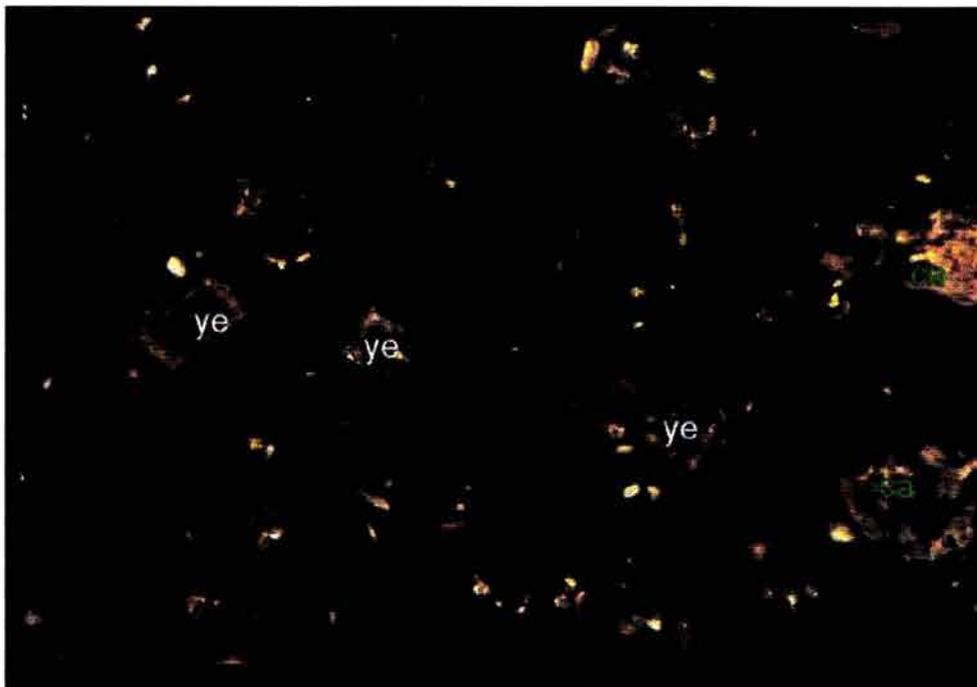


Figura 9. Minerales presentes en el horizonte Cy del perfil ocho, El Coyote, Villa Hidalgo, S.L.P. Se trata de agregados de limo más arcilla. Presencia de yeso (ye) y carbonatos (ca). Muestra sin lavar. Aproximadamente 190 X.

En la muestra lavada de este horizonte se observan granos con signos de alteración y aumenta el porcentaje de carbonatos, viéndose algunos de ellos en forma tabular.

Perfil nueve, La Borreguita.

Granulometría.

En este perfil, como en el cinco y el ocho, la dispersión no fue satisfactoria en alguno de sus horizontes, en este caso, en el horizonte Cy1. En el horizonte Ap1 dominan los materiales del tamaño de limo y arcilla, sumando en su conjunto más del 80%. Los materiales gruesos $> 500 \mu\text{m}$, sobrepasan ligeramente el 5%. El resto corresponde a los tamaños de arena fina y muy fina. Las fracciones estudiadas son las mismas que para los anteriores perfiles. Los minerales ligeros predominan en cada una de las fracciones y los minerales pesados no sobrepasan el 4% (Tabla 26).

Morfología.

En los tamaños de 50-20 μm los **carbonatos** (Figs. 10 y 11) son los minerales dominantes, seguidos del **vidrio volcánico** y los **feldespatos** de índice de refracción igual a 1.54.

Una tendencia similar se observó en el tamaño de 20-8 μm , aunque bajó el porcentaje de carbonatos, y por otra parte aumentó el **cuarzo** y los feldespatos de índice de refracción igual a 1.54 (Fig. 12). Los minerales pesados observados corresponden a **piroxenos**, **hornblenda** y **opacos naturales** (los más abundantes). Se observan algunos **sulfatos** (Fig. 13) que parecen ser **celestita** (SrSO_4). Por otra parte, se observaron algunos carbonatos que proceden de fragmentos de fósiles.

En la fracción 8-2 μm los **carbonatos** son los minerales más abundantes, seguidos de los **feldespatos** de índice de refracción igual a 1.54. Se encuentran también bastantes **fitolitos**. Uno de los principales problemas para la observación es la abundancia de materia orgánica.

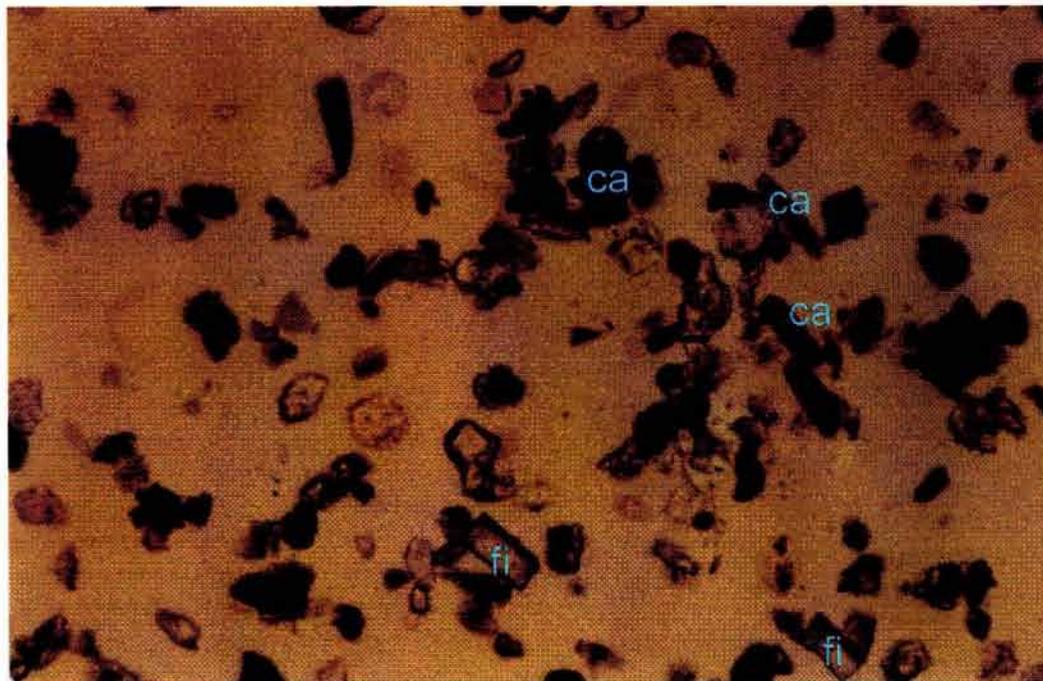


Figura 10. Minerales presentes en la fracción limo grueso del horizonte Ap1 del perfil nueve, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P. Abundan los carbonatos (ca), en masa y alargados; presencia también de fitolitos (fi). Nícoles paralelos; i. r. = 1.54. Aproximadamente 150 X.

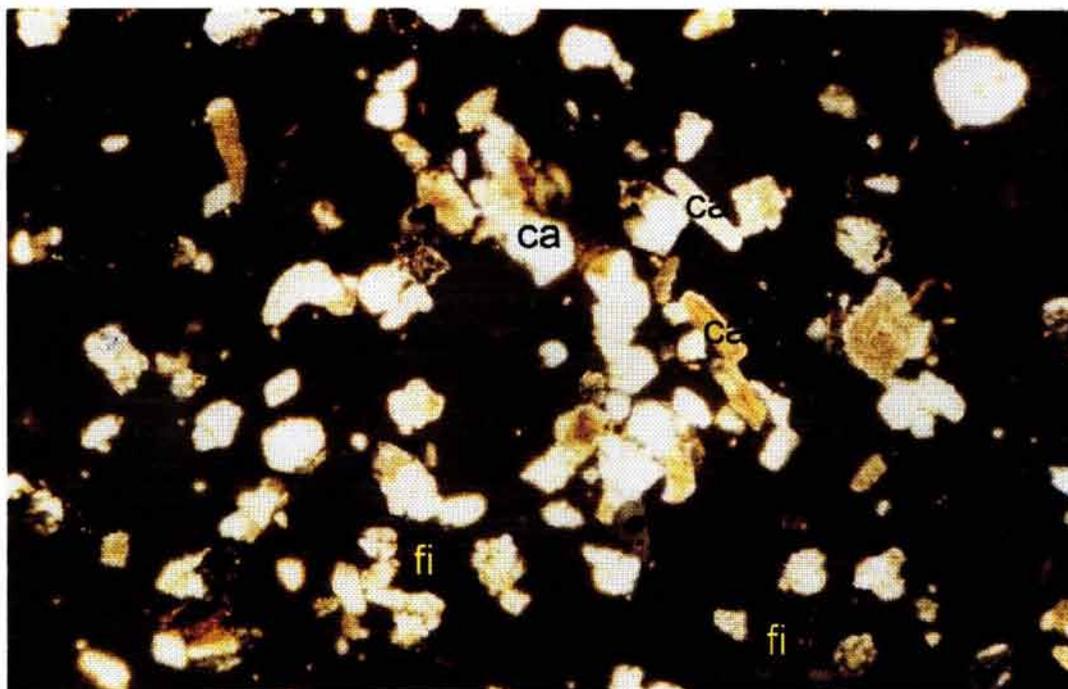


Figura 11. Minerales presentes en la fracción limo grueso del horizonte Ap1 del perfil nueve, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P. Abundan los carbonatos (ca), en masa y alargados; presencia también de fitolitos (fi). Nícoles cruzados; i. r. = 1.54. Aproximadamente 150 X.

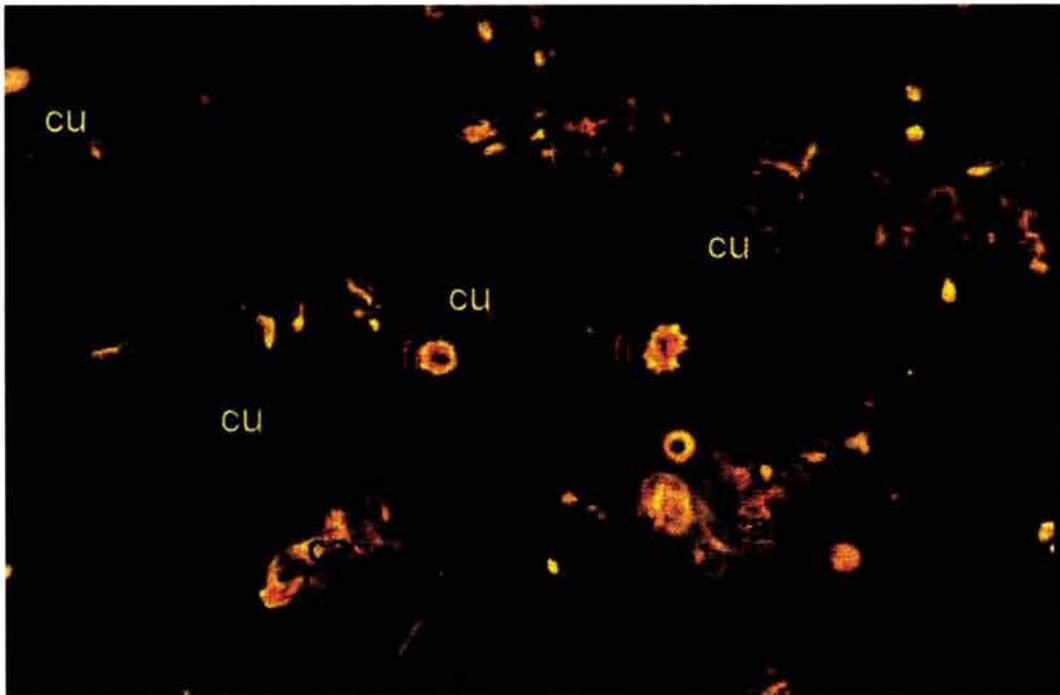


Figura 12. Minerales de la fracción limo fino del horizonte Ap1 del perfil nueve, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P. Aumenta el contenido de cuarzo (cu), se presentan también la calcita (ca) en masas y los fitolitos (fi). Contraste de fase; i. r. = 1.54. Aproximadamente 900 X.

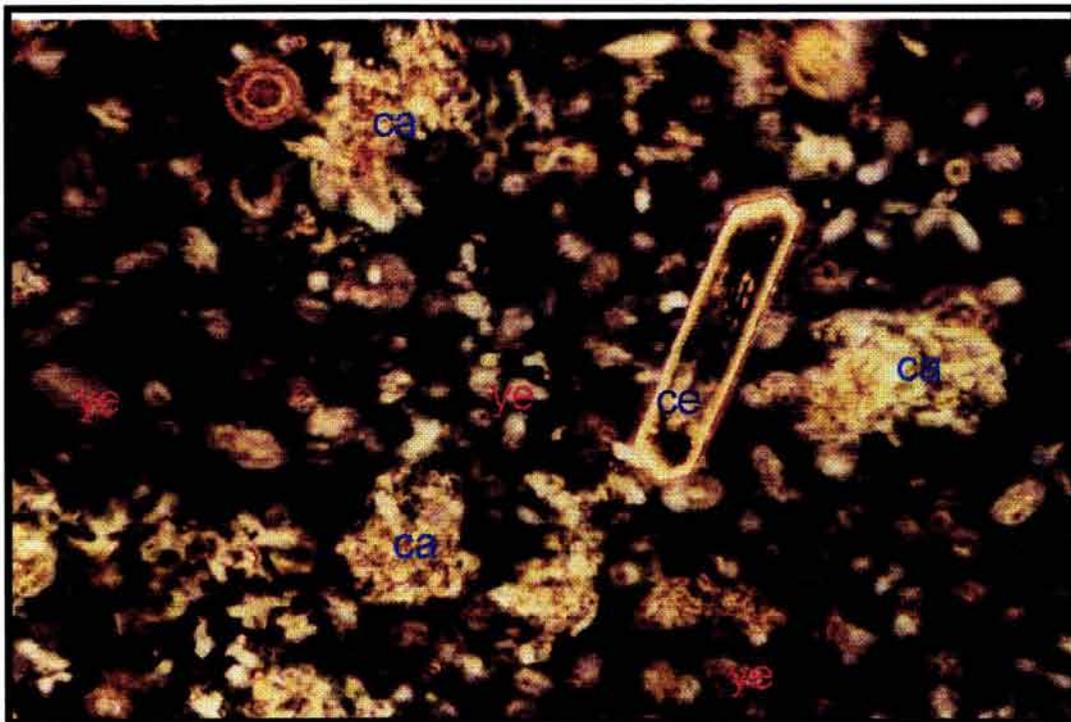


Figura 13. Minerales presentes en el limo + arcilla del horizonte Cy1 del perfil nueve, La Borreguita. Se presentan masas de carbonatos (ca), yeso (ye) y un cristal bien definido de celestita (ce). Aproximadamente 190 X.

Por la misma razón los minerales pesados no son fáciles de determinar. Solamente se distinguen más o menos claramente algunos **óxidos de hierro**.

Del horizonte Cy1 se observó al microscopio una muestra lavada, y en la cual no se pudo llegar a una segregación completa de limo y arcilla. En esta, dominan el tamaño de limo medio, sigue el fino y es escaso el limo grueso. Hay poco material intemperizando a arcilla; las partículas son mayoritariamente **yeso**. La morfología de este es **seudohexagonal** y son escasos los **lenticulares**, y se encuentran casi siempre en el limo medio. El yeso tamaño limo medio casi siempre en formas **semirredondeadas**, alterado y algunas veces **lenticulares**. Indicios de **fitolitos** y **estomatocistos**. La **calcita** es escasa, en granos irregulares. Hay algo de materia orgánica, recubriendo algunos granos y algún grano de polen pardo rojizo. También hay indicios de **celestita** en cristales perfectos.

En la muestra del horizonte Cy1, sin lavar, la morfología es muy similar a la muestra lavada; la diferencia radica en que casi nunca se ve alteración de los granos de limo grueso. Los cristales generalmente son pseudo hexagonales. La calcita es más escasa.

5.3. Difractometría de Rayos X

En lo referente a los estudios de rayos X, estos se realizaron en las fracciones limo grueso, limo medio, limo fino, arcilla y suelo total, para muestras seleccionadas de los perfiles estudiados.

Perfil 5, El Tejocote

De este perfil, que se considera yesoso, se utilizaron muestras de suelo total de los horizontes Ap (0-5 cm), Bw (5-20 cm) y Cy (20-30 cm). De acuerdo a las distancias interplanares encontradas para el suelo total del horizonte Ap1, se indica básicamente la presencia de **calcita**. También se detectó la presencia de **cuarzo** y de los feldespatos **albita**,

microclina y **anortita**. Se detectaron también débiles señales para esmectita y yeso. En los horizontes By y C, se detectaron predominantemente las distancias interplanares que corresponden al **yeso** y a la **calcita**, predominando el primer mineral. También existe una señal que indica la presencia del feldespato **albita** (Fig. 14).

Perfil 6, La Pólvora

Para este perfil, considerado como calcáreo, se utilizaron muestras de los horizontes Ap (0-20 cm), A (20-35 cm), Bw1 (35-55 cm) y Bw2 (55-70 cm).

En el horizonte Ap se utilizaron muestras de las fracciones limo medio y arcilla. En el difractograma correspondiente la fracción limo medio se encontraron distancias interplanares que corresponden predominantemente a la **calcita**; también, se encontraron distancias interplanares correspondientes al **cuarzo**, **albita** y **microclina** y como mineral arcilloso se detectó la **montmorillonita** (Fig. 15). En la fracción limo fino, de acuerdo a las distancias interplanares desplegadas en el difractograma correspondiente, se encontraron señales para **cuarzo** y no para **calcita**, aunque esta última se encuentra presente junto con el feldespato anortita y débiles señales que indican la presencia de la montmorillonita (Fig. 16). En la fracción arcilla se presenta la montmorillonita como mineral dominante y se detectaron también distancias interplanares correspondientes al cuarzo, calcita y al feldespato microclina (Fig. 17).

Para el horizonte A se analizaron muestras correspondientes a suelo total y fracciones limo grueso, limo medio, limo fino y arcilla. En la muestra de suelo total se detectaron distancias interplanares correspondientes a la calcita, que aparentemente es el mineral dominante. También existen señales para cuarzo, anortita y esmectita (Fig. 18). En la fracción limo grueso las distancias interplanares más intensas son las que corresponden al cuarzo. Para esta misma fracción también existen señales que indican calcita y el feldespato

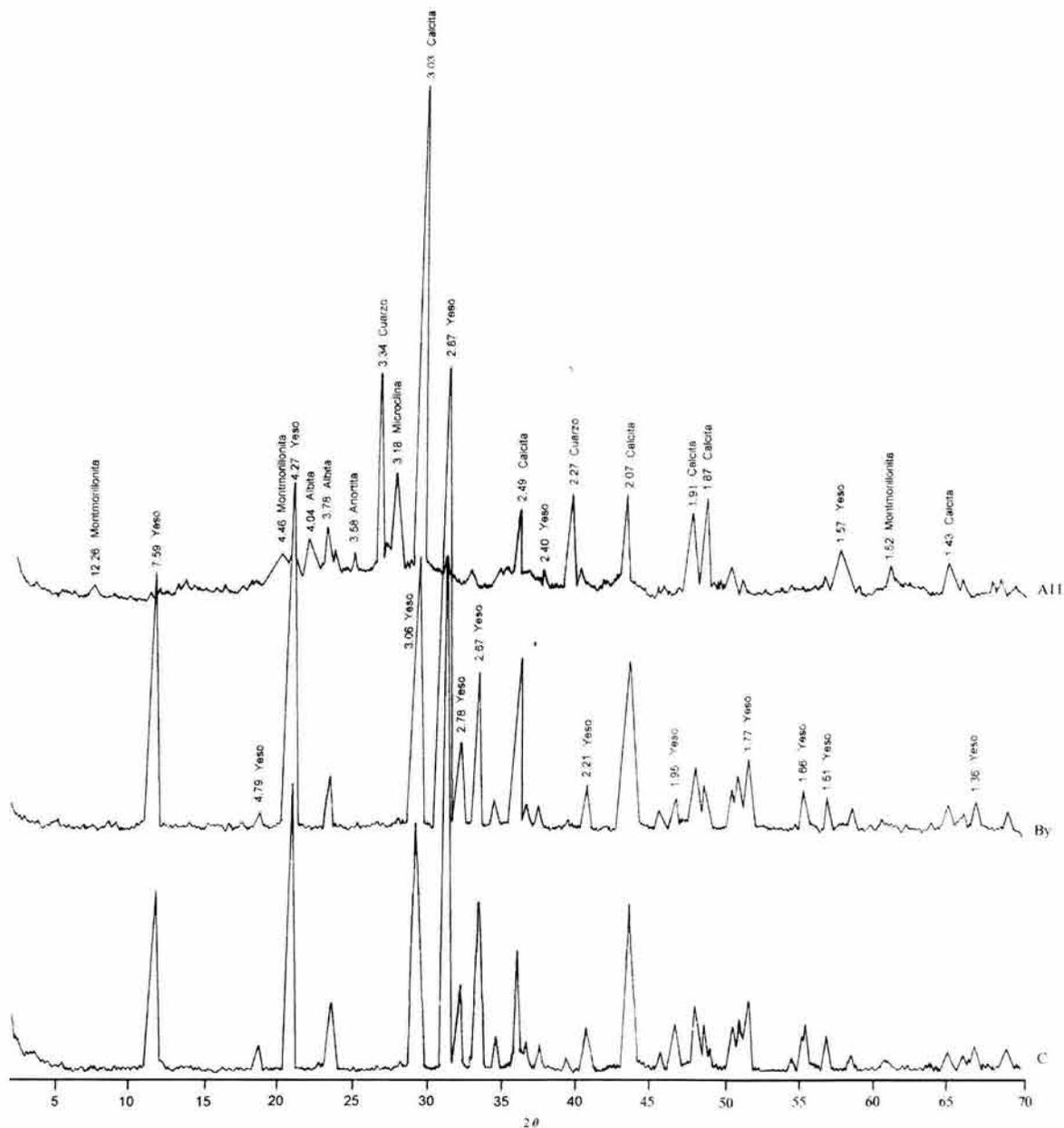


Figura 14. Difractograma de suelo total del perfil cinco, El Tejocote, Villa Juárez, S.L.P. Predomina la calcita en el horizonte Ap y el yeso en los horizontes By y C. Las distancias interplanares están dadas en \AA .

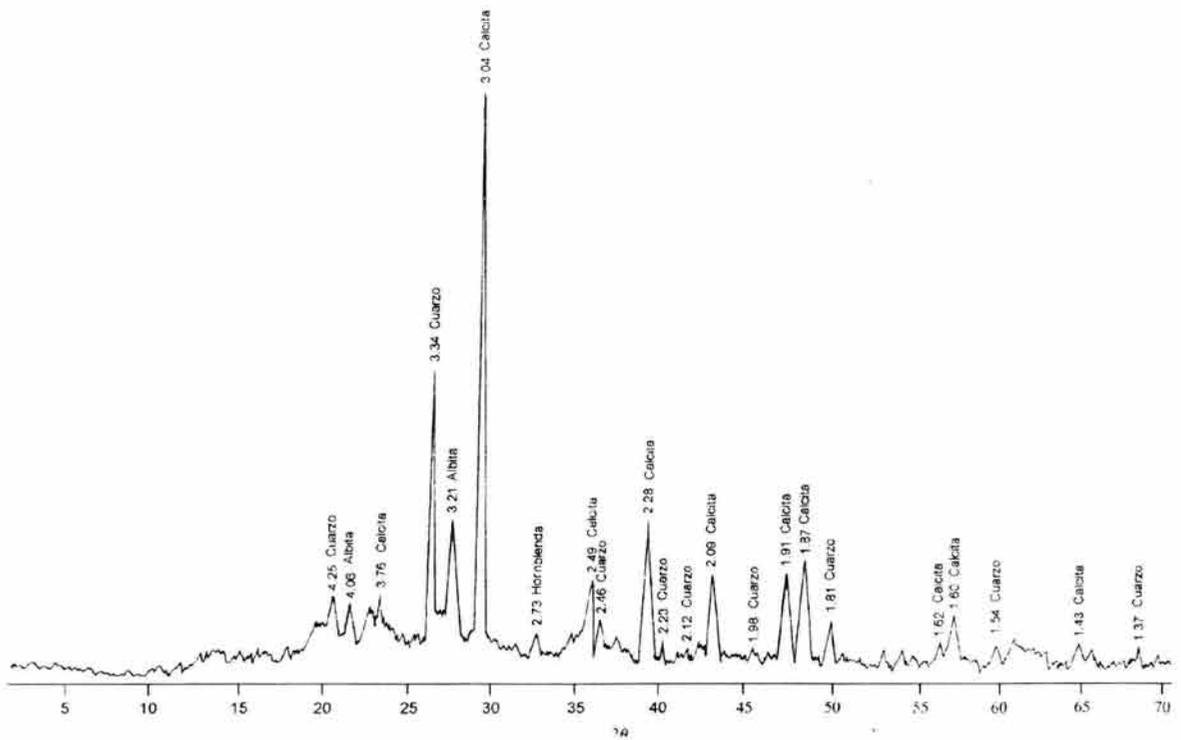


Figura 15. Difractograma de la fracción limo medio del horizonte Ap del perfil seis, La Pólvera. Abunda el cuarzo y la calcita; presencia de algunos feldespatos. Las distancias interplanares están dadas en Å.

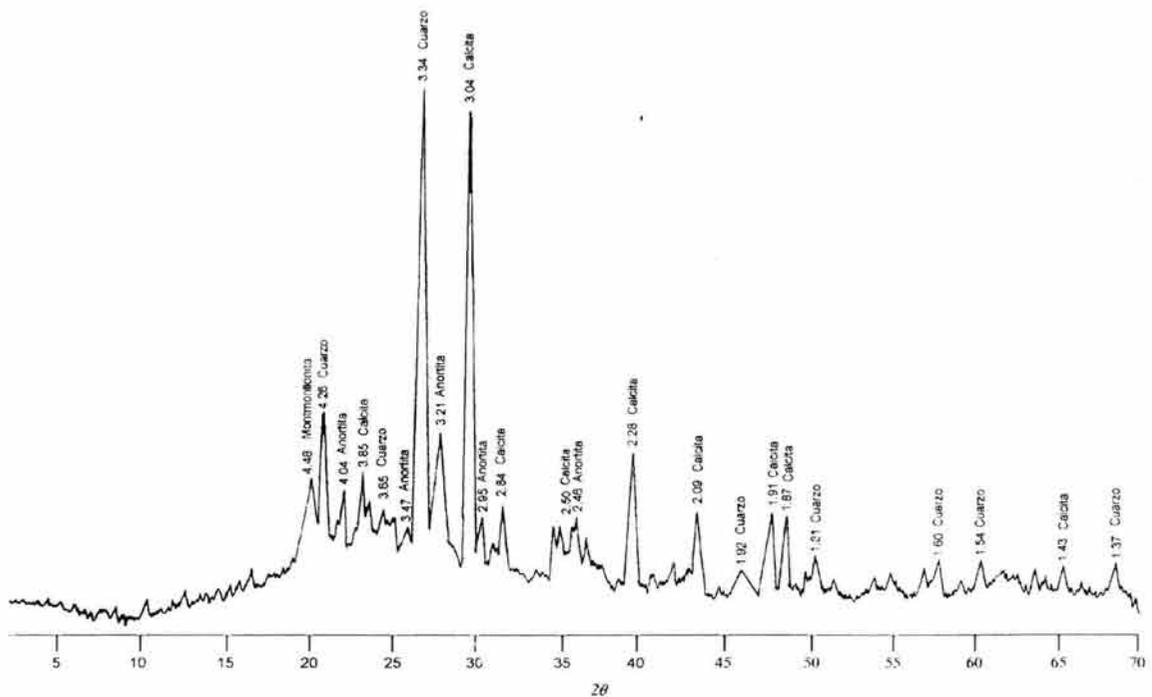


Figura 16. Difractograma de la fracción limo fino del horizonte Ap, perfil seis, La Pólvera, Villa Juárez, S.L.P. Predominio de calcita y cuarzo; algunos feldespatos y montmorillonita.

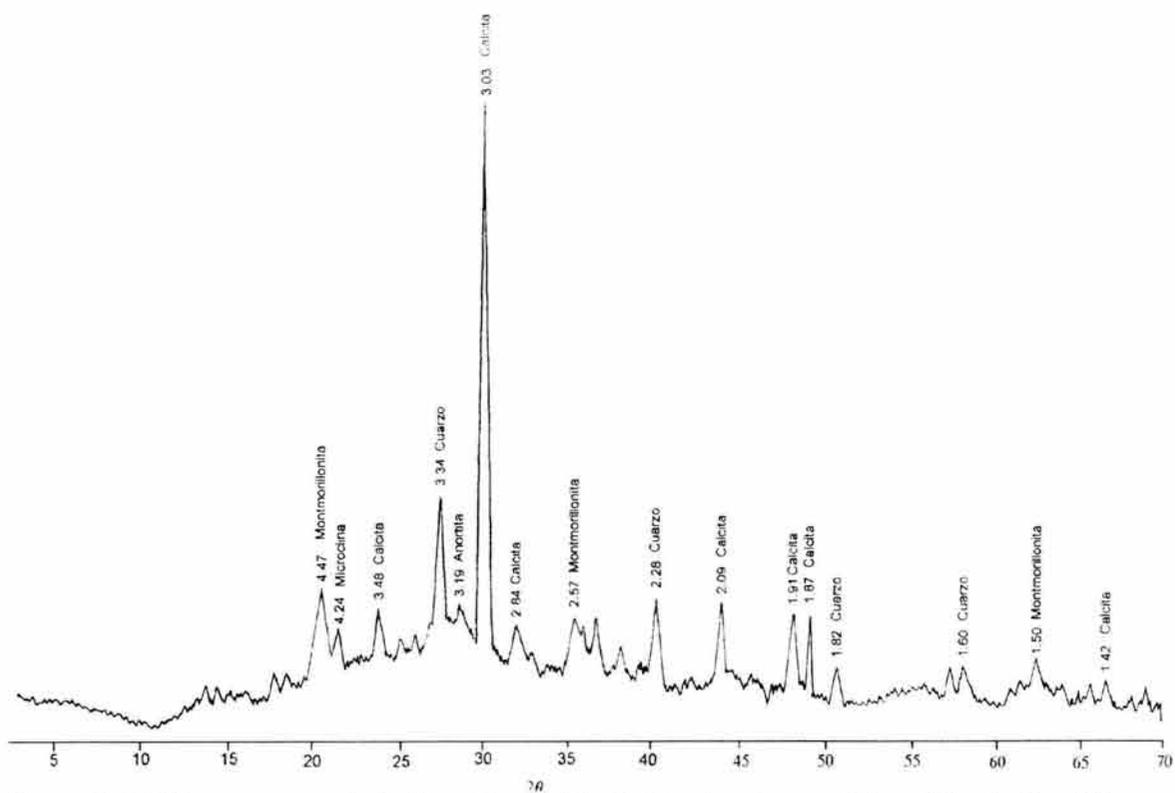


Figura 17. Difractograma de la fracción arcilla del horizonte Ap del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Predomina la montmorillonita. Las distancias interplanares en Å.

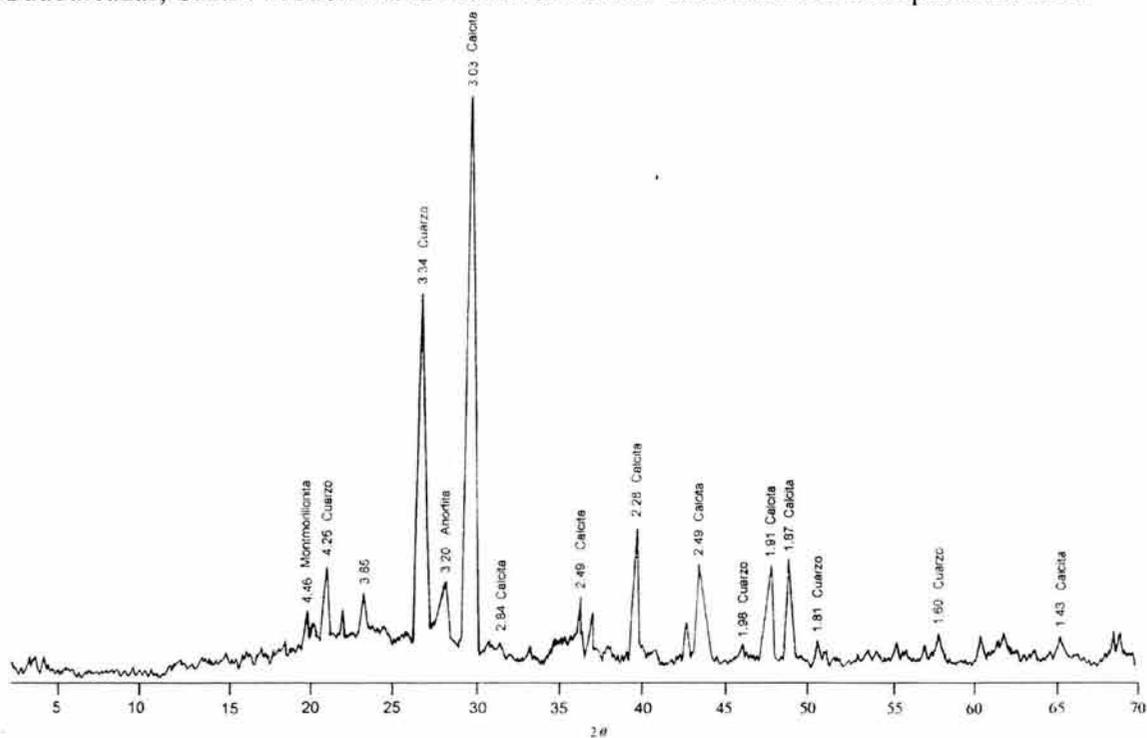


Figura 18. Difractograma de suelo total del horizonte A del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Predomina la calcita, seguida del cuarzo. Las distancias interplanares están dadas en Å.

anortita (Fig. 19). La situación se presentó en forma similar en la fracción limo medio; esto es, las señales más intensas son las correspondientes al cuarzo, pero también se encuentran algunas que corresponden a la calcita y al feldespato anortita (Fig. 20). Inversamente, en la fracción limo fino, las señales más intensas corresponden a la calcita, presentándose a la vez distancias interplanares ubicadas para cuarzo, el feldespato anortita y muscovita (Fig. 21). En la fracción arcilla las señales más intensas corresponden a la montmorillonita, se define claramente también el valor d (060); se presentan también algunas señales de cuarzo, calcita y microclina (Fig. 22).

Con respecto al horizonte Bw1, se analizó únicamente la muestra de suelo total. Las distancias interplanares detectadas son las que corresponden a la calcita, que es el mineral para el que aparecen las señales más intensas; además, se detectó la presencia de cuarzo, anortita y montmorillonita (Fig. 23).

Para el horizonte Bw2 se utilizaron muestras de suelo total, y las fracciones limo grueso, limo medio, limo fino y arcilla. En la muestra de suelo total se detectaron señales que indican la presencia preponderantemente de calcita, en función de las distancias interplanares desplegadas en el difractograma; también se encuentran distancias interplanares correspondientes al cuarzo, al feldespato anortita y a la montmorillonita (Fig. 24). En la fracción limo grueso las señales más intensas corresponden a la calcita; se detecta también la presencia de cuarzo, anortita y montmorillonita (Fig. 25); en la fracción limo medio predomina el cuarzo seguido de la calcita (Fig. 26). En la fracción limo fino, nuevamente las señales para calcita aparecen como las más intensas; también se aprecian distancias interplanares propias del cuarzo y algunas señales débiles para la muscovita, anortita y montmorillonita (Fig. 27). En la fracción arcilla aparecen distancias interplanares que corresponden a la calcita; también se detecta montmorillonita y cuarzo (Fig. 28).

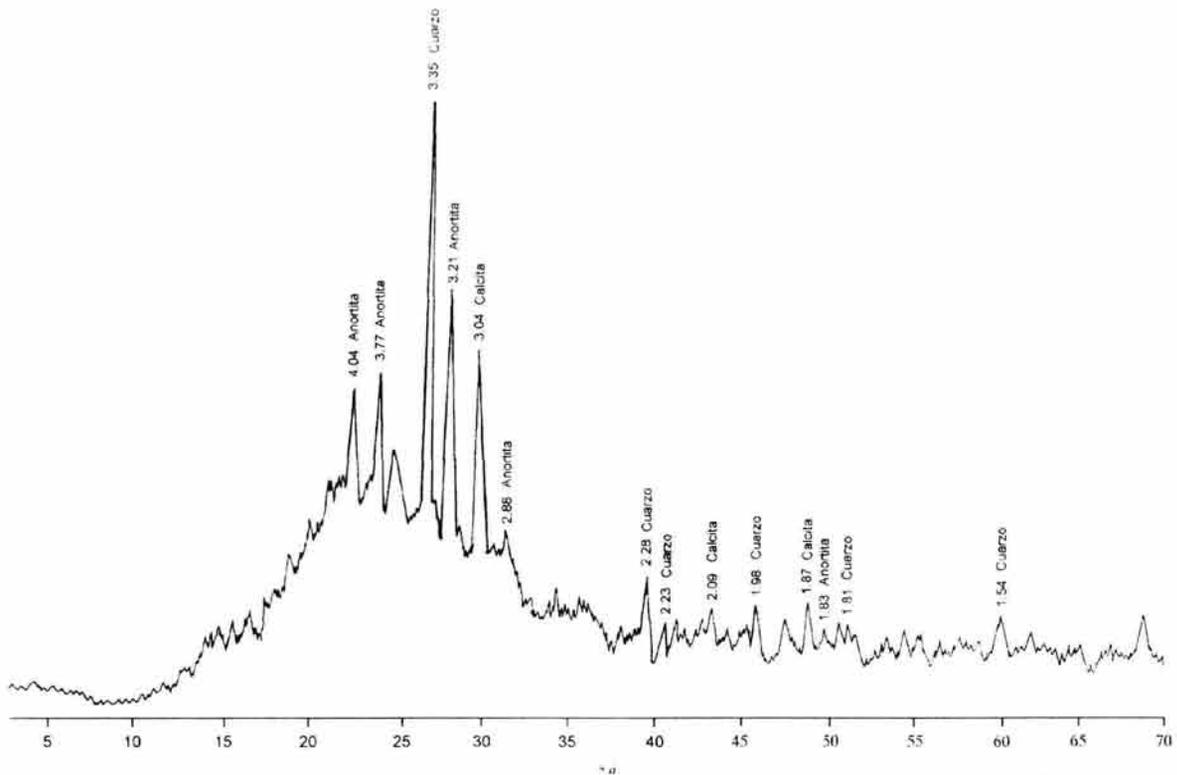


Figura 19. Difractograma de la fracción limo grueso del horizonte A del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Predominancia del cuarzo; algunos feldespatos. Las distancias interplanares están dadas en Å.

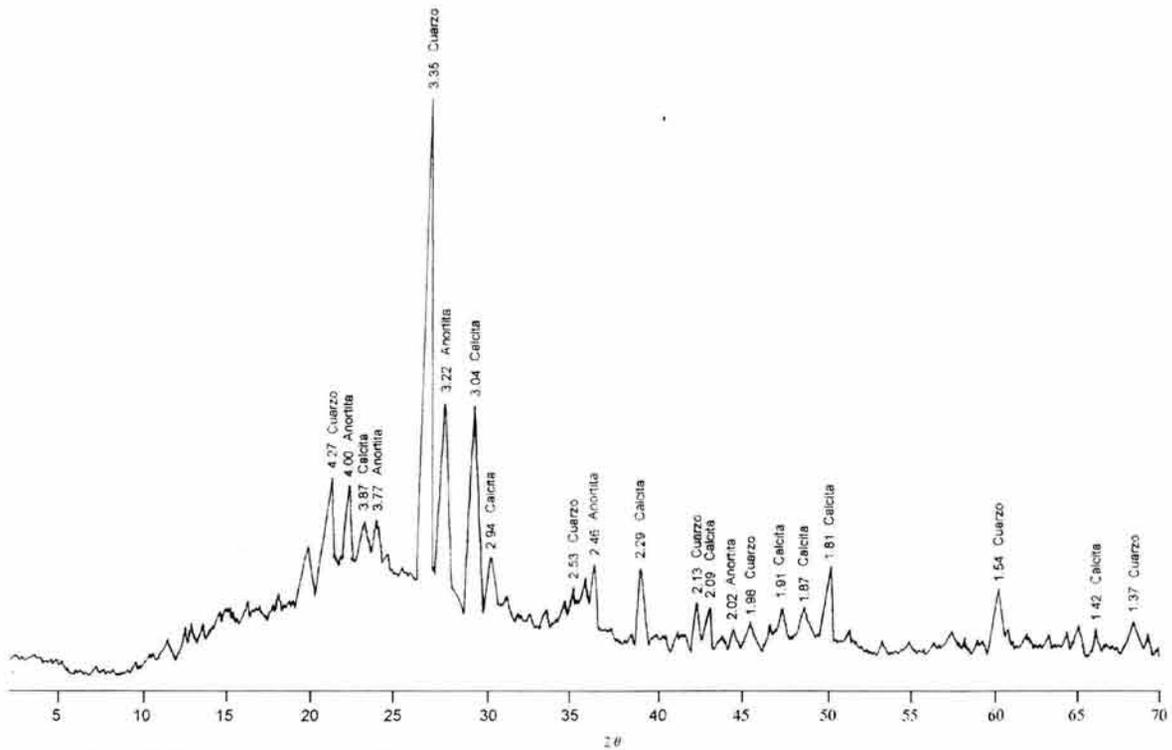


Figura 20. Difractograma de la fracción limo medio del horizonte A del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Las distancias interplanares están dadas en Å.

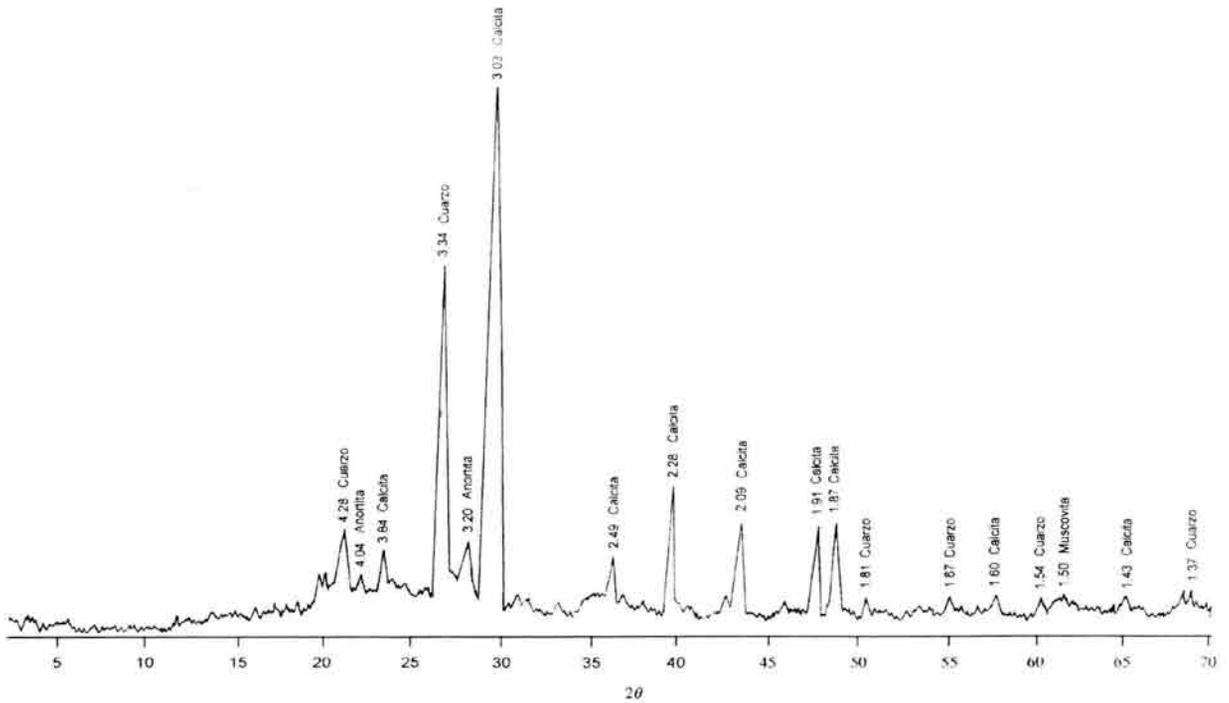


Figura 21. Difractograma de la fracción limo fino del horizonte A del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Predomina la calcita; presencia de algunos feldespatos y mica. Las distancias interplanares están dadas en Å.

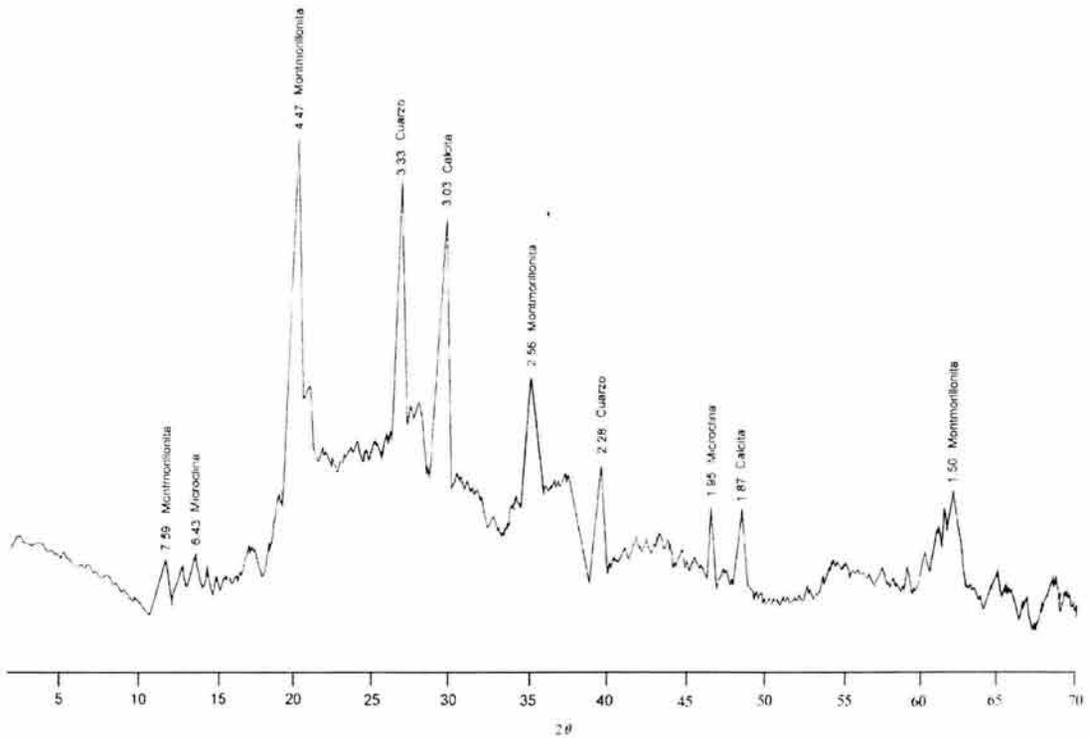


Figura 22. Difractograma de la fracción arcilla del horizonte A del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Predomina la montmorillonita. Las partículas son muy finas, dado el desplazamiento de la línea base. Las distancias interplanares están dadas en Å.

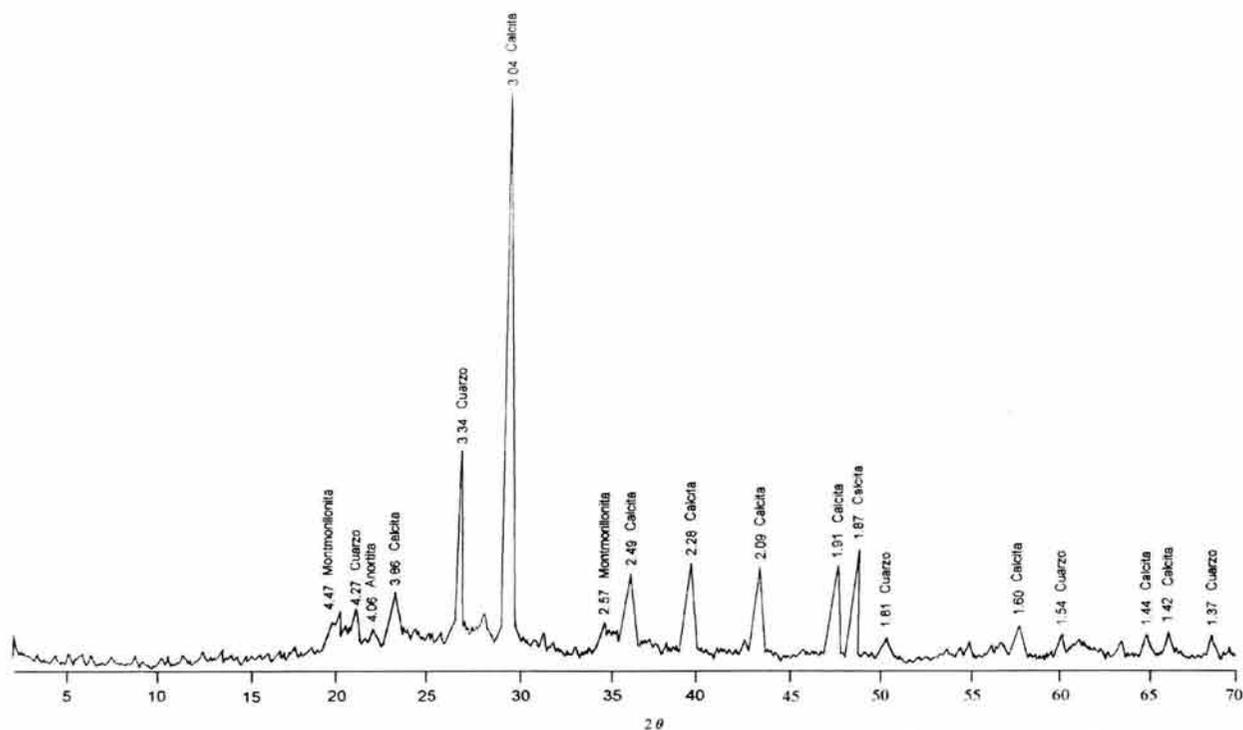


Figura 23. Difractograma de polvo de la muestra de suelo total del horizonte Bw1 del perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Abunda la calcita; presencia de montmorillonita. Distancias interplanares en Å.

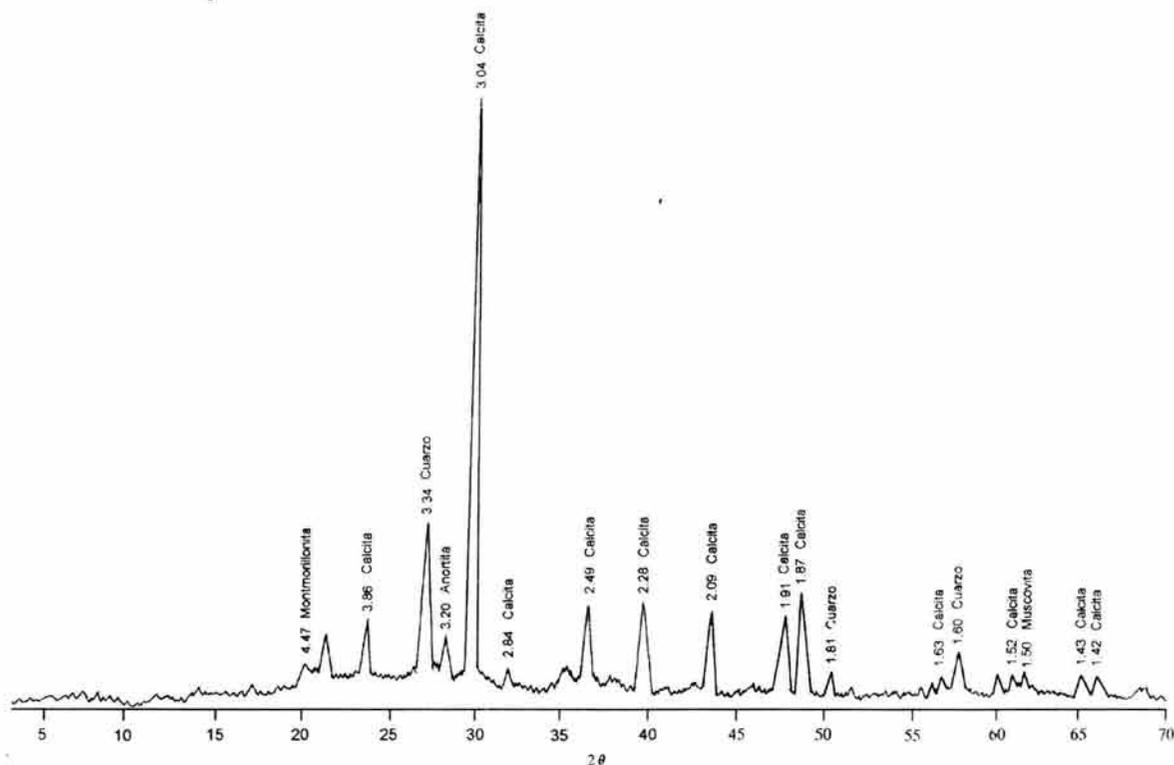


Figura 24. Difractograma de polvo, de suelo total de la muestra del horizonte Bw2, perfil seis, La Pólvara, Guadalcázar, S.L.P. Predominan calcita y cuarzo. Distancias interplanares en Å.

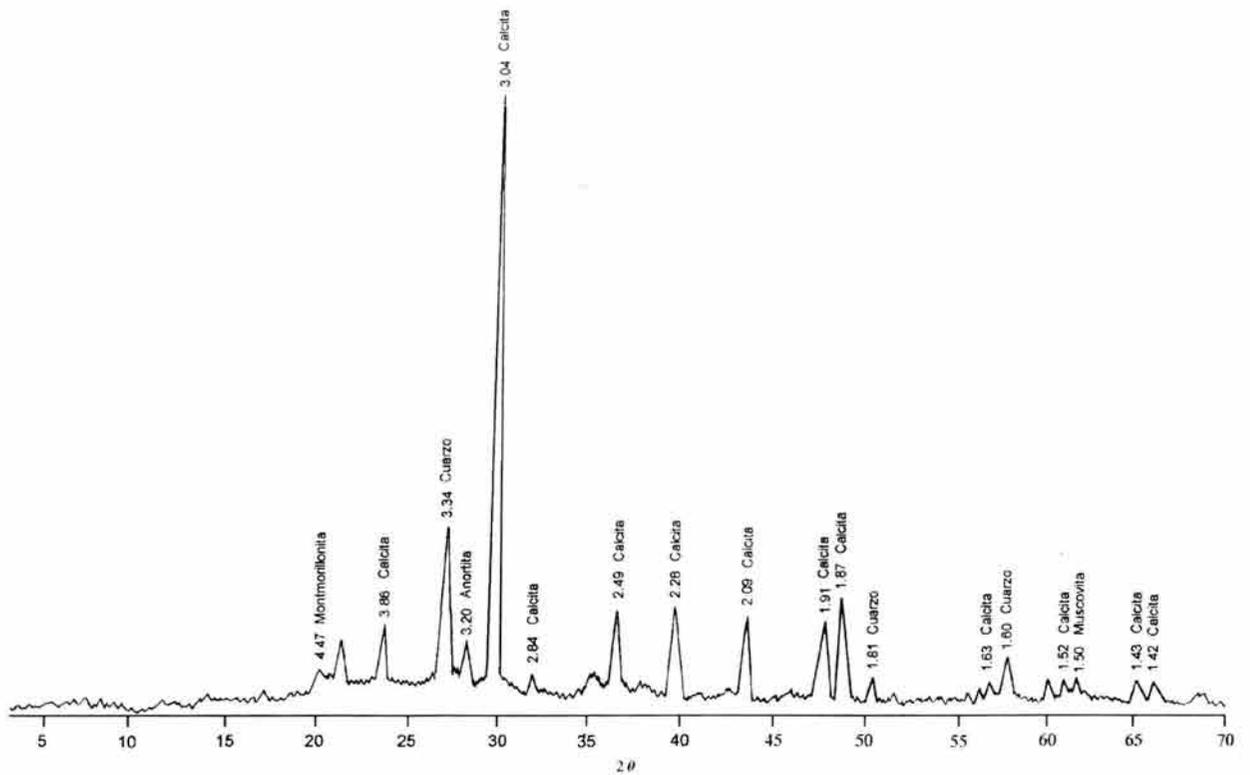


Figura 25. Difractograma de polvo, fracción limo grueso, horizonte Bw2, perfil seis, La Pólvera, Guadalcázar, S.L.P. Predominan cuarzo y feldespatos. Distancias interplanares en Å.

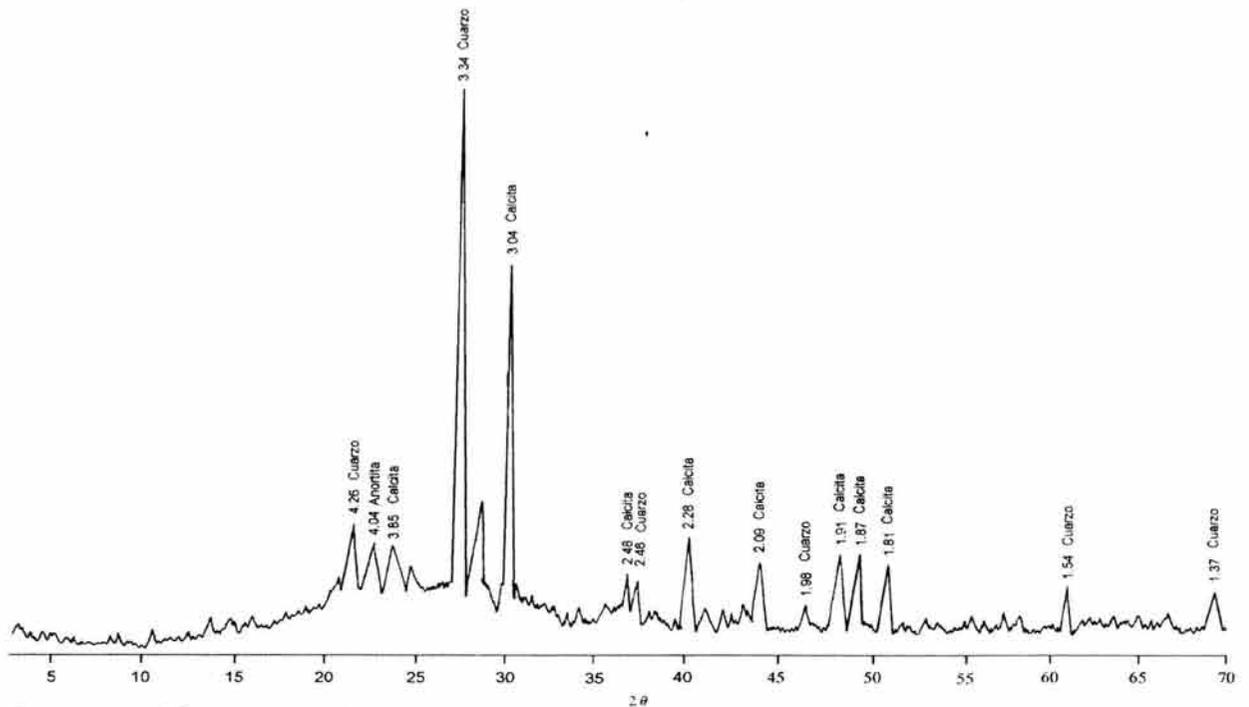


Figura 26. Difractograma de polvo de la fracción limo medio horizonte Bw2, del perfil seis, La Pólvera, Guadalcázar, S.L.P. Predominan el cuarzo y la calcita. Distancias interplanares en Å.

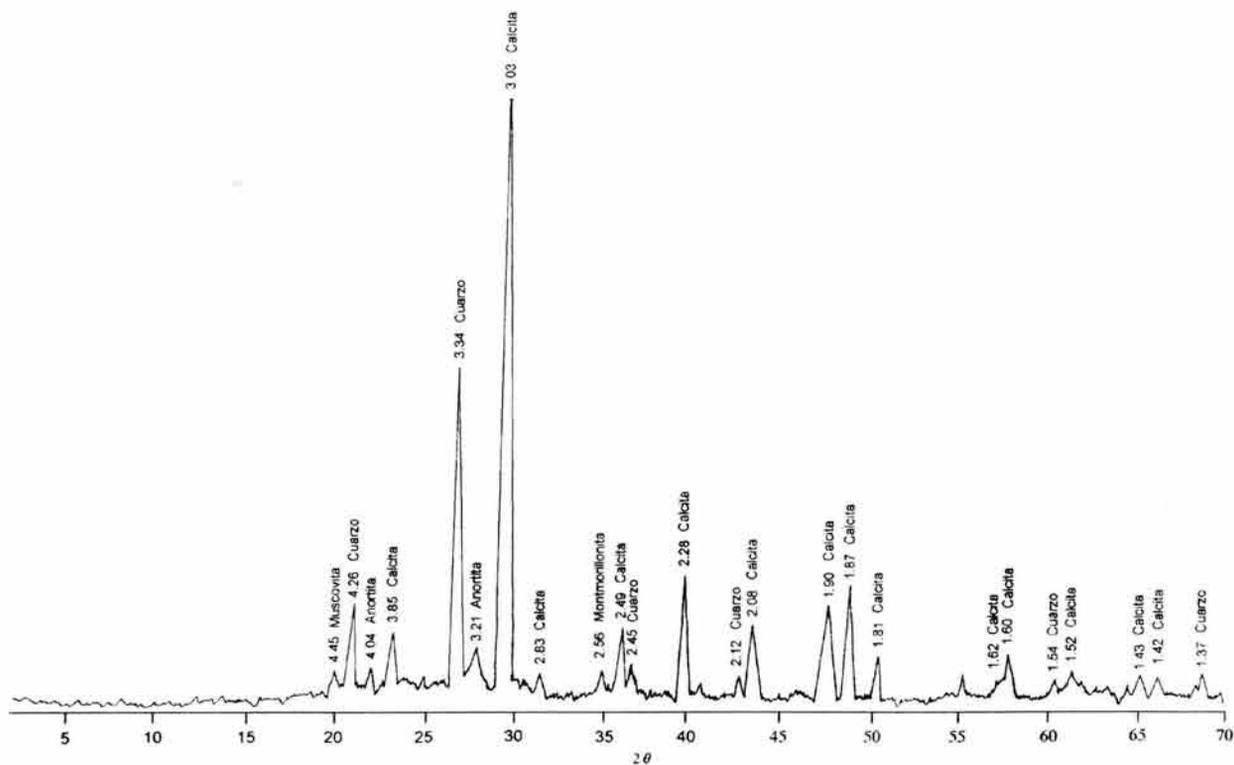


Figura 27. Difractograma de polvo de la fracción limo fino del horizonte Bw2, perfil seis, La Pólvora, Guadalcázar, S.L.P. Predomina la calcita. Distancias interplanares en Å.

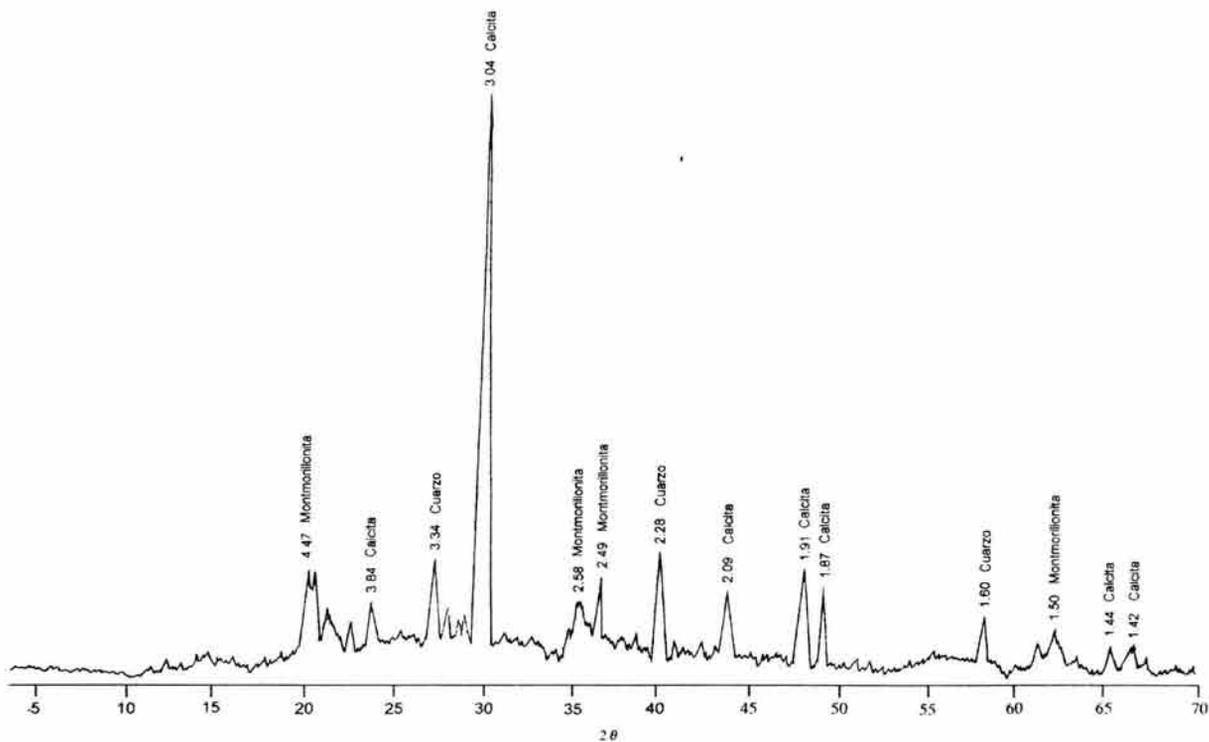


Figura 28. Difractograma de polvo de la fracción arcilla del perfil seis, La Pólvora, Guadalcázar, S.L.P. La calcita y la montmorillonita, las predominantes. Distancias interplanares en Å.

Perfil 9, La Borreguita

Este perfil es considerado como yesoso y para la difracción de rayos X, se tomaron en cuenta los horizontes Ap1 (0-10 cm), Ap2 (10-20 cm) y Cy1 (20-54 cm).

Para el horizonte Ap1 se analizaron muestras de suelo total, fracción limo fino y fracción arcilla. En la muestra de suelo total se detectó la presencia de calcita, cuarzo, anortita y montmorillonita, dominando el primer mineral mencionado, de acuerdo a las distancias interplanares detectadas (Fig. 29). En la fracción limo fino la calcita nuevamente está representada con los picos más intensos; aparecen también distancias interplanares que manifiestan la presencia de cuarzo, albita y montmorillonita (Fig. 30). En la fracción arcilla, aunque domina la calcita, la montmorillonita presenta señales más intensas que en las muestras de suelo total y fracción limo fino, sobre todo se manifiesta claramente el valor $d(060)$; otras distancias interplanares detectadas son las que corresponden al cuarzo y a los feldespatos albita y microclina (Fig. 31).

Para el horizonte Ap2, solamente se analizó el suelo total, en ella se reconocieron diferentes especies muy similares a la muestra de suelo total del horizonte Ap1, excepto que aparecen señales para yeso. Las distancias interplanares que aparecen con mayor intensidad son las correspondientes a la calcita, además para cuarzo (Fig. 32). En el horizonte Cy1, se utilizó solamente la muestra de suelo total. Se encontraron distancias interplanares que indican la presencia casi exclusiva de yeso; solamente se detectaron débiles señales para la calcita (Fig. 33).

Perfil 10, Santo Domingo

De este perfil solo se analizó la correspondiente a suelo total del horizonte Ap (0-10 cm). Las distancias interplanares que se mostraron con mayor intensidad fueron las propias del yeso; además de la esmectita, el cuarzo, la calcita y albita (Fig. 34).

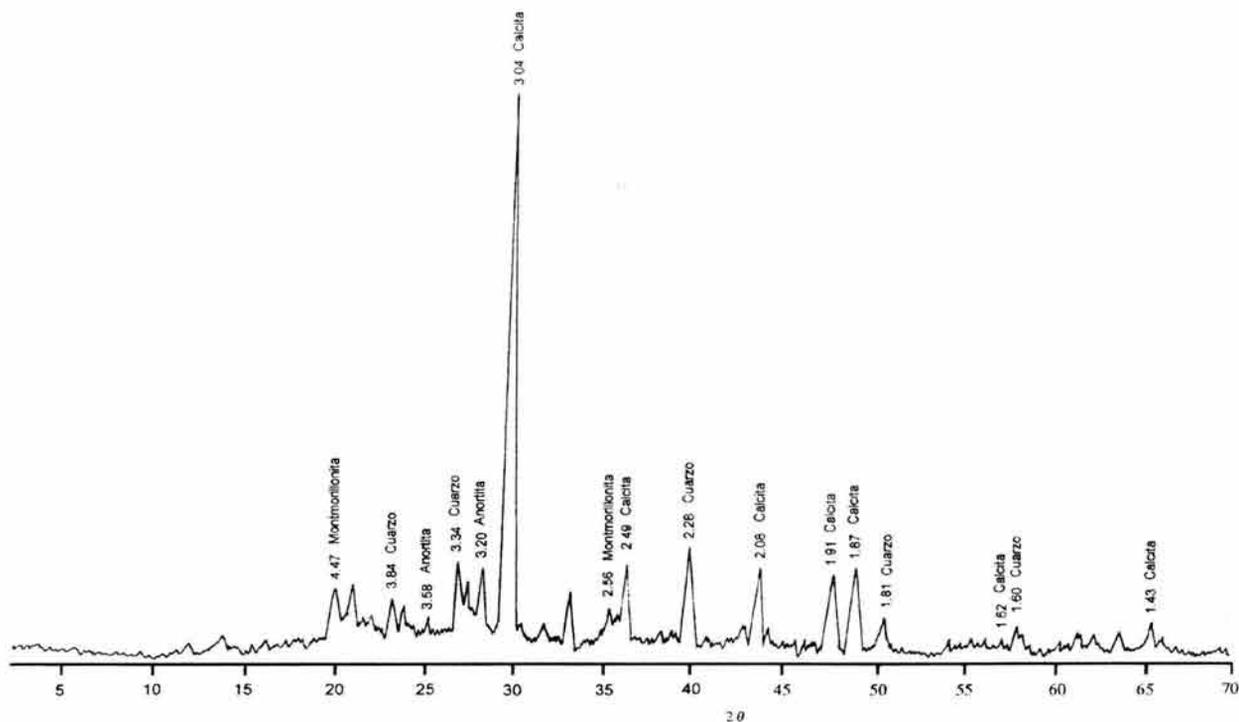


Figura 29. Difractograma de polvo del suelo total del horizonte Ap1 del perfil nueve, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P. Predominancia de calcita y cuarzo. Distancias interplanares en Å.

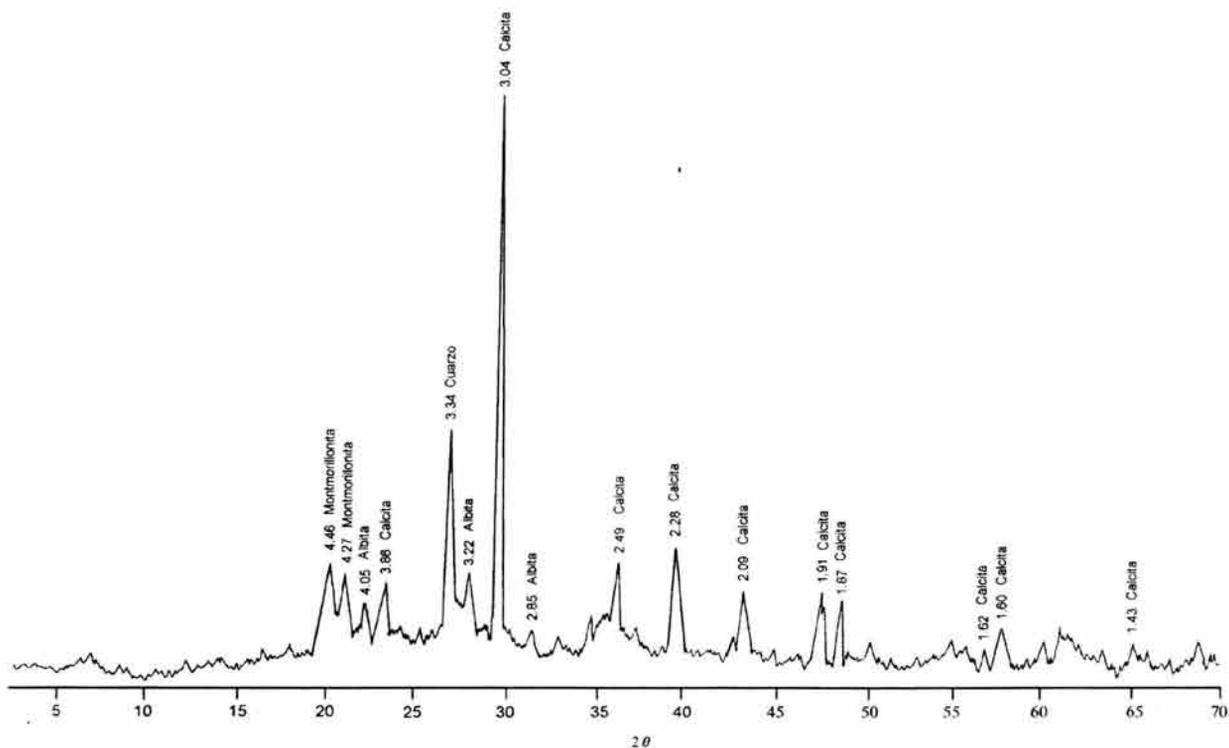


Figura 30. Difractograma de la fracción limo fino del horizonte Ap1 del perfil nueve, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P. Predominancia de la calcita; presencia de débiles señales de montmorillonita. Distancias interplanares en Å.

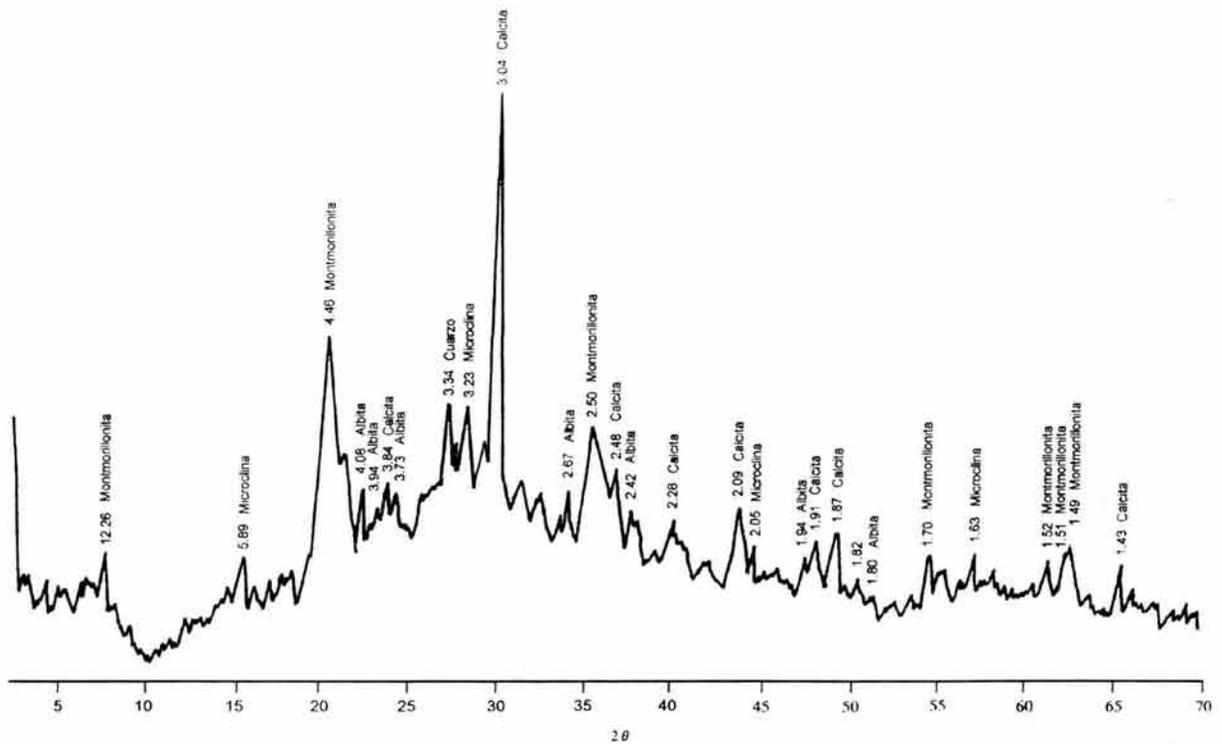


Figura 31. Difractograma de polvo de la fracción arcilla del horizonte Ap1 del perfil nuevo, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P. Predominan la calcita y la montmorillonita. Distancias interplanares en Å.

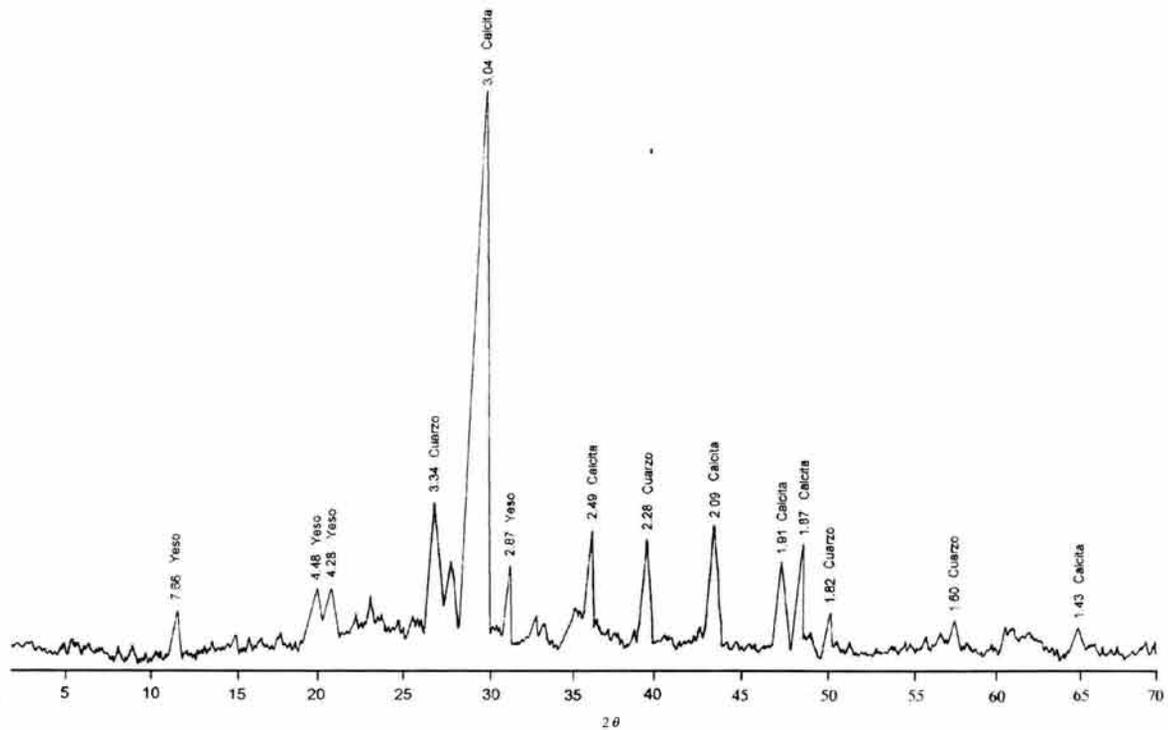


Figura 32. Difractograma de polvo del suelo total del horizonte Ap2 del perfil nuevo, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P. Predomina la calcita y el yeso. Distancias interplanares en Å.

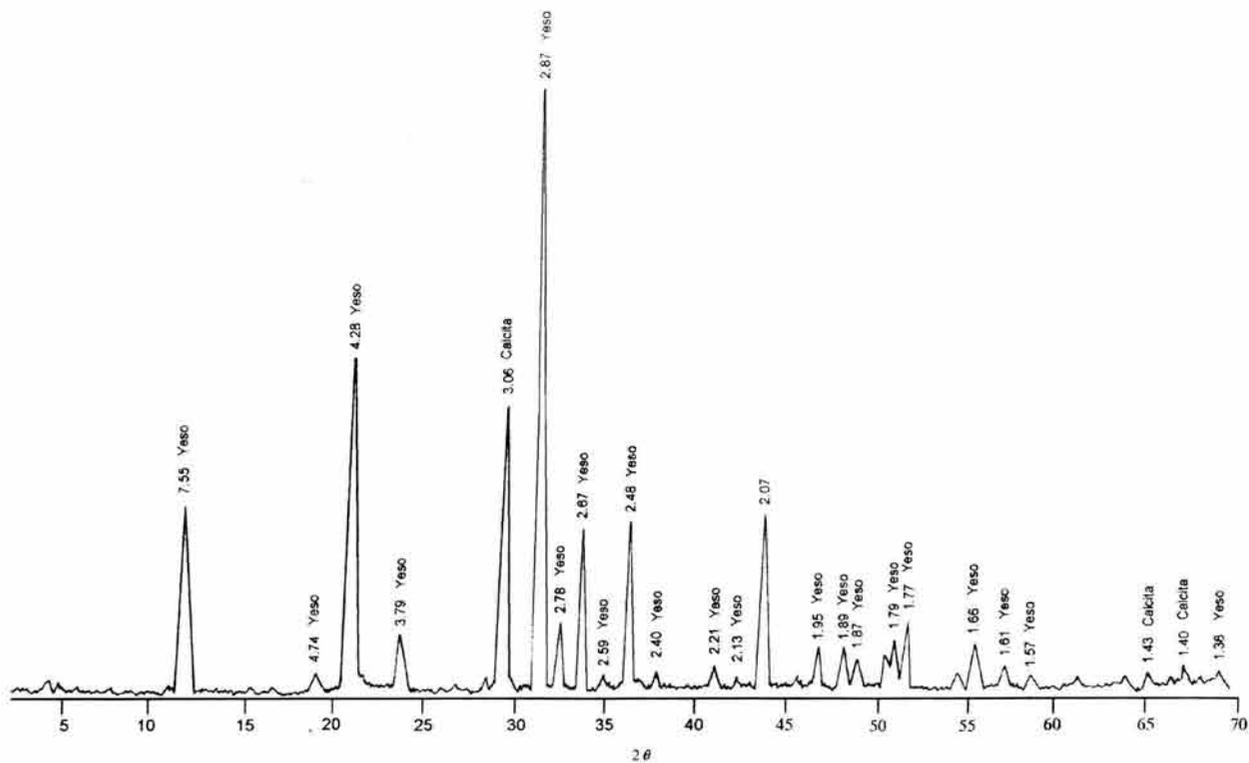


Figura 33. Difractograma de polvo del suelo total del horizonte Cyl del perfil nueve, La Borreguita, Villa Juárez, S.L.P. Predomina el yeso; débiles señales de calcita. Distancias interplanares en Å.

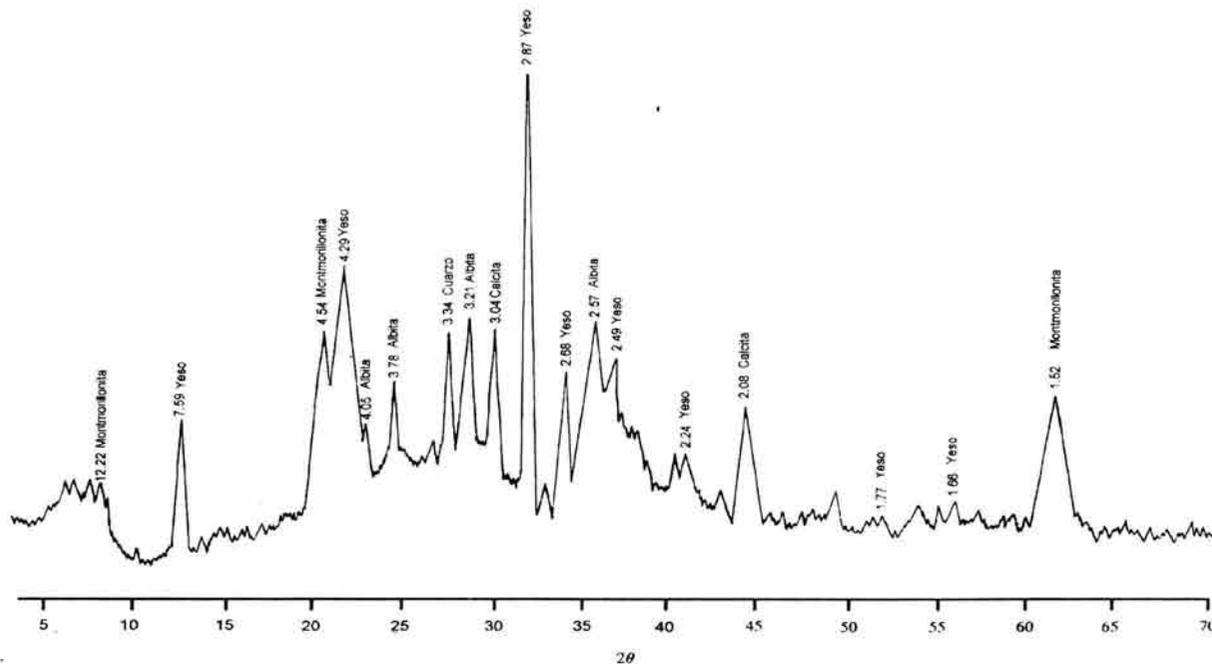


Figura 34. Difractograma de polvo del suelo total del horizonte A, perfil diez, Santo Domingo, Villa Juárez, S.L.P. Predominancia del yeso y la calcita; débiles señales de montmorillonita. Distancias interplanares en Å.

5.4. Fraccionamiento de la Materia Orgánica

De los perfiles estudiados se fraccionó la materia orgánica de las muestras provenientes de los perfiles cinco (El Tejocote), seis (La Pólvora), ocho (El Coyote) y nueve (La Borreguita). Las muestras provenían de los horizontes superficiales, excepto en el caso del perfil ocho, que se tomó a la profundidad de 10-50 cm.

Conforme a los datos analíticos expresados en la tabla 27, se observa el elevado porcentaje de materia orgánica, tomando en cuenta que se trata de ecosistemas de zonas áridas y semiáridas.

En los perfiles cinco, seis y ocho, predomina la fracción ligada de la materia orgánica, siendo el porcentaje más alto en el seis (La Pólvora) con un 98.18% y el más bajo en La Borreguita con un 47.82% de C ligado, con respecto del C total. Referente al perfil de La Borreguita fue aquí donde se detectó el porcentaje más alto de materia orgánica libre con un 52.13% de C, respecto al C total.

La polimerización de las sustancias húmicas es baja en los perfiles cinco y ocho, en tanto que en las muestras provenientes de los perfiles La Pólvora y La Borreguita es mayor. Lo anterior se manifiesta al encontrarse un predominio de los ácidos fúlvicos sobre los ácidos húmicos en los primeros perfiles mencionados.

El porcentaje de C, con respecto al C total, de los ácidos fúlvicos es 4.05% extraído con ácido fosfórico 2M y 24.09% con reactivos alcalinos, estas cifras corresponden al perfil de El Tejocote. Para lo correspondiente al perfil de La Pólvora los valores en ese mismo orden fueron de 8.48% y 13.94%, respectivamente. En los perfiles El Coyote y La Borreguita, los valores de la suma de los ácidos fúlvicos extraídos tanto con reactivos alcalinos y ácido fosfórico 2M, fueron de 30.672% y 12.75%, respectivamente.

Los ácidos húmicos, y con ello, la polimerización de las sustancias húmicas, son mayores

Tabla 27. Fraccionamiento de la materia orgánica de cuatro perfiles seleccionados del presente trabajo.

Perfil	5	6	8	9
Localidad	El Tejocote	La Pólvara	El Coyote	La Borreguita
Horizonte	Ap	Ap	A	Ap1
Profundidad	(0-5 cm)	(0-20 cm)	(20-50 cm)	(0-20 cm)
% C	4.69	1.65	3.00	8.23
% N	0.42	0.132	0.317	0.537
C/N	11.12	12.5	9.76	15.61
AF extraídos con H3PO4	0.19* (4.05)**	0.14 (8.48)	0.25 (8.34)	0.17 (2.06)
AF	1.13 (24.09)	0.23 (13.94)	0.67 (22.33)	0.88 (10.69)
AH	0.84 (17.92)	0.58 (35.15)	0.76 (25.35)	1.18 (14.34)
AF + AH	1.97 (42.00)	0.81 (49.09)	1.43 (47.66)	2.06 (25.03)
Humina	1.74 (37.10)	0.67 (40.61)	0.92 (30.67)	1.71 (20.78)
C de la MO humificada	3.90 (83.16)	1.62 (98.18)	2.60 (86.67)	3.94 (47.87)
C de la MO Libre	0.79 (16.84)	0.03 (1.82)	0.40 (13.33)	4.29 (52.13)

* % de carbono orgánico con respecto al peso del suelo.

** % de carbono orgánico con respecto al carbono total.

en los perfiles 6 (La Pólvara) y 8 (El Coyote), con un 35.15% y 25.33% de C, con respecto al C total, para los perfiles El Tejocote y La Borreguita, los valores son de 17.92% y 14.34%, respectivamente.

Los índices de "maduración" más altos, reflejados por los valores más elevados de humina, los presentaron las muestras provenientes de los perfiles de El Tejocote y La Pólvara, correspondiendo 37.1% y 40.61%, respectivamente, de C con respecto al C total. El perfil que presentó menor contenido de humina fue el nueve con un 20.78% de C, con respecto al C total.

5.5. Análisis Microbiológicos

Las determinaciones microbiológicas se realizaron únicamente en el perfil nueve, La Borreguita, representativo de los suelos yesosos descritos en este trabajo.

La cantidad de mohos en el estrato superficial (Horizonte Ap1) fue de 10×10^6 , las levaduras 1.4×10^6 y las bacterias 4.5×10^6 unidades formadoras de colonias (U.F.C.). La cantidad de mohos aumenta considerablemente con la profundidad hasta llegar a 29.8×10^6 U.F.C. en el horizonte Cy1.

Las levaduras se manifestaron con mayor cantidad con 1.4×10^6 U.F.C. en el horizonte Ap1, pero desciende conforme aumenta la profundidad hacia los horizontes subyacentes.

La población de bacterias en el horizonte Ap1 es de 4.5×10^6 U.F.C. y desciende ligeramente en los horizontes Ap2 y Cy1, presentando 3.23×10^6 y 3.25×10^6 U.F.C., respectivamente.

La población de actinomicetos por el método indicado en el apartado correspondiente, no se manifestó.

5.6. Análisis Estadístico

Se practicó un análisis de correlación lineal sencilla a las variables en estudio con la finalidad de saber el grado y el tipo de relación entre las mismas, tomando los conjuntos de datos como dos variables aleatorias (Tablas 28 y 29). El análisis de correlación se hicieron por separado para los perfiles calcáreos y yesosos, debido a que las determinaciones no son las mismas.

Las variables medidas para los perfiles yesosos son: profundidad, espesor del horizonte, densidad aparente, densidad real, pH (en agua, relación 1:2.5), materia orgánica, porcentaje de arena, porcentaje de limo, porcentaje de arcilla, porcentaje de agua a saturación, capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de carbonatos (expresados como CaCO_3), porcentaje de yeso, conductividad eléctrica, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, sodio soluble, potasio soluble, calcio soluble y magnesio soluble.

Para los perfiles calcáreos las variables se tomaron como sigue: profundidad, espesor del horizonte, densidad aparente, densidad real, pH (en agua, relación 1:2.5), porcentaje de materia orgánica, porcentaje de arena, porcentaje de limo, porcentaje de arcilla, porcentaje de agua a saturación, capacidad de intercambio catiónico, carbonatos totales (expresados como CaCO_3), bicarbonatos, cloruros, sulfatos, así como sodio, potasio, calcio, magnesio solubles y conductividad eléctrica. Las unidades, tanto para el análisis de los perfiles yesosos como para los perfiles calcáreos, son las mismas en que se han expresado en apartados anteriores.

Tabla 28. Valores del coeficiente de determinación R^2 , ecuación de regresión y valor de t de las variables de los suelos yesosos que tuvieron correlación significativa.

Variable independiente	Variable dependiente	R^2	Ec. de regresión lineal	t calc.
Profundidad del perfil (cm)	Espesor del horizonte (cm)	0.5962**	$y = 4.8934 + 0.438x$	4.5468**
	CIC ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	0.4959**	$y = 37.988 - 0.6533x$	-3.7107**
	CaCO_3 (%)	0.4051**	$y = 29.8184 - 0.462x$	-3.0873**
	Yeso (%)	0.7005**	$y = 13.1614 + 1.1166x$	5.7226**
Densidad aparente (g cm^{-3})	Arena (%)	0.3679*	$y = -13.9255 + 53.2981x$	2.8543**
	CaCO_3 (%)	0.6595**	$y = -56.4262 + 86.8081x$	3.2825**
	SO_4^{2-} ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)	0.3334*	$y = 56.5682 - 25.228x$	-2.6547*
Densidad real (g cm^{-3})	Agua a saturación (%)	0.4526**	$y = 133.1866 - 42.3134x$	-3.4026**
pH en agua (1:2.5)	SO_4^{2-} ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)	0.3049*	$y = -106.2939 + 17.313x$	2.4779*
MO (%)	Limo (%)	0.3391*	$y = 61.4885 - 1.9239x$	-2.6803*
	Arcilla (%)	0.6703**	$y = 7.1005 + 1.7861x$	5.3355**
	CIC ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	0.5823**	$y = 6.6671 + 3.4877x$	4.4182**
	CaCO_3 (%)	0.3004*	$y = 9.8929 + 1.9601x$	2.5421*
Arena (%)	Limo (%)	0.5576**	$y = 86.191 - 1.0335x$	-4.2009**
	CaCO_3 (%)	0.3386*	$y = -9.4607 + 0.8717x$	2.6772*
Limo (%)	Arcilla (%)	0.4971**	$y = 39.6361 - 0.4655x$	-3.7198**
	Agua a saturación (%)	0.4053**	$y = 64.3028 - 0.3821x$	-3.0891**
	CIC ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	0.5353**	$y = 75.665 - 1.0121x$	-4.0157**
	CaCO_3 (%)	0.6543**	$y = 64.9367 - 0.8755x$	-5.1475**
	Yeso (%)	0.3119*	$y = -18.4065 + 1.111x$	2.519*
Arcilla (%)	Agua a saturación (%)	0.3078*	$y = 36.5022 + 0.5042x$	2.4952*
	CIC ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	0.5671**	$y = -1.5939 + 1.5777x$	4.2825**
	CaCO_3 (%)	0.3562*	$y = 3.8797 + 0.9784x$	2.7834**
Agua a sat. (%)	CaCO_3 (%)	0.5573**	$y = -40.7906 + 1.3464x$	4.198**
	Yeso (%)	0.3308*	$y = 124.4755 - 1.9065x$	-2.6306*
CIC ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	CaCO_3 (%)	0.648**	$y = 4.6545 + 0.6298x$	5.077**
	Yeso (%)	0.5404**	$y = 63.7574 - 1.0571x$	-4.0574**
	SO_4^{2-} ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)	0.3242*	$y = 38.0372 - 0.1475x$	-2.5914*
CaCO_3 (%)	Yeso (%)	0.4703**	$y = 63.8367 - 1.2604x$	-3.5255**
Yeso (%)	Na^+ soluble ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)	0.2916*	$y = -0.2048 + 0.0392x$	2.4006*
CE (dS m^{-1})	K^+ soluble ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)	0.2781*	$y = -1.4155 + 0.9311x$	2.3223*
	Mg^{2+} sol. ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)	0.2769*	$y = -3.7906 + 8.8211x$	2.3156*
Cl^- ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)	Ca^{2+} sol. ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)	0.665**	$y = 10.9438 + 2.3116x$	5.2723**
SO_4^{2-} ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)	K^+ soluble ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)	0.2805*	$y = 3.6364 - 0.0912x$	-2.3363*

*.05 < p ≤ 0.01; ** 0.01 < p ≤ 0.001

Tabla 29. Valores del coeficiente de determinación R^2 , ecuación de regresión y valor de t de las variables de los suelos calcáreos que tuvieron correlación significativa.

Variable independiente	Variable dependiente	R^2	Ec. de regresión lineal	t calc.
Profundidad del perfil (cm)	Espesor del horizonte (cm)	0.3367*	$y = 10.7662 + 0.2124x$	2.2529*
	MO (%)	0.3566*	$y = 4.3791 - 0.0297x$	-2.3541*
	Cl^- (mmol _c L ⁻¹)	0.5327**	$y = -20.1219 + 1.7845x$	3.3968**
	Na^+ soluble (mmol _c L ⁻¹)	0.6624**	$y = -43.9974 + 0.809x$	4.4298**
	Ca^{2+} soluble (mmol _c L ⁻¹)	0.3971*	$y = 5.3132 + 0.8606x$	2.5665*
	CE (dS m ⁻¹)	0.5546**	$y = -1.1858 + 0.1553x$	3.529**
Espesor del horizonte (cm)	Arena (%)	0.4892**	$y = 17.0748 + 0.475x$	3.0945*
Densidad aparente (g cm ⁻³)	CIC (cmol _c kg ⁻¹)	0.624**	$y = -45.4613 + 80.5588x$	4.0734**
Densidad real (g cm ⁻³)	MO (%)	0.3451*	$y = 16.9736 - 6.4583x$	-2.2957*
	Arena (%)	0.3072*	$y = 95.7837 - 30.4273x$	-2.1058*
	Limo (%)	0.3937*	$y = -110.869 + 69.9074x$	2.5481*
MO (%)	Agua a saturación (%)	0.7541**	$y = 37.9091 + 2.8337x$	5.5372**
	Na^+ soluble (mmol _c L ⁻¹)	0.3359*	$y = 64.1817 - 11.57x$	-2.2489*
Arena (%)	$CaCO_3$ (%)	0.3569*	$y = 5.5855 + 1.1541x$	2.3559*
Limo (%)	Arcilla (%)	0.7628**	$y = 60.4831 - 0.7439x$	-5.6706**
Arcilla (%)	HCO_3^- (mmol _c L ⁻¹)	0.4015**	$y = 8.1115 + 0.1298x$	2.5902*
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	HCO_3^- (mmol _c L ⁻¹)	0.3771*	$y = 6.25 + 0.223x$	2.4603*
$CaCO_3$ (%)	Cl^- (mmol _c L ⁻¹)	0.3859*	$y = -34.3469 + 3.0901x$	2.5056*
	SO_4^{2-} (mmol _c L ⁻¹)	0.4497**	$y = 23.7499 + -0.2635x$	-2.8589**
	K^+ soluble (mmol _c L ⁻¹)	0.4931**	$y = -2.1615 + 0.1271x$	3.1192**
	Ca^{2+} sol. (mmol _c L ⁻¹)	0.3809*	$y = -10.6026 + 1.7549x$	2.4806*
	CE (dS m ⁻¹)	0.3359*	$y = -1.5803 + 0.2517x$	2.2489*
Cl^- (mmol _c L ⁻¹)	Na^+ sol. (mmol _c L ⁻¹)	0.7271**	$y = 4.304 + 0.3548x$	5.1611**
	K^+ sol. (mmol _c L ⁻¹)	0.6961**	$y = 0.1484 + 0.0303x$	4.7856**
	Ca^{2+} sol. (mmol _c L ⁻¹)	0.8924**	$y = 11.2294 + 0.54x$	9.1072**
	Mg^{2+} sol. (mmol _c L ⁻¹)	0.684**	$y = 5.5804 + 0.162x$	4.6523**
	CE (dS m ⁻¹)	0.9857**	$y = 0.7816 + 0.0867x$	26.2398**
SO_4^{2-} (mmol _c L ⁻¹)	K^+ soluble (mmol _c L ⁻¹)	0.3628*	$y = 6.483 - 0.2774x$	-2.3863*
	Ca^{2+} soluble (mmol _c L ⁻¹)	0.2929*	$y = 109.955 - 3.9168x$	-2.0351 NS
	CE (dS m ⁻¹)	0.202*	$y = 14.8204 - 0.4969x$	-1.5911 NS
Na^+ soluble (mmol _c L ⁻¹)	K^+ soluble (mmol _c L ⁻¹)	0.2067*	$y = 1.3313 + 0.0397x$	1.1641 NS
	Mg^{2+} sol. (mmol _c L ⁻¹)	0.5911**	$y = 6.8215 + 0.3619x$	3.802**
	Ca^{2+} soluble (mmol _c L ⁻¹)	0.4447**	$y = 25.2007 + 0.9162x$	2.8298**
	CE (dS m ⁻¹)	0.7634**	$y = 1.7954 + 0.1833x$	5.6806**
K^+ soluble (mmol _c L ⁻¹)	Ca^{2+} soluble (mmol _c L ⁻¹)	0.8086**	$y = 18.3955 + 14.1302x$	6.4993**
	Mg^{2+} sol. (mmol _c L ⁻¹)	0.3859**	$y = 10.1234 + 3.3445x$	2.5067*
	CE (dS m ⁻¹)	0.6416**	$y = 2.8577 + 1.9224x$	4.2306**
Ca^{2+} sol. (mmol _c L ⁻¹)	Mg^{2+} sol. (mmol _c L ⁻¹)	0.5668**	$y = 4.5747 + 0.2579x$	3.6169**
	CE (dS m ⁻¹)	0.8844**	$y = -0.0715 + 0.1436x$	8.7448**
Mg^{2+} sol. (mmol _c L ⁻¹)	CE (dS m ⁻¹)	0.7038**	$y = 0.87 + 0.374x$	4.8744**

*.05 < p ≤ 0.01; ** 0.01 < p ≤ 0.001; NS, no significativo

VI.- DISCUSIÓN

6.1. Suelos Yesosos

El intemperismo y la degradación de los minerales, y el desarrollo de un perfil de intemperismo, son funciones del tiempo, la intensidad del intemperismo y la litología (Soller y Owens, 1991). La evolución de los suelos derivados de yeso, está limitada por la escasa posibilidad de los minerales primarios para una neoformación eficiente de arcillas. Sin embargo, al ser el yeso un material evaporítico, en la precipitación pudo haber alternado con la sedimentación de materiales terrígenos, existiendo ciertas acumulaciones de arcillas geológicas en forma de pequeños lentejones que proveen de minerales filosilicatados al suelo; los cristales de yeso generalmente contienen varias impurezas, tales como arcillas, carbonatos, y óxidos e hidróxidos de hierro (Podwojewski y Arnold, 1994). Otra circunstancia que atenúa la falta de minerales primarios en el material evaporítico, es la presencia aislada de cuerpos ígneos del Cuaternario, los cuales han liberado algunos minerales de los grupos de los anfíboles, los piroxenos y los feldespatos (Tablas 23 y 26), posibilitando la formación de minerales secundarios. El intemperismo dominante en la disgregación de las rocas ha sido el físico, ya que los minerales mencionados difieren en sus coeficientes de expansión, y éste es relativamente elevado. En la época de invierno y principios de la primavera, son importantes los cambios de temperatura bruscos. Aunque la oscilación térmica anual se ubique en 7.8 °C, la media mensual no sobrepase los 25 °C (Fig. 35) y la temperatura media anual sea de 20.5 °C, la variación diaria puede ser de más de 20°C. Cuando se presenta el fenómeno de una helada, la temperatura desciende por debajo del punto de congelación y unas 5 ó 6 horas después, puede encontrarse cerca de los 20 °C. También está actuando en este tipo de intemperismo la acción abrasiva producida por el

arrastre de las partículas de suelo por el viento, especialmente en los meses de febrero y marzo.

Por otra parte, existe un contenido de materia orgánica que puede considerarse elevado (Fig. 36), tomando en cuenta que, aunque se trata de ecosistemas en su mayoría no abiertos al cultivo, sí se llevan a cabo actividades de ganadería extensiva. Esta condición de abundancia de carbono orgánico está controlada por el tipo de vegetación existente. Es notoria la presencia de leguminosas como *Acacia Berlandieri* Benth, *Dalea tuberculata* Lag, *Acacia schaffnerii* (Fig. 37) y *Prosopis laevigata* (Swartz.) DC. También existen aportes de la bromeliácea *Hechtia glomerata* Zucc. (Fig. 38), siendo éstos no por el follaje, sino por la parte radicular, que al ser de buena profusidad provee de suficiente material orgánico susceptible de transformarse en compuestos húmicos.

Los resultados analíticos también reflejan algunas situaciones particulares. En el caso del perfil uno (El Tejocote), una de las características a resaltarse es su baja densidad aparente, sobre todo en el horizonte Cy; los materiales minerales de partida, así como su contenido de materia orgánica orientan a esta situación. El contenido de sales es bajo y se ve reflejado en su conductividad eléctrica. Una solución saturada de yeso puede dar conductividades eléctricas de alrededor de 2 dS m^{-1} , por lo que es conveniente separar, por sus propiedades, los suelos yesosos de los salinos (Herrero, 1991). Los iones solubles más abundantes son el calcio (Fig. 39) y los sulfatos (Fig. 40), que al provenir de materiales formadores ricos en yeso y al intemperizarse en un medio no percolante, se acumulan en los horizontes inferiores. Una situación un tanto distinta se puede observar para el contenido de carbonatos (determinados como CaCO_3), ya que la acumulación de estos se da en el horizonte Ap (Fig. 41) y no en el horizonte subyacente. En la dinámica de los carbonatos

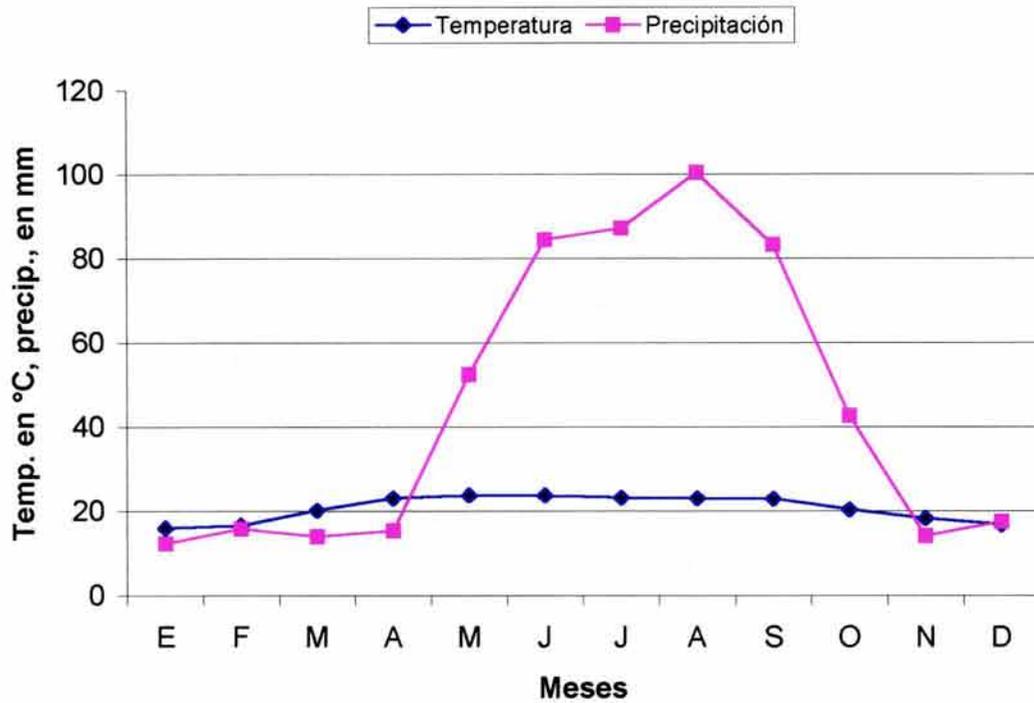


Figura 35. Datos de precipitación y temperatura tomados de la estación “Villa Juárez”, la más cercana a los suelos perfiles yesosos (Tomados de García, 1988).

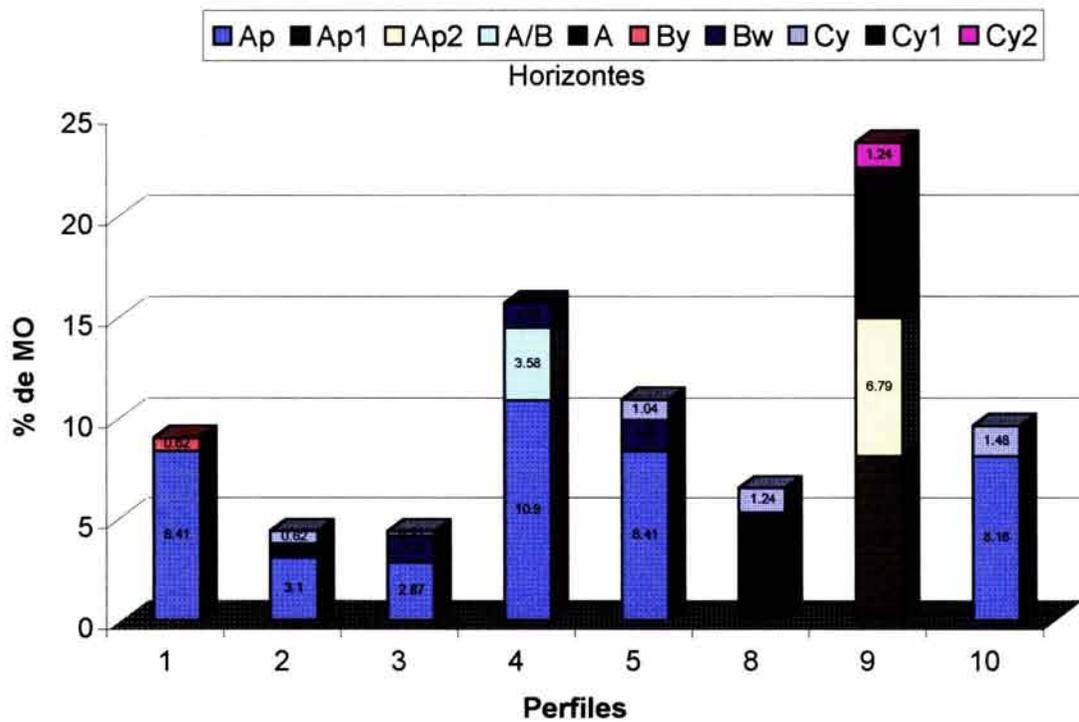


Figura 36. Distribución de la materia orgánica en los suelos yesosos, indicando el porcentaje por horizonte. Los porcentajes más elevados se presentan en los horizontes A.

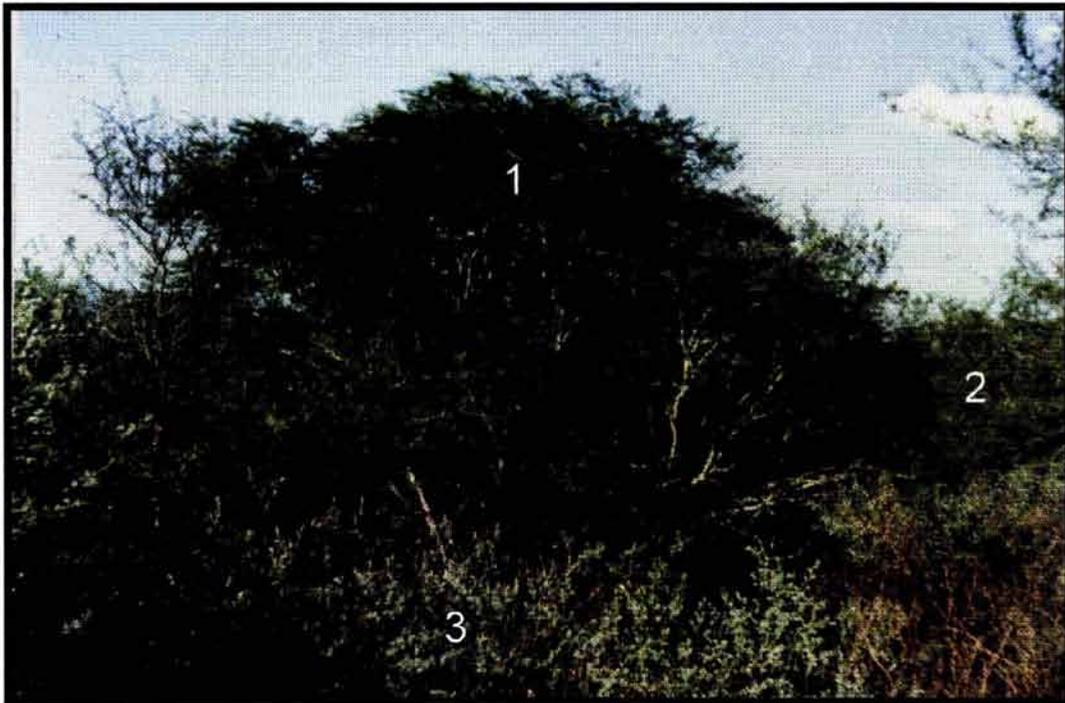


Figura 37. Aspecto de la vegetación dominante en el área de los suelos yesosos durante la época de lluvias. 1. *Acacia Berlandieri*, 2. *A. schaffneri* y 3. *Dalea bicolor*.

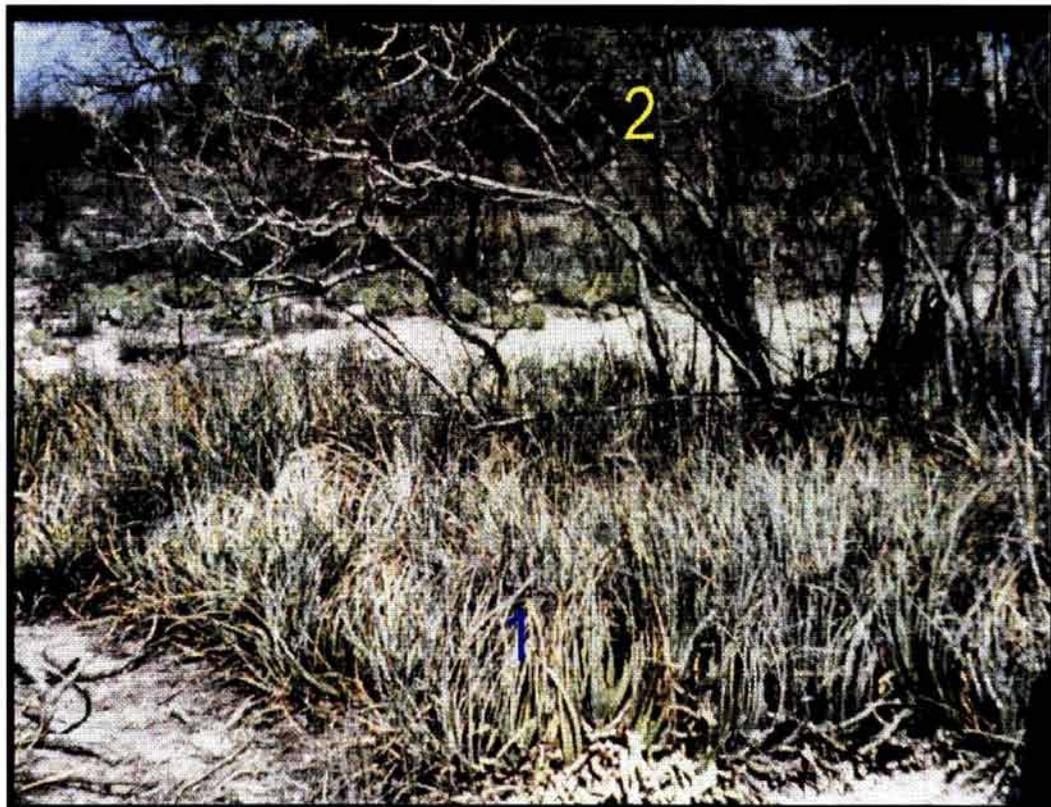


Figura 38. Vegetación de los perfiles yesosos. En el estrato bajo, domina *Hechtia glomerata* (1), que deposita una gran cantidad de MO al descomponerse sus raíces; en el estrato arbustivo, predomina *Acacia Berlandieri* (2).

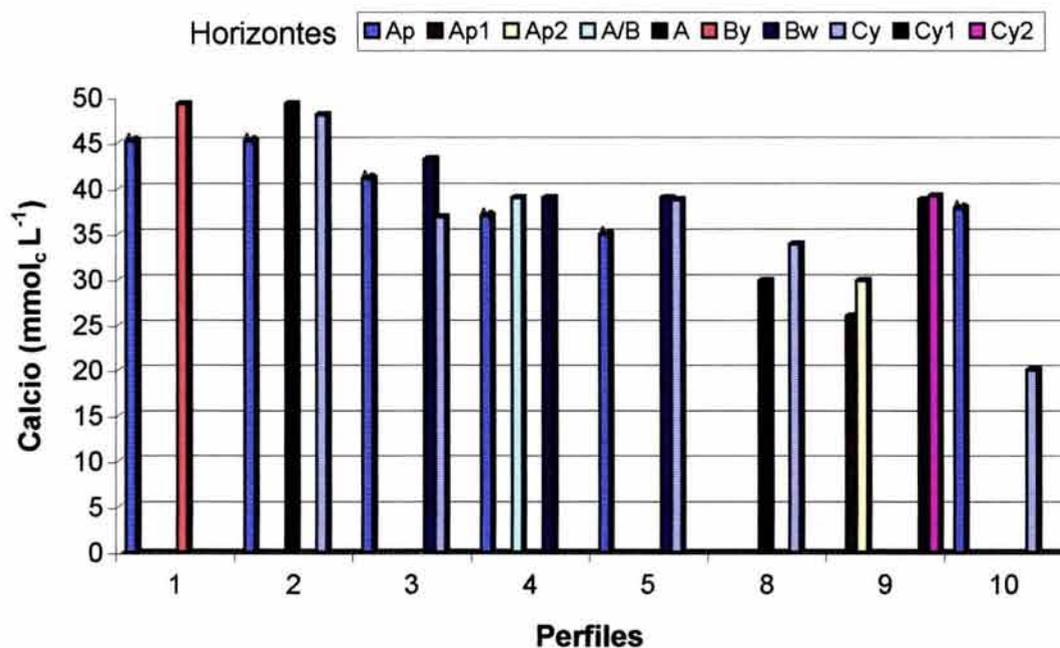


Figura 39. Distribución del ion calcio en los suelos yesosos estudiados. La distribución es más o menos uniforme, excepto en el horizonte Cy del perfil diez (Santo Domingo), donde es la mitad, aproximadamente, de la media.

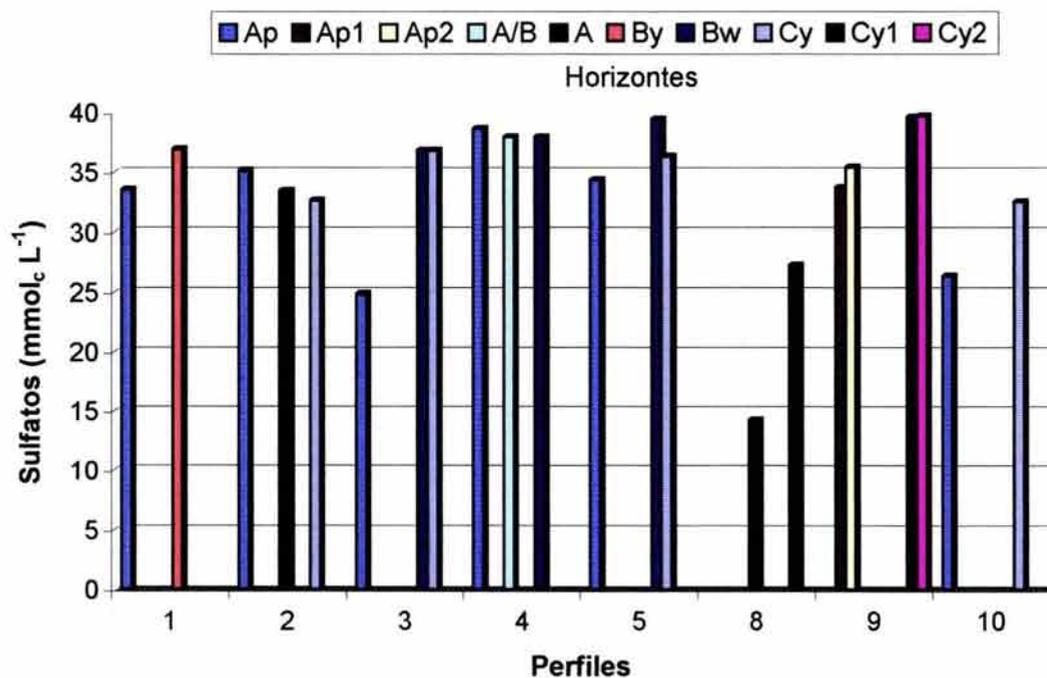
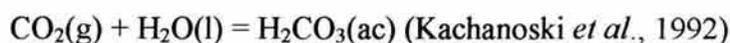
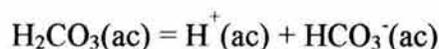


Figura 40. Distribución del ion sulfato en los suelos yesosos. Sigue una tendencia similar al calcio; la concentración más baja se presenta en el horizonte A, del perfil ocho (El Coyote).

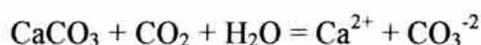
intervienen la baja solubilidad de la calcita (0.01 g L^{-1}) y la gran actividad biológica que puede encontrarse en el epipedón de estos suelos. La respiración de las raíces y de los microorganismos del suelo, generan apreciables cantidades de dióxido de carbono (McConnaughey y Whelan, 1997) que en contacto con el agua puede formar el ácido carbónico, de acuerdo la ecuación siguiente:



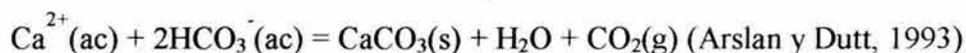
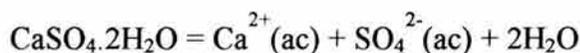
Posteriormente éste ácido se disocia en el agua, produciendo un protón y bicarbonato.



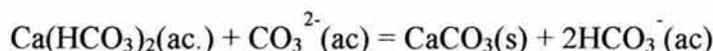
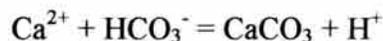
Los bicarbonatos también pueden provenir del ataque del ácido carbónico a los carbonatos de calcio existentes (Lal y Kimble, 2000):



Bajo estas condiciones, la fuente principal de calcio, la representa el yeso, que al disociarse produce este catión, el cual con los bicarbonatos produce el carbonato de calcio.



A su vez los carbonatos de calcio pueden disociarse al ser atacados por el protón liberado por las raíces de las plantas o por la disociación del ácido carbónico y producir bicarbonatos, o por la liberación de un protón en la unión del calcio y los bicarbonatos (McConnaughey y Whelan, 1997).



El yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), por tener una mayor solubilidad, es lavado más rápidamente del horizonte superficial que el CaCO_3 y se acumula en los horizontes inferiores (Fig. 42).

Las condiciones se presentan similares en el suelo de Las Enramadas, con la variante que este suelo fue muestreado por horizontes y a cada 10 centímetros. Con esta última práctica se puede detectar en qué parte del suelo ocurre el cambio en los contenidos de las variables medidas. Por ejemplo, en el contenido de materia orgánica se pudo detectar un porcentaje de 3.10 en el horizonte Ap1 (0-8 cm), pero al muestrear en los primeros 10 centímetros el porcentaje disminuyó a 2.66%, en tanto que para el horizonte Ap2 de 8-40 cm, se detectó un porcentaje de materia orgánica de 0.68%. Al muestrear a cada 10 centímetros se detectó el cambio al llegar a la profundidad de 30-40 cm, donde el porcentaje de materia orgánica disminuyó hasta 0.62%, mientras que de 10-20 y 20-30 centímetros el porcentaje detectado fue de 1.16% y 0.96%, respectivamente. El muestreo a cada 10 cm, probablemente desde el punto de vista taxonómico no tenga ninguna aplicación, pero para el manejo del suelo reflejarían cambios en los niveles de fertilidad que afectarían el crecimiento de las plantas.

La concentración de magnesio es otra característica destacable, ya que junto con el calcio y los sulfatos, son los iones predominantes en el extracto de la pasta de saturación. Los carbonatos y el yeso se comportaron de manera similar al perfil anterior; el porcentaje más elevado de carbonatos se encuentra en los primeros ocho centímetros, llegando a 32% en el horizonte Ap1.

En los suelos tres y cuatro (La Cardona y Las Enramadas) las condiciones son similares a las descritas para los perfiles anteriores. Lo destacable en ambos casos es el poco espesor del horizonte A, que en el primero de ellos es de diez centímetros y en el segundo de siete. El suelo número cuatro (Las Enramadas) es el que presenta el contenido más elevado de materia orgánica, tanto de los perfiles calcáreos como de los yesosos, llegando a 10.9%, en

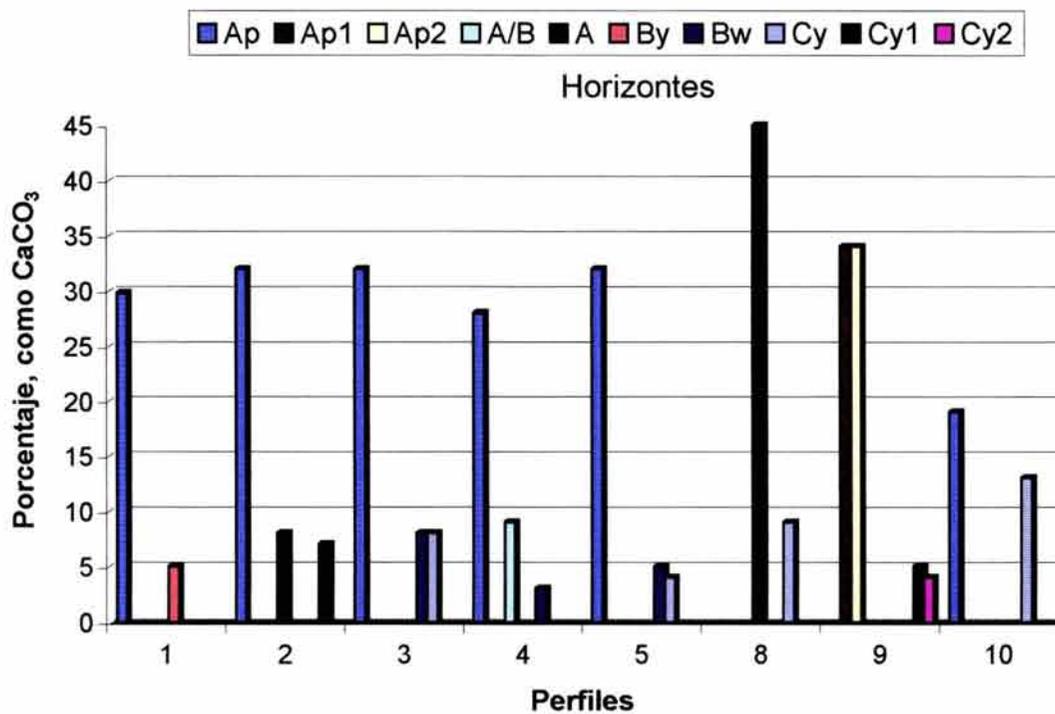


Figura 41. Distribución de los carbonatos en los perfiles yesosos. Como regla general se encuentran concentrados en el horizonte genético superior.

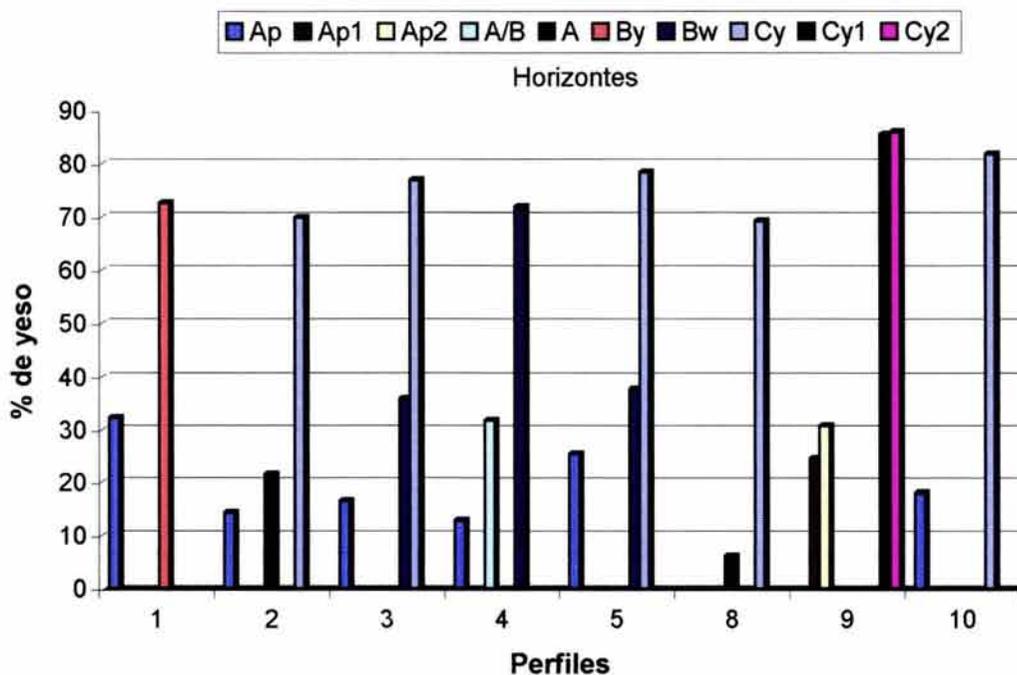


Figura 42. Distribución del yeso en los perfiles estudiados. La acumulación se presenta en los horizontes subsuperficiales.

el horizonte Ap. Esta situación coincide con las poblaciones más densas de *Hechtia glomerata* Zucc. (Guapilla china) (Fig. 38). Este contenido elevado está influyendo en la capacidad de intercambio catiónico total, que en este horizonte llega a $43.9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de suelo seco. Del suelo cinco (El Tejocote) además de los análisis descritos para los suelos mencionados en los párrafos finales, también se realizó lo correspondiente a la mineralogía mediante técnicas petrográficas y difracción de rayos X, así como el fraccionamiento de la materia orgánica.

El material evaporítico de este perfil está siendo intrusionado y algunas veces coronado, por rocas ígneas extrusivas del Cuaternario, principalmente basalto, esto ha dado como consecuencia la presencia, en el suelo, de minerales primarios, tales como piroxenos, anfíboles y feldespatos, producto de procesos erosivos hídricos y eólicos. Debido a que la secuencia yesífera de origen lacustre, que dio como resultado la formación La Borreguita fue Pliocénica-Pleistocénica, y por lo tanto, anterior a la aparición de los basaltos, los minerales primarios ocurren exclusivamente en el horizonte A. Por otra parte, las diferentes geoformas, tanto del suelo cinco (El Tejocote), como de los demás suelos yesosos mencionados en este trabajo, fueron ocasionados por las deformaciones atribuidas a estos fenómenos de vulcanismo del Cuaternario.

Existe inseguridad acerca del papel que tiene el intemperismo de los minerales y la neosíntesis en los suelos de zonas áridas (Boettinger y Southard, 1995). La falta de agresividad de los factores climáticos no ha permitido que predomine la neoformación de arcillas, como pudiera ser el caso de un régimen de humedad ústico o údico. Sin embargo, es necesario considerar que en la génesis del suelo el valor medio de un parámetro climático puede tener poco significado. En muchos casos son los valores extremos, los menos frecuentes, los que más influencia pueden haber tenido sobre la formación de un

suelo (Porta *et al.*, 1994). En el caso de la temperatura, aún cuando los datos de las medias mensuales no sobrepasan los 30 °C, llegan a registrarse temperaturas en el aire de 40 °C y en el suelo llegan a ser superiores a los 50 °C. Las temperaturas medias son entre 15 °C y 18 °C, pero cuando se presentan heladas, las variaciones van desde por debajo del punto de congelación a más de 20 °C, lo que podría ocasionar, junto con la presencia de agua, disrupciones en las redes cristalinas de los minerales presentes en el suelo. Las precipitaciones suelen ser de alta intensidad y de corta duración; existiendo la posibilidad de que en una sola tormenta pueda llover más del 30% de la precipitación media anual.

El intemperismo químico de los silicatos primarios, tales como los feldespatos, en las zonas áridas, pueden liberar cationes Si y Al, los que al pasar a la solución del suelo podrían estar disponibles para la génesis de la esmectita dioctaédrica (Boettinger y Southard, 1995). Existen otros reportes acerca de la neoformación de arcillas en zonas áridas, bajo las condiciones climáticas actuales. La explicación de este fenómeno se encuentra en la disolución de las esmectitas sedimentarias y en la transformación de los minerales fibrosos (palygorskita y sepiolita) en esmectita (Ducloux *et al.*, 1995; Singer *et al.*, 1995); éstas, a su vez, no pueden transformarse en caolinita o en otros minerales más resistentes, en tanto que permanezcan en el suelo la calcita y el yeso (Buol, 1965; Eghbal y Southard, 1993).

En la fracción pesada de la arena, los minerales detectados fueron hiperstena y augita. Las escasas arcillas que existen son heredadas del material sedimentario, o de neoformación. Se detectaron minerales filosilicatados en la fracción menor de 2 µm, siendo la montmorillonita y la illita, en segundo término, los minerales encontrados. En esa misma fracción se encuentra calcita (de abundante a dominante) en el horizonte A, así como yeso en los horizontes By y C, los cuales están influyendo de manera decisiva en la génesis y en las propiedades físicas y químicas del suelo.

Los carbonatos tienen fuerzas de adsorción que influyen en la retención y movimiento de los cationes como el Zn, Mn, Co y Ni y los aniones como los fosfatos (Moore *et al.*, 1990). La principal razón de la ocurrencia de la deficiencia de Zn en zonas áridas es la baja disponibilidad del elemento para las raíces de las plantas, más que un bajo contenido del elemento en el suelo (Kalayci *et al.*, 1999). La dinámica del Zn en el suelo es compleja, y depende de la mineralogía del suelo y de los procesos físicos de transporte. Las transformaciones y transporte están influenciadas fuertemente por las condiciones específicas del sitio y las prácticas de manejo; también tienen influencia las condiciones climáticas, otras que no se refieran a la precipitación pluvial (García-Rizo *et al.*, 1999). Es indudable que el CaCO_3 , en suelos calcáreos, actúa como un sumidero de Zn, cuando el pH es alto y existen bajos niveles de MO y de agua aprovechable. Esto ocasiona una falta de disponibilidad del elemento, ya que el mismo puede quedar absorbido a los carbonatos, o precipitado como hidróxido o como carbonato (Kalayci *et al.*, 1999; Wenming *et al.*, 2001). Recientemente se ha descubierto que el problema puede disminuirse con el uso de micorrizas vesículo arbusculares, las que pueden transferir el Zn del suelo a las plantas a través de sus hifas (Chen *et al.*, 2003).

Los carbonatos también influyen en el pH al nivel de la rizosfera de la planta, lo cual a su vez influye en la respuesta de la planta a la escasez de nutrientes. Los diferentes tamaños de los carbonatos también pueden influir en la relación suelo-agua, tales como la capacidad de retención de humedad y la conductividad hidráulica (Gile, 1961). En algunos Aridisoles existen agregados de yeso y calcita, que observados bajo el microscopio petrográfico, se presentan formados por cristalitos de yeso del tamaño de limo, unidos por cristalitos muy pequeños de calcita del tamaño de la arcilla, o muy cercano a ella (Soria *et al.*, 1993).

El yeso también se encontró en las diferentes fracciones pertenecientes a los suelos estudiados (Fig. 42). Su abundancia se expresó más claramente en el horizonte By, así como en el horizonte C. En cuanto a su ocurrencia por tamaños, la mayor cantidad de este sulfato se detectó en la fracción limo (50-2 μm), pero también se encuentra en la fracción arcilla (< 2 μm). El $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ proviene de las rocas formadas por sedimentos lacustres del Plioceno y el Pleistoceno, que a su vez fueron productos del intemperismo de las rocas de la formación Guaxcamá, de edad Cretácico Inferior (correspondiente al Cenomaniano-Albiano del piso europeo), que durante estos períodos se ha mantenido en posiciones topográficas más altas, lo que ha ocasionado acarreos sucesivos por lluvia y viento hacia las zonas planas, llegando a formar espesores del orden de los 30 m.

El ion calcio (Ca^{2+}) liberado de las transformaciones y solubilización de yeso, calcita y feldespatos calcoalcalinos, pero sobre todo del $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, han llevado a la dominancia de este catión en algunas propiedades edáficas (Fig. 41). Como primera consecuencia de lo descrito se puede mencionar que el complejo de cambio se encuentra saturado por calcio en un elevado porcentaje y en segundo término se refiere a la estabilidad estructural que le está dando al suelo a través de las uniones persistentes de este catión divalente con los compuestos húmicos. Esta estabilidad se da como consecuencia de los complejos organominerales, sobre todo en la materia orgánica asociada a las fracciones limo fino (2-20 μm) y arcilla (< 2 μm), ya que esta uniones protegen a la fracción orgánica de los ataques microbianos (Caravaca *et al.*, 1999).

El calcio en el principio de la transformación de la materia orgánica intensifica la descomposición de la misma, pero retarda la descomposición de las sustancias húmicas en las últimas etapas del proceso de humificación por la formación de humatos de calcio y

compuestos más resistentes a la acción de los microorganismos; activa la mineralización de los restos orgánicos frescos, pero a la vez favorece la polimerización de los polifenoles, siendo floculados los ácidos húmicos más polimerizados en su presencia (Velasco, 1966).

Al encontrarse dos fuentes importantes de calcio en el suelo como son el CaCO_3 y $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, es lógica la presencia del catión en el suelo, mismo que ha acelerado las fases iniciales de descomposición de la materia orgánica fresca, llevando a altos contenidos de materiales humificados de alto peso molecular y polimerización elevada, sobre todo el producto de envejecimiento de los materiales húmicos, denominado humina. Los aportes de restos vegetales provienen básicamente de las raíces de *Hechtia glomerata* Zucc. y aportes aéreos de las leguminosas de la especies *Acacia Berlandieri* Benth. y *Dalea tuberculata* Lag. Las demás especies, aunque representen poco más del 25% de la biomasa aérea, su composición no influye, relativamente, en la formación de las sustancias húmicas.

El suelo ocho (El Coyote) está desarrollándose sobre un material calizo de edad cretácica y en el cual se encuentran pequeñas vetas de materiales sulfáticos, lo que le ha permitido la acumulación de yeso.

La profundidad del suelo en estas geoformas varía de acuerdo al material que le está dando origen. Si el material de partida es caliza, entonces la profundidad será menor que si se tratara de materiales sulfatados, como el caso del yeso.

La morfología del perfil ocho está influenciada por ambos materiales. En la superficie se encuentra un entramado de raíces, si las especies vegetales dominantes son de los géneros *Hechtia* o *Agave*, primordialmente el primero, por la gran cantidad de material que aporta en el ámbito de rizosfera. Esta acumulación tiene implicaciones en aspectos pedogenéticos en el aumento en la cantidad de calcio en el suelo (Fig. 39), ya que se recicla una buena cantidad del ion absorbido por las plantas de la disociación de los minerales portadores del

elemento como el yeso y la calcita. A su vez este mismo ion calcio tiene una influencia acusada en los procesos de humificación de los materiales orgánicos. Por otra parte, la descomposición de la materia orgánica libera iones H^+ y CO_2 , lo que permite el ataque de los materiales poco solubles o insolubles al agua, a través del H_2CO_3 . La morfología de este suelo también se encuentra influenciada por aportes alóctonos de la parte superior de la montaña y que por erosión hídrica, o por efecto de la gravedad, se han depositado en la superficie del suelo. La diferencia existente en la granulometría del horizonte C, donde la presencia de gravas es marcadamente menor, se debe a la influencia de los materiales portadores de sulfatos y a los aportes de elementos gruesos en el horizonte A.

Es muy importante considerar el efecto de los seres vivos en la génesis del suelo, especialmente en las zonas de escasa y errática precipitación pluvial. La vegetación influye en la composición y morfología del suelo, como el suelo influye en los patrones de vegetación; las propiedades fisico-químicas del yeso son los principales factores responsables para el paisaje particular y la vegetación en los suelos con horizontes hipergypsicos (Herrero *et al.*, 1992). No se puede dejar de considerar otros factores que influyen en la composición de los patrones de distribución de las plantas de zonas áridas, como es el caso de la disponibilidad de agua y la topografía (Guerrero-Campo *et al.*, 1999a). Se ha propuesto una hipótesis para explicar los principales procesos que determinan la segregación de plantas en un paisaje yesoso basada en las propiedades físicas y químicas particulares del yeso, y en los efectos de la erosión asociados con el movimiento del agua por arrastre de partículas y el lavado de iones (Guerrero-Campo *et al.*, 1999b).

Los procesos erosivos y de aerotransportación han estado actuando sobre el desarrollo, características físicas, fisicoquímicas y mineralógicas del perfil, ya que según se indica en

la Tablas 24 y 26, se nota la presencia de vidrio volcánico tanto en la fracción arena como en la fracción limo, siendo más abundante en esta última. La fuente de estos materiales amorfos la podemos encontrar a unos 10 km al norte del perfil, donde se encuentran intrusiones basálticas del Cuaternario. La presencia de yeso en las condiciones antes descritas, determina que ciertas características como la densidad aparente del horizonte C, sea la más baja de todos los perfiles estudiados. A su vez, la concomitancia de la densidad aparente baja y valores altos en la densidad real hacen que el porcentaje de porosidad sea también el más alto.

Donde los materiales sulfáticos se hacen presentes, la profundidad del suelo aumenta y se hace más evidente la presencia del horizonte C, ya que bajo esas mismas condiciones topográficas y climáticas, donde se encuentra únicamente la caliza como material parental, la secuencia más generalizada de horizontes es AR, sin que sea evidente, la mayor parte de las ocasiones, la presencia del horizonte C.

La gran cantidad y el tipo de raíces presentes en la superficie de este suelo tienen implicaciones importantes, en la prevención de la pérdida de materiales edáficos por el tipo y cantidad de raíces presentes donde se desarrollan plantas de la especie *Hechtia glomerata* Zucc. y con menor influencia otras plantas de otros géneros como *Agave sp.*

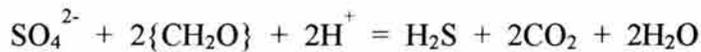
En el presente trabajo no se registraron las especies anuales, debido a que solamente aparecen cuando existe una adecuada humedad edáfica. De acuerdo a ciertos reportes, estas pueden ser las dominantes en algunos suelos yesosos (Caballero *et al.*, 2003), aunque al parecer no aportan mucho material orgánico. Algunas de las especies anuales reportadas para los suelos yesosos son: *Lygeum spartum* y *Brachypodium ramosum* (Guerrero-Campo *et al.*, 1999a), *Helianthemum squamatum* (L.), *Sedum gypsicola* Boiss. and Reuter y *Lepidium subulatum* L. (Caballero *et al.*, 2003) y *Artemisia judaica* L., *Suaeda vermiculata*

Forsk., *Helianthemum glutinosum* Benth., *Rumex vesicarius* L., *Astragalus acinaciferus* Boiss., y *Retama raetam* (Forsk.) Webb. (Taimeh, 1992).

El suelo número nueve (La Borreguita) presenta características muy similares al cinco, pero con una acumulación de carbono orgánico superior, lo que da origen, por su espesor, a la presencia de un epipedón que a no ser por las exigencias marcadas por el Soil Survey Staff y el USDA-NRCS-NSSC (1992, 1999) en lo referente al período que debe permanecer húmedo, reuniría las características de un mólico aparente por el espesor y por el contenido de carbono, en un régimen de humedad arídico, bordeando al ústico. La explicación de la formación de éste epipedón en las condiciones de humedad y temperatura de la zona se puede encontrar, como en el caso del suelo cinco, en la abundancia del ion calcio en el suelo, tanto en la solución como en la fase sólida del mismo y en el complejo de cambio. Es necesario analizar también la cantidad sorprendente de microorganismos en las muestras estudiadas, y que solamente se tomaron de este sitio, tomando en cuenta las condiciones de aridez de la zona. Existen elevadas unidades formadoras de colonias (UFC) de mohos, que en el horizonte A alcanzan la cifra de 29,773,463. Las levaduras y las bacterias son los otros microorganismos que se encontraron formando colonias; las primeras presentan un máximo en el horizonte A con 1,369,893 UFC y las bacterias alcanzan 4,507,337 UFC, también en el horizonte A. Sin embargo, estas últimas no disminuyen, relativamente, sus poblaciones al aumentar la profundidad, ya que en el horizonte C llegan a las 3,336,246 UFC. Estos microorganismos son los encargados de transformar la materia orgánica. En el caso de los mohos, presentan su población más alta en el horizonte A debido a que son los que se ocupan de transformar las sustancias más persistentes, provenientes de la materia orgánica, que no pueden ser utilizadas por otros microorganismos; una de estas sustancias sería la lignina, que tratándose de un importante precursor de las sustancias húmicas, se

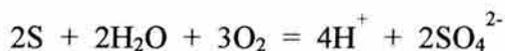
convierte en un polímero con radicales activos y reserva de nitrógeno, a través de una transformación microbiológica. Los mohos están interactuando también en la transformación de la celulosa y las hemicelulosas. Una de las características fundamentales de los mohos es su persistencia y adaptabilidad, se reproducen rápidamente cuando las condiciones de humedad, niveles de nutrimentos y la temperatura son los adecuados, debido a que forman estructuras resistentes a condiciones desfavorables, en la forma de varios tipos de esporas.

Bajo ciertas condiciones ambientales, los sulfatos de estos suelos pueden transformarse por acción microbiana en ácido sulfhídrico (H₂S), la acción la realizarían las bacterias del género *Desulfovibrio* y ocasionalmente *Desulfuromonas* y *Desulfotomaculum*. Esta reacción se representa de la siguiente manera:



donde {CH₂O} representa la fracción orgánica; los protones provienen de la descomposición de la materia orgánica o de otras fuentes, cuando existen en el ambiente edáfico las condiciones de oxidación necesarias.

Existen en el suelo bacterias (*Chromatium*, *Chlorobium*, *Sulfolobus* y *Thiomicrosporia*) que originan la reacción de oxidación y convierten el ácido sulfhídrico en sulfatos (Manahan, 1992), de acuerdo a las siguientes reacciones:



Por otra parte, los ácidos orgánicos como el acético (C₂H₄O₂), oxálico (C₂H₂O₄) y cítrico (C₆H₈O₇) pueden formar complejos más o menos estables y los más abundantes los formaría con el calcio o con el magnesio; la formación de dichas estructuras químicas,

junto con las que se encuentran en los compuestos húmicos son los responsables de una buena parte de la fertilidad de los suelos formados bajo estas condiciones, al estar interviniendo en los ciclos biogeoquímicos actuando como depósitos, en condiciones donde el intemperismo de los minerales primarios es bajo, por la escasez de estos y por las condiciones climáticas.

El suelo 10 (Santo Domingo) se encuentra ubicado en una zona topográficamente baja, por lo que algunos de los procesos edáficos han estado actuando con mayor intensidad, lo cual se refleja en algunas de las propiedades como el color y un desarrollo estructural más acentuado. La posición topográfica permite también la acumulación de sales, manifestada por una elevación en los valores de la conductividad eléctrica del extracto de la pasta de saturación que en este perfil llega a 2.8 dS m^{-1} a 25° C , en el horizonte C.

Este suelo presenta uno de los valores más altos en el contenido de carbono orgánico; además, se advierte una distribución a través del suelo de las sustancias húmicas, que no se había reconocido en los perfiles anteriores. Aquí es donde se observa la influencia del factor topográfico al permitir un mayor movimiento del agua en forma descendente, ya que no se pierde tan rápidamente por escurrimiento superficial como sucede en los perfiles donde el gradiente de pendiente es mayor.

Las condiciones alternantes de humedad y sequía, así como la abundancia del ion calcio, han permitido la formación de una mayor cantidad de minerales esmectíticos, tal como se muestra en el difractograma correspondiente (Fig. 34), también se detectaron calcita, yeso y el feldespato albita; la liberación del ion sodio de éste último mineral está influyendo en la conductividad eléctrica y el pH.

6.2. Suelos Calcáreos

Al igual que los suelos yesosos, los suelos calcáreos, se encuentran en la unidad paleogeográfica denominada Plataforma Valles-San Luis, el material geológico de partida para los suelos seis y siete son diferentes que para el resto de los perfiles. Se trata básicamente de calizas del Cretácico Inferior (Albiano- Cenomaniano del piso europeo) y aportes de rocas ígneas intrusivas y extrusivas.

El suelo seis (La Pólvora) se trata de un rellenamiento aluvionar, principalmente del Cuaternario. Este rellenamiento ha recibido la influencia de materiales ígneos procedentes de un cono volcánico situado a cuatro kilómetros al oeste del sitio de muestreo, aunque también se manifiestan afloramientos de este material, de diferente magnitud en los alrededores. Se trata, tanto los afloramientos como el material que produjo el cono, de un basalto del Cuaternario y que en las capas superiores del rellenamiento ha tenido una influencia de cierta magnitud. El rellenamiento también ha tenido aportes de un afloramiento de tonalita, que se encuentra a tres kilómetros al suroeste del sitio muestreado. Los materiales que han ido conformando la morfología y composición del suelo le proporcionan un desarrollo estructural mayor que en el caso de los suelos yesosos.

Es importante señalar que al estar en una superficie geomorfológica más estable el desarrollo de este suelo ha podido ser más duradero que en el resto de los mencionados en el presente trabajo; trayendo como consecuencia que, aunque todavía un tanto incipientes, se presenten fenómenos de neoformación de arcillas con mejores condiciones que en los suelos yesosos.

La presencia de hornblenda $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_5\text{Al}_2\text{Si}_6(\text{OH})_2\text{O}_{22}$ y de los piroxenos, hiperstena $(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$ y augita $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al}(\text{Al},\text{Si}_2)\text{O}_6$, junto con algunos feldespatos como la albita $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ y andesina, (Tablas 24, 25 y 26) podrían propiciar bajo ciertas condiciones de precipitación, la formación de minerales arcillosos. Las condiciones de

drenaje deficiente son las adecuadas para la formación de esmectita y aunque la precipitación media es baja (Fig. 43), las precipitaciones extremas permiten la transformación de esos minerales primarios en filosilicatos, ya que las condiciones limitadas del intemperismo en zonas áridas se ven mejoradas por las fluctuaciones diarias y estacionales de temperatura y humedad (Boettinger y Southard, 1995).

La granulometría (Tabla 22) nos indica que es en este perfil donde se manifiesta la dominancia del material fino, $< 2 \mu\text{m}$ (Fig. 44) y que precisamente en el horizonte Bw2 se aprecia el mayor porcentaje de arcilla (48.54%), que sin embargo no llega a calificar para un horizonte argílico ya que no presenta revestimientos de arcilla. Otro factor que influye en la abundancia de arcilla es la presencia de un porcentaje preponderante de vidrio volcánico (Tablas 25 y 26) ya que este material isotrópico mantiene una periodicidad tridimensional y al contener un tetraedro de aluminio (estado de coordinación 4) implica, necesariamente una red tridimensional lábil e inestable pese a la protección que le otorga la matriz silíceas. Son factores que, sin duda, propician la susceptibilidad a la meteorización de los vidrios volcánicos, ya que un tetraedro de Al tiene energía potencial elevada y de ahí su tendencia a adquirir estados de coordinación octaédrica, que corresponden a un estado energético más degradado y más estable (Bessouin, 1985). La sílice que se encuentra como cementante en algunos suelos de zonas áridas puede provenir del intemperismo lento de los feldespatos o los minerales ferromagnesianos o del intemperismo rápido de la ceniza volcánica y de materiales piroclásticos (Nettleton y Peterson, 1983).

Es importante señalar también la influencia que han tenido los materiales transportados, sobre todo por el viento, y que se manifiestan, en el microscopio petrográfico, por el redondeamiento de los granos de cuarzo encontrados en la fracción limo del horizonte Bw2.

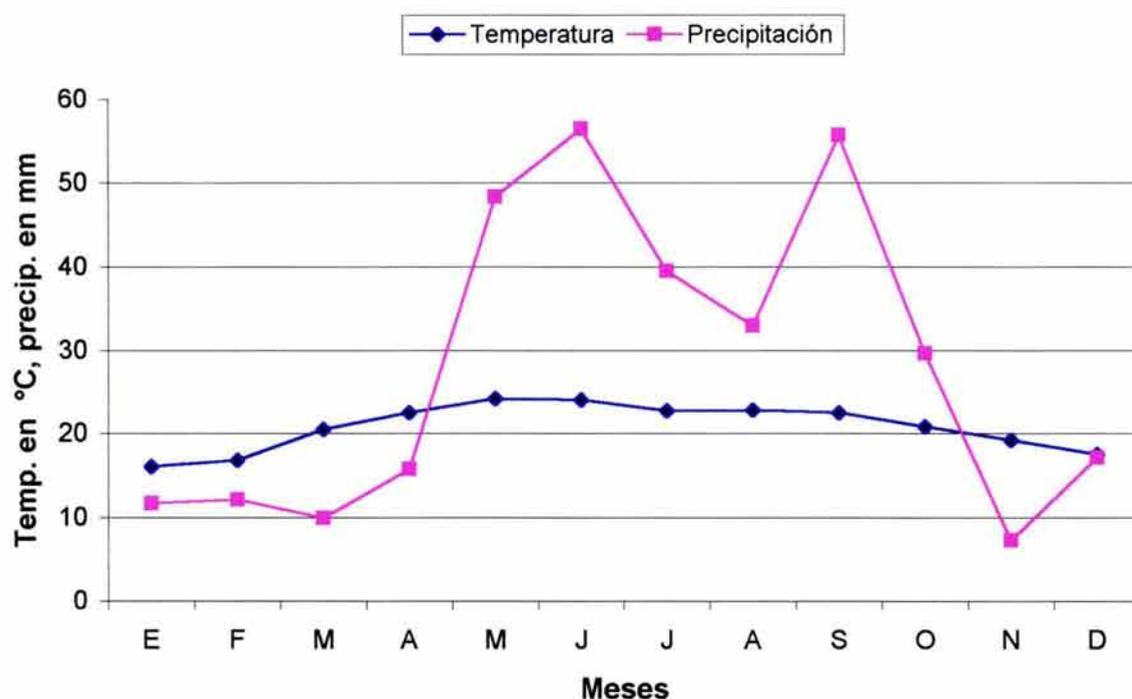


Figura 43. Datos de precipitación y temperatura de la estación “El Huizache” la más cercana a los perfiles calcáreos (Tomados de García, 1988).

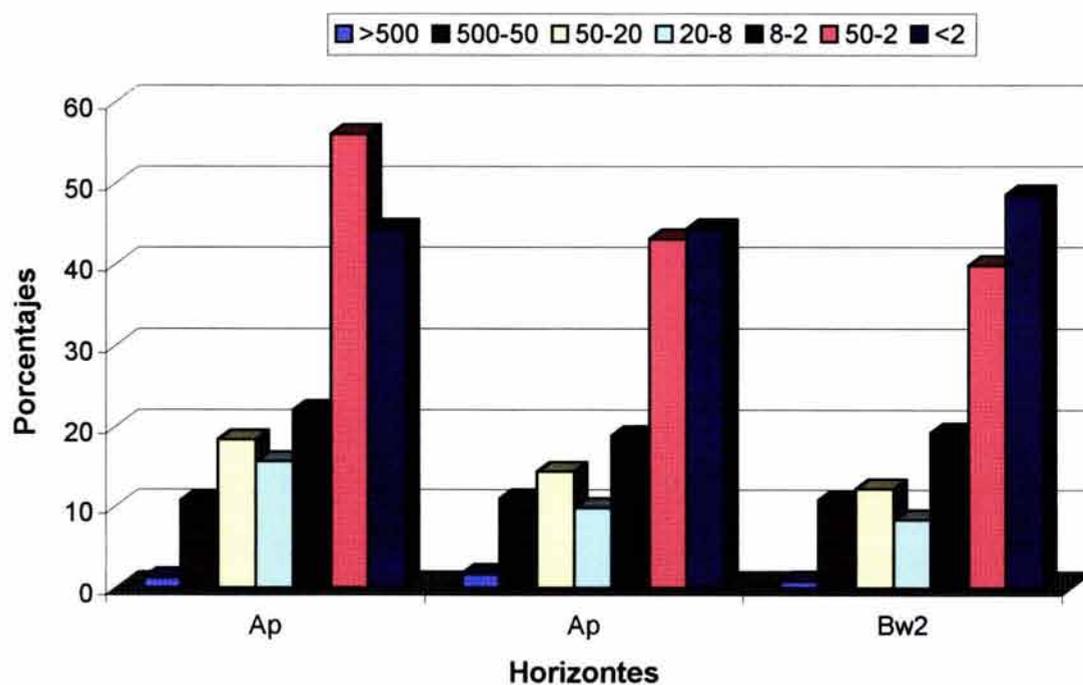


Figura 44. Granulometría del Perfil seis, La Pólvara. Existe un aumento de la fracción fina (<2 μm) al aumentar la profundidad del suelo. Los tamaños de los separados están dados en μm .

Comúnmente el cuarzo se presenta en fragmentos con fractura concoidea o en granos irregulares, siendo los de procedencia eólica redondeados, equidimensionales y mates (Pérez, 1965). Existen reportes sobre la influencia que tiene la deposición por el viento de fracciones edáficas de diferentes tamaños, y aunque se han estudiado más la naturaleza y movimiento de las partículas aerotransportadas, es innegable que los efectos son de gran influencia en la edafogénesis. Las principales partículas que son transportadas por el viento comprenden aquellas que van desde la arcilla hasta arena muy fina; encontrándose como componente invariable al cuarzo. También se han reportado como partículas aerotransportadas calcita, yeso y feldspatos (Reheis *et al.*, 1995; Simonson, 1995). La presencia de carbonatos (Fig. 45), predominantemente de calcio, es fácilmente explicable al provenir los sedimentos de un material calcáreo, como lo son las calizas del Cretácico Inferior.

Es evidente el papel tan importante, ya sea por su abundancia o por su composición, que juegan tanto la calcita como el vidrio volcánico. Este impacto no solo se refleja en la génesis, sino también en la fertilidad natural del suelo, al ser susceptibles de intemperización ambos minerales.

El ion calcio, al igual que en los suelos yesosos, tiene un papel importante en el complejo de cambio y en la estabilidad estructural, al actuar como agente floculante entre las diversas partículas de arcillas presentes, de acuerdo a su distribución, sobre todo en el horizonte Bw2 (Fig. 46). Aún la calcita misma al encontrarse en el tamaño $2\ \mu\text{m}$ está sirviendo como cemento en la matriz arcillosa. En ocasiones se incorporan algunos elementos, como el Si y el Mg, dentro de la estructura de la calcita (Levy *et al.*, 1995). El CaCO_3 se puede percibir en las diferentes fracciones de las muestras analizadas, desde la arena gruesa hasta las fracciones menores de $2\ \mu\text{m}$ (Tablas 25 y 26).

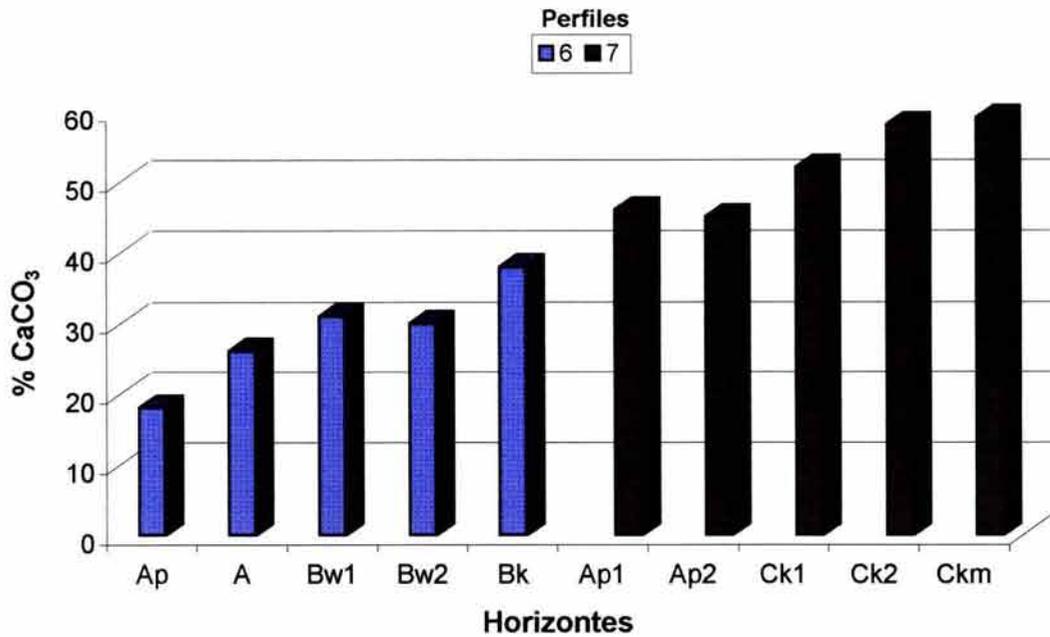


Figura 45. Distribución de los carbonatos en los perfiles calcáreos. La acumulación es evidente en los horizontes B y C, sobre todo del perfil siete, El Coyote.

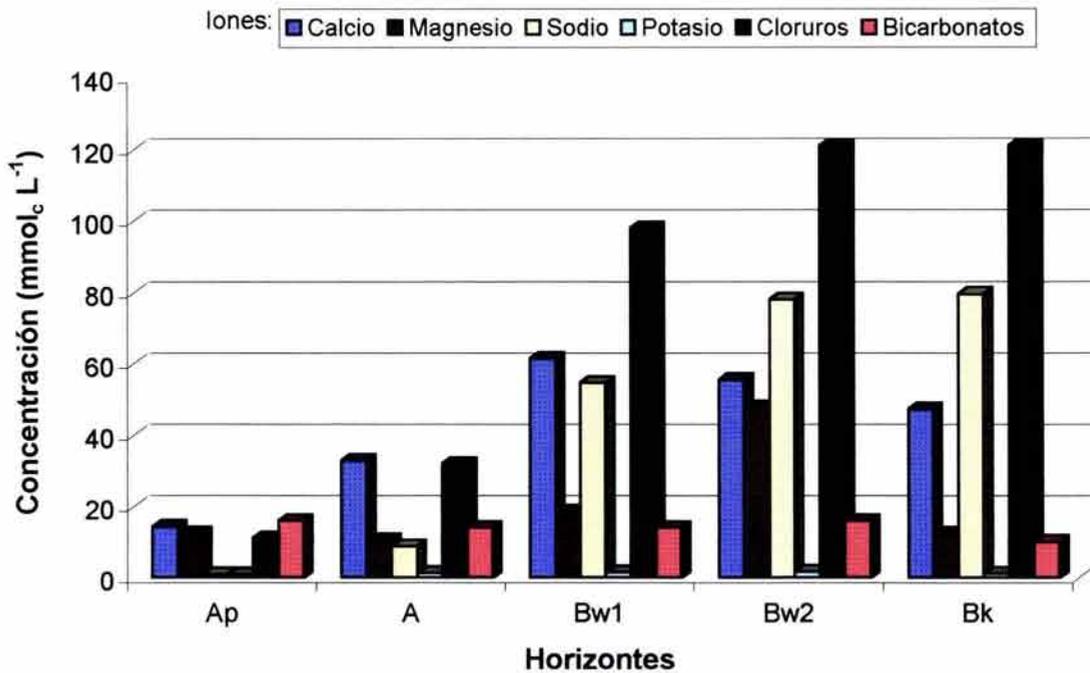


Figura 46. Distribución de los iones solubles, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- y HCO_3^- , en el perfil seis, La Pólvora. La acumulación se presenta en los horizontes B.

La actividad del ion calcio está relacionada con la concentración del CaCO_3 en el suelo, así como con la concentración de los HCO_3^- . A su vez estos iones están en función de la presión parcial del CO_2 (PCO_2) en el suelo y éste último factor se ve modificado en la zona radicular ya que se le considera como un sistema abierto. La PCO_2 es considerada como el equilibrio entre la producción de CO_2 por las raíces de las plantas y la respiración microbológica y las pérdidas del gas mediante difusión hacia la atmósfera (Garrels y Christ, 1965; Bremen y Bourman, 1998) y está en función de la temperatura, contenido de humedad del suelo, textura del suelo, porosidad del suelo y precipitación. A su vez, el grado de deposición del CaCO_3 en el suelo está controlado por el flujo del calcio, que en este caso está siendo derivado de los materiales calcáreos, contándose también con un aporte importante de los materiales aerotransportados y la disolución de algunos feldespatos.

Utilizando la ecuación siguiente podemos encontrar la presión "normal" en un punto dado.

$$P_a = [1 - 2.26 \times 10^{-5} (Z)]^{5.256} (10,333)$$

donde:

$$P_a = \text{Presión en un punto dado, expresada en } \text{kg m}^{-2}$$

$$Z = \text{Altitud del punto, en msnm.}$$

En el caso del perfil de La Pólvara, tendríamos que

$$\begin{aligned} P_{\text{La Pólvara}} &= [1 - 2.26 \times 10^{-5} (1340)]^{5.256} (10,333) \\ &= 8,790.8 \text{ kg m}^{-2} \end{aligned}$$

Por otra parte, conociendo la presión total, estaríamos en condiciones de conocer la presión parcial del CO_2 . En el aire, su porcentaje es de alrededor de 0.03%, pero en la zona

radicular puede llegar a ser de 0.3-3%, e incluso hasta el 10% (Sposito, 1989). Tomando como dato el segundo porcentaje encontraríamos que existen 263.7 kg m^{-2} de CO_2 a esta altitud, equivalentes a una presión de 0.025 atm.

La disolución de los gases edáficos en la solución del suelo es un proceso importante que contribuye en la génesis del suelo y en el movimiento de ciertos nutrimentos (Sposito, 1989). Cuando existe el equilibrio entre el aire y el agua del suelo con respecto a la distribución de las especies gaseosas entre las dos fases, y si la concentración del gas en la solución del suelo es baja, el equilibrio puede ser descrito mediante la Constante de Henry con la fórmula:

$$KH = [A(ac)]/PA$$

donde: KH a 25 °C es $34.06 \text{ mol m}^{-3} \text{ atm}^{-1}$ para el CO_2

[A] es la concentración del CO_2 en la solución del suelo

PA es la presión parcial del CO_2 en el suelo, en atm.

Aplicando la fórmula para los datos obtenidos del perfil de La Pólvara y para la presión parcial del CO_2 :

$$[A(ac)] = (34.06 \text{ mol m}^{-3} \text{ atm}^{-1})(0.025 \text{ atm})$$

$$[A(ac)] = 0.852 \text{ mol m}^{-3} = 8.52 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$$

Un mol de CO_2 , es igual a 48 g, entonces tenemos una concentración de 0.0409 g L^{-1} en la solución del suelo. Como en la zona caen 336 L m^{-2} de lluvia, entonces el máximo de disolución del CO_2 en agua sería $13.74 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$.

Por otra parte la concentración del ion calcio es una función también de la presión parcial del CO_2 y del pH, cuando la temperatura es de 25 °C y aplicable a soluciones saturadas con respecto a la calcita, y se puede expresar mediante la ecuación (Doner y Lynn, 1989):

$$2\text{pH} + \log \text{PCO}_2 = 8.77 + \log(1/\text{Ca}^{2+})$$

Donde la presión parcial del CO₂ se expresa en MPa.

Tomando como dato el pH del horizonte Ap (8.8), tenemos la siguiente concentración del ion calcio, expresado en mol L⁻¹:

$$2(8.8) + \log (2.57 \times 10^{-3} \text{ MPa}) = 8.77 + \log (1/\text{Ca}^{2+})$$

$$(\text{Ca}^{2+}) = 1.749 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$$

La presión parcial del CO₂ está tomada como 2.57×10^{-3} MPa ya que se trata de la superficie del perfil, donde cabría esperar que la concentración de este gas pudiera ser del 3%, debido a la cantidad de raíces y a la actividad biológica que se desarrollan a esa profundidad de 0-20 cm.

Para el caso del horizonte A la concentración del CO₂ podría mantenerse similar al Ap, esto es el 3%, pero en la parte inferior también podría tomarse como 0.3%, y la actividad del ion calcio sería:

$$2(8.6) + \log (2.57 \times 10^{-4} \text{ MPa}) = 8.77 + \log (1/\text{Ca}^{2+})$$

$$(\text{Ca}^{2+}) = 1.446 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$$

Como una de las concentraciones mínimas del CO₂ en el ambiente edáfico se puede tomar la de 0.03% y aplicarse a los datos para calcular la actividad del ion calcio en los horizontes Bw1 y Bw2. El dato de la concentración del CO₂ puede ser aplicado debido a la ubicación de los perfiles, ya que se considera que a mayor profundidad la concentración del gas disminuye. El valor del pH para ambos horizontes es de 8.5.

$$(\text{Ca}^{2+}) = 2.29 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$$

Existe una estrecha relación entre el aumento de la concentración del ion calcio y la profundidad (Tabla 29)

A pesar de ser una superficie con cierto grado de estabilidad geomorfológica, no pueden descartarse las acumulaciones aluvionares en ciertos años en que la precipitación llega a ser excepcionalmente alta, lo que se ve reflejado en una distribución irregular del carbono orgánico a lo largo del perfil. Otros parámetros tales como la densidad aparente también se ven afectados de una manera indirecta por la distribución irregular del carbono orgánico.

La acumulación de los carbonatos ocurre principalmente en los horizontes inferiores (Bw1, Bw2 y Bk1) ya que la evapotranspiración en la zona es alta y la disolución de los iones se ve restringida a esa profundidad. De esta manera, los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- (Fig. 46) presentan una mayor acumulación en los horizontes mencionados. Esta concentración incide en la conductividad eléctrica del extracto de la pasta de saturación (Fig. 47), de acuerdo con los coeficientes de correlación y con los datos mencionados en la Tabla 12, el valor máximo es de 12.3 dS m^{-1} en el horizonte Bw2 (55-70 cm). Es muy útil conocer la relación que existe entre la concentración iónica y la CE, ya que este último parámetro es fuertemente utilizado para calcular los contenidos totales de sales disueltas en los extractos del suelo (US Salinity Laboratory Staff, 1954; McNeal *et al.*, 1970; Simon *et al.*, 1994).

A diferencia de los suelos yesosos, la vegetación en los suelos calcáreos no tiene una influencia tan marcada en la acumulación de la materia orgánica, ya que predominan especies como *Larrea divaricata* (Fig. 48).

El perfil siete (El Coyote) se encuentra en una pendiente del 10% y en donde el material coluvial tiene una gran influencia. Se trata de materiales recientes, del Cuaternario,

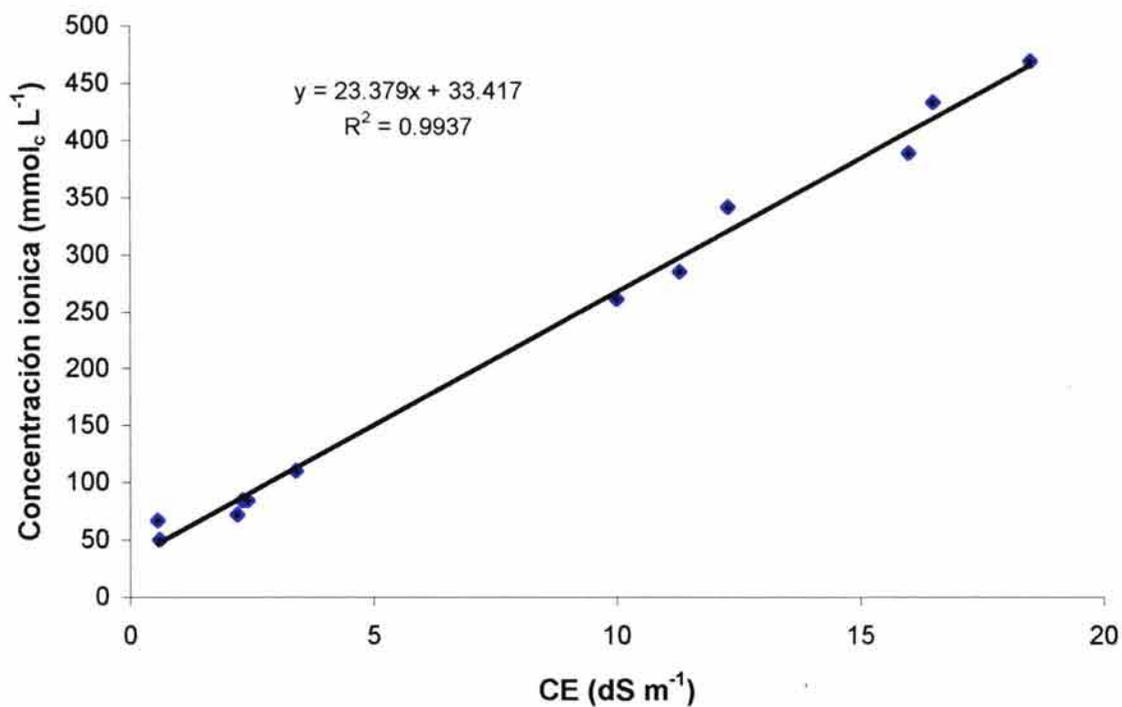


Figura 47. Relación entre la CE y la concentración de los iones solubles en los perfiles calcáreos, tomada como la suma de los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{-2} .



Figura 48. La vegetación dominante en los perfiles calcáreos son matorrales de *Larrea divaricata* (governadora), con algunos otros elementos de hojas o folíolos pequeños.

provenientes de las partes altas de los cerros calizos, de edad cretácica, que circundan el sitio. Como el tiempo no ha sido el suficiente, así como tampoco lo ha permitido el clima y por ende los organismos, las transformaciones que ha sufrido han sido mínimas. Al no ser una superficie estable, está recibiendo constantemente aportes de materiales frescos alóctonos, que poco se han intemperizado. El escaso cambio que ha sufrido el suelo se manifiesta en el desarrollo de débil a moderado de su estructura. También se en sus horizontes genéticos, ya que aún no se forma el horizonte B. Los carbonatos son muy abundantes desde el primer horizonte ya que los materiales, que se están aportando constantemente, suministran de fragmentos gruesos que se encuentran escasamente solubilizados, consecuencia de la baja precipitación pluvial y elevada evapotranspiración. La determinación de los tamaños de las partículas (textura), por el método del hidrómetro y utilizando como dispersantes el Na_2SiO_3 y el $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ manifiesta un bajo porcentaje de la fracción menor de $2\ \mu\text{m}$. El contenido más bajo de esta fracción se detectó en los horizontes Ck2 y Ck3 con un porcentaje de 1.6%; los porcentajes para el resto de los horizontes no exceden el 16%. Las fracciones predominantes, en general, son las del tamaño del limo seguidas por las del tamaño de la arena. La conductividad eléctrica es alta, sobre todo en los horizontes C, donde sobrepasa los $16\ \text{dS m}^{-1}$, llegando hasta $18.5\ \text{dS m}^{-1}$ en el horizonte Ck2. Este elevado valor de la C.E. se encuentra influenciado por la concentración de las sales solubles; principalmente por el CaCl_2 , NaCl y MgCl_2 , de acuerdo a las especies iónicas encontradas en el extracto de la pasta de saturación. La relación entre la conductividad eléctrica y los iones solubles (Fig. 47), es alta, $R^2 = 0.9937$.

6.3. Clasificación de los Suelos Yesosos

Los perfiles uno, dos, tres, cuatro, cinco, ocho nueve y diez, son los considerados yesosos, por su contenido de $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, lo cual se debe principalmente a que son originados por materiales ricos en este mineral. En ellos existe un contenido elevado de materia orgánica, por lo que podría pensarse en un epipedón mólico. Sin embargo, en algunos de los perfiles el color no reúne las especificaciones para este horizonte de diagnóstico superficial. Por otra parte tampoco se conoce si reúnen los requisitos en cuanto al tiempo que este epipedón debe permanecer húmedo al exigirse que sean más de tres meses por año en 8 ó más de cada 10 años (Soil Survey Staff, 1994; USDA-NRCS-NSSC, 1999).

Por lo tanto, y en lo referente al Orden y basándose en el régimen de humedad, el cual es considerado como arídico (Fig. 49), corresponde a un Aridisol.

Los Aridisoles son suelos de lugares áridos, que tienen uno o más de los horizontes pedogenéticos distintivos, los cuales pueden estar enriquecidos o disminuidos de sustancias por el movimiento del agua (Nettleton y Peterson, 1983). Esto indica que en ellos están incluidos los suelos desarrollados en regiones áridas y que tienen algún grado significativo de desarrollo (Fanning y Fanning, 1989). Los Aridisoles se caracterizan por tener un régimen de humedad arídico, es decir, no contienen agua para las plantas mesofíticas durante períodos prolongados a lo largo del año (Porta *et al.*, 1994). La cubierta vegetal que existe es abierta y solamente aquellas plantas que están adaptadas pueden desarrollarse bajo tales condiciones, como es el caso de las cactáceas y de aquellas con sistemas radiculares profundos como los géneros *Prosopis* o *Larrea*, así como los agaves que tienen forma arrosetada para captar cualquier manifestación de humedad, como la neblina.

De acuerdo a las modificaciones realizadas por el Soil Survey Staff (1994, 1999), ya no existen solamente dos subórdenes en los Aridisoles, sino existen siete subórdenes (Cryids,

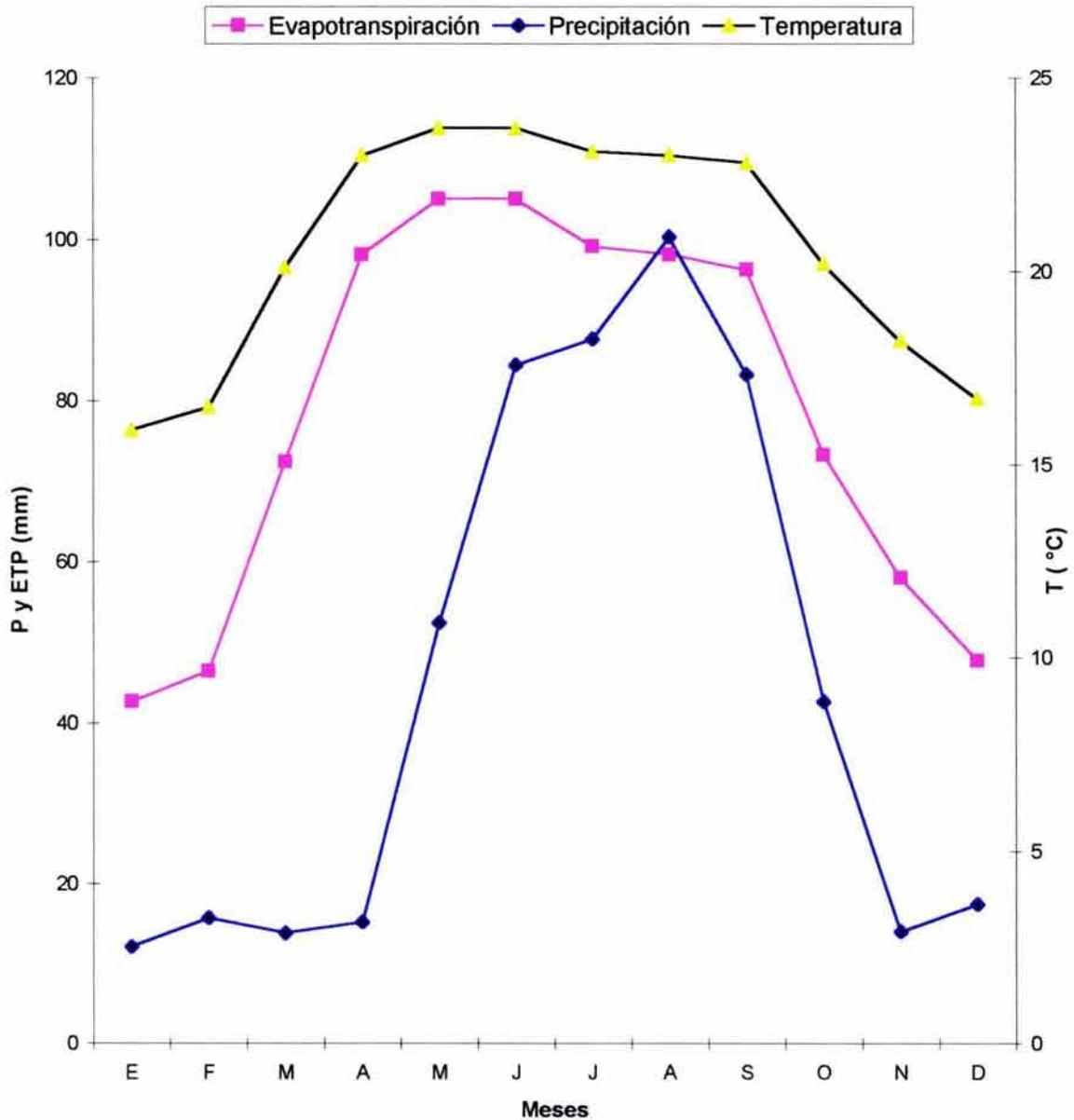


Figura 49. Datos climáticos que determinan el régimen de humedad de los suelos yesosos, de acuerdo al segundo sistema de Thornthwaite. El régimen de humedad es arídico, dado que en ninguno de los meses se presenta recarga de humedad y en todos hay déficit de la misma. La precipitación y evapotranspiración están dadas en mm, la temperatura en °C.

Salids, Durids, Gypsids, Argids, Calcids y Cambids; y de acuerdo a las condiciones requeridas, el suborden para estos suelos yesosos son los Gypsids.

Los Gypsids son Aridisoles que tiene un horizonte gypsico o petrogypsico cuyo límite superior está dentro de los 100 centímetros superiores de la superficie del suelo y carece de un horizonte petrocálcico suprayacente a cualquiera de sus horizontes, carecen de un horizonte argílico o nátrico (USDA-NRCS-NSSC, 1999).

Para la definición del gran grupo se tomó en cuenta que no tenía propiedades diagnósticas, otras que no fueran las del suborden (Soil Survey Staff, 1975; USDA-NRCS-NSSC, 1999); por lo tanto estos suelos yesosos corresponden al gran grupo de los Haplogypsids.

Si el suelo tiene una sección de control de la humedad que permanece seca en todas sus partes por menos de las tres cuartas partes del tiempo (acumulativo), cuando la temperatura del suelo es de 5 °C o más a una profundidad de 50 cm y tiene un régimen de humedad que bordea a un ústico, el subgrupo entonces es Haplogypsid ústico (Soil Survey Staff, 1994; USDA-NCRS, 1999).

De esta manera la clasificación para cada uno de los suelos, hasta el nivel de serie, sería la siguiente:

Perfil Uno (El Tejocote): Ustic Haplogypsid, franco fino, gypsico, térmico, Serie El Tejocote.

Perfil dos (Las Enramadas): Ustic Haplogypsid, franco fino, gypsico, térmico, Serie Las Enramadas.

Perfil tres (La Cardona): Ustic Haplogypsid, franco fino, gypsico, térmico, Serie La Cardona.

Perfil Cuatro Las Enramadas: Ustic Haplogypsid, franco grueso, gypsic, térmico, Serie Las Enramadas.

Perfil Cinco (El Tejocote): Gypsic Calciustoll, franco grueso, gypsic, térmico, Serie El Tejocote.

Perfil Ocho (El Coyote): Gypsic Calciustoll, franco, esquelético, cálcico, térmico, Serie El Coyote.

Perfil Nueve (La Borreguita): Gypsic Calciustoll, franco, fino, gypsic, térmico, Serie La Borreguita.

Perfil Diez (Santo Domingo): Ustic Haplogypsid, franco fino, gypsic, hipertérmico, Serie Santo Domingo.

6.4. Clasificación de los Suelos Calcáreos

Los perfiles seis y siete son considerados como calcáreos por su contenido de CaCO_3 . En ellos están plenamente manifestadas las siguientes características: Un régimen de humedad arídico (Fig. 50), ya que no hay períodos de humedad de más de noventa días consecutivos en los que la temperatura del suelo esté por encima de los $8\text{ }^\circ\text{C}$ a una profundidad de 50 cm (Soil Survey Staff, 1994; USDA-NCRS, 1999). Por otra parte, contiene poca cantidad de materia orgánica, tiene un valor de n elevado y el brillo de la tabla de colores Münsell es de 4 ó mayor en húmedo y de 6 ó más en seco; y no reúne los requisitos para un epipedón antrópico, hístico, melánico, mólico, plaggen o úmbrico, por lo que es considerado como un epipedón ócrico (Soil Survey Staff, 1994; USDA-NCRS, 1999).

Por lo tanto, el Orden de suelos al que pertenecen los perfiles mencionados es al Aridisol. En cuanto al suborden, los perfiles seis y siete reúnen las características en alguna parte del perfil para un horizonte cálcico, el seis, y para un petrocálcico el siete, por lo que ambos

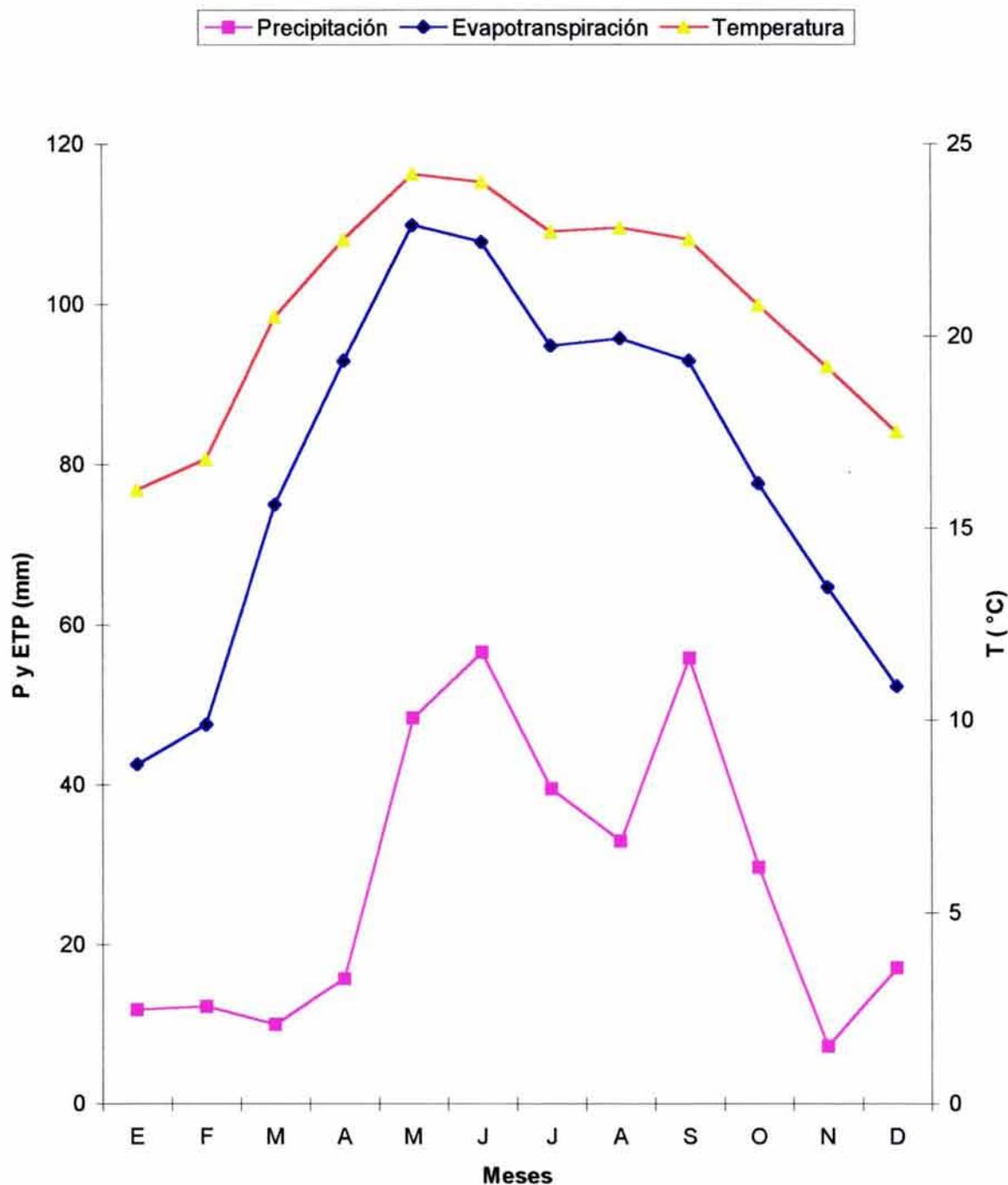


Figura 50. Régimen de humedad de los suelos calcáreos, tomando los datos climáticos de la estación más cercana (El Huizache). En todos los meses existe déficit de humedad, por lo que el régimen es árido. Basado en el segundo sistema de Thornthwaite.

pertenecen al suborden Calcid. Remarcando las características anteriores para el gran grupo, el seis es un Haplocalcid y el siete un Petrocalcid.

Tomando en cuenta las características granulométricas, mineralógicas y su régimen de temperatura, la clasificación hasta el nivel de Serie quedaría establecida como sigue:

Perfil Seis (La Pólvora): Typic Haplocalcid, arcilloso, cálcico, térmico, Serie La Pólvora.

Perfil Siete (El Coyote): Calcic Petrocalcid, limoso grueso, carbonático, térmico, Serie El Coyote.

Se han llevado a cabo intentos para dar una clasificación más acorde a las condiciones en que se encuentran los suelos de San Luis Potosí, sobre todo si tomamos en cuenta la presencia de epipedones mólicos en un régimen de humedad arídico con tendencia al ústico (Aguilera *et al.*, 1997).

6.5. Posibilidades de uso

Ninguno de los perfiles está siendo utilizado actualmente para fines agrícolas. Solo se les utiliza con fines de pastoreo intensivo de caprinos, ovinos, bovinos y equinos, predominando el pastoreo de cabras. Sin embargo, algunos terrenos cercanos a los perfiles se utilizan para la producción agrícola en condiciones de temporal, siendo los cultivos principales el maíz y el frijol; ocasionalmente se siembra girasol, calabaza, cebada y avena. Se aprovechan de manera rústica el nopal y el maguey. De la misma manera, se extrae fibra de *Agave lechugilla* (Lechuguilla), *Yucca filifera* Chab (Palma) y *Y. carnerosana*. Ocasionalmente consumen y comercializan los frutos o partes vegetativas comestibles de algunas especies características de las zonas áridas como *Prosopis laevigata* (Swartz.) DC. (Mezquite) y algunas cactáceas. Los rendimientos de los cultivos básicos, en la dieta de los pobladores de estas áreas, como son el maíz y el frijol fluctúan de 900-1200 kg ha⁻¹ y 400-

600 kg ha⁻¹, respectivamente. Realmente no en todos los años se obtiene cosecha que sea rentable; esto solamente ocurre en tres de cada 20 años de cultivo. Las razones principales son la mala distribución de las lluvias y la coincidencia de la temporada de mayor precipitación con la de evapotranspiración más elevada. En ocasiones las bajas temperaturas al principio del ciclo de cultivo o al final del mismo, causan la pérdida parcial o total de las cosechas. La utilización de agua para riego, en caso de ser posible, es más factible en el perfil seis (La Pólvora) por razones topográficas y de estabilidad estructural, ya que en el resto de los perfiles, no es posible porque la pendiente no es la adecuada o porque al abrirse al cultivo, podría presentarse una mineralización excesiva de las sustancias húmicas dando como resultado la degradación del suelo en unos cuantos años. La mayor reserva de nutrimentos para la vida de las plantas superiores se encuentra en las sustancias orgánicas, que se manifiesta fuertemente en los perfiles yesosos, en donde el desarrollo radicular se presenta con mayor intensidad en el horizonte A y solamente se encuentran raíces gruesas escasas en el horizonte C (Tablas 1, 3, 5, 7, 9, 18 y 20). De cualquier forma, el aumento en profundidad no favorece los contenidos de nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal, ya que existe una relación inversa entre el contenido de yeso y el CaCO₃ (Fig. 51 a). Los porcentajes de materia orgánica en estos perfiles van desde 2.87% en el perfil tres (Tabla 6) hasta 10.9% en el perfil cuatro (Tabla 8). Sin embargo, estos porcentajes caen abruptamente apenas a unos cuantos centímetros de profundidad, ya sea horizontes B o C, donde los porcentajes llegan a ser alrededor del 1% y en ocasiones menos de ese porcentaje. Una excepción la tenemos en el perfil nueve en el que el porcentaje de carbono orgánico es elevado aún en el horizonte C, cuya profundidad

es de 20-54 cm (Tabla 19). La materia orgánica tiene una relación estrecha con la CIC (Fig. 51 b).

La disminución de la materia orgánica ya es notoria en los perfiles dos y tres, que son los más cercanos a los núcleos de población de La Cardona y Las Enramadas, y por lo tanto, los que han estado sufriendo un sobrepastoreo más intensivo que el resto de los perfiles. Este mal manejo de las poblaciones naturales de vegetación ha ocasionado también que la densidad aparente del horizonte A sea superior a la unidad (Tablas 4 y 5), cifra que no se excede en el resto de los perfiles, para el mismo horizonte A, y que al parecer está en función con el contenido de carbonatos (Fig. 51 c), éstos a su vez dependen de la profundidad del perfil (Fig. 52 a). En las áreas cercanas a los perfiles tres y cuatro, existe actividad agrícola con cultivos de temporal, siendo el maíz la especie que más se siembra. En los suelos donde se han establecido estas parcelas se observa la pérdida del horizonte A, y del B si hubiera existido, con el consecuente afloramiento de materiales yesosos del horizonte C. La pérdida de esta capa o capas se debe al mal manejo del suelo, ya que con el monocultivo del maíz y sin ninguna práctica de reciclamiento de los residuos vegetales, la mineralización excesiva ha llevado a la transformación y a la eventual desaparición, de los materiales orgánicos que originalmente existían. En el caso del cultivo del frijol, los rendimientos al parecer se verían afectados por la concentración de cloruros, ya que estos guardan una estrecha relación con el calcio soluble (Fig. 52 b), elemento que es muy demandado por esta leguminosa.

Es recomendable utilizar estas áreas, primero en la recuperación de la fauna y flora silvestres. Sin embargo, las necesidades de alimentación, basada en leche y carne, son evidentes, por lo que podrían utilizarse para el pastoreo de ganado ovino, caprino e inclusive bovino si se reúnen las exigencias de agua de este último.

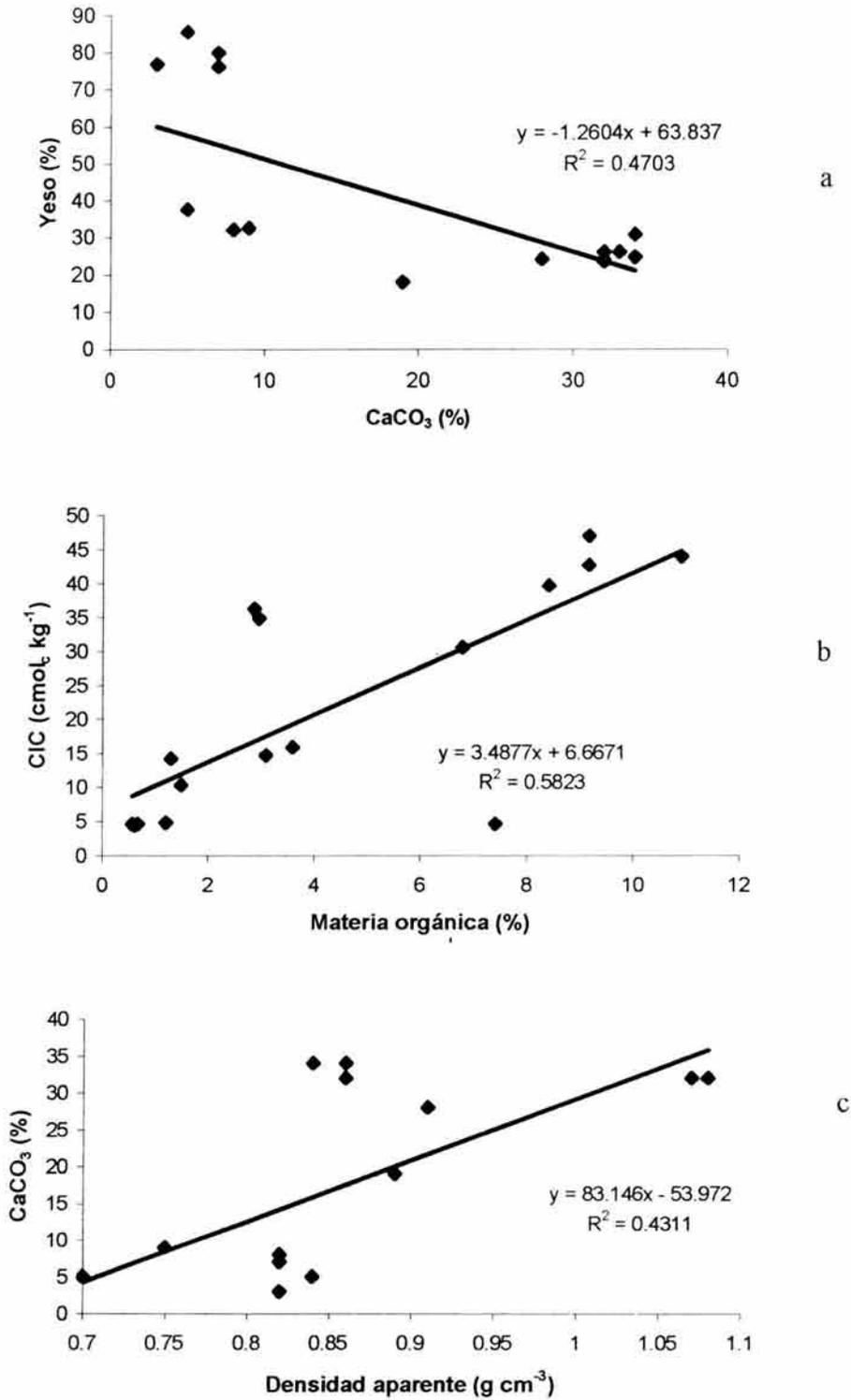
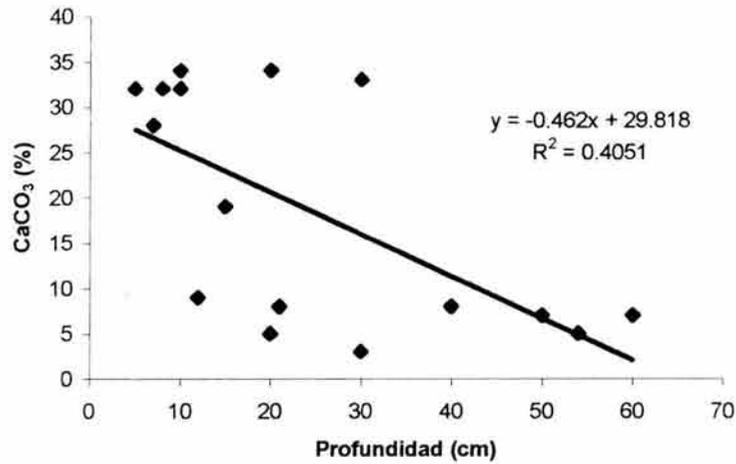


Figura 51. Relaciones existentes entre diferentes parámetros medidos en los suelos yesosos. El yeso varía de manera inversa al contenido de carbonatos, a); la CIC está en función de la MO, b); y, existe una relación directa entre el contenido de carbonatos y la densidad aparente c).

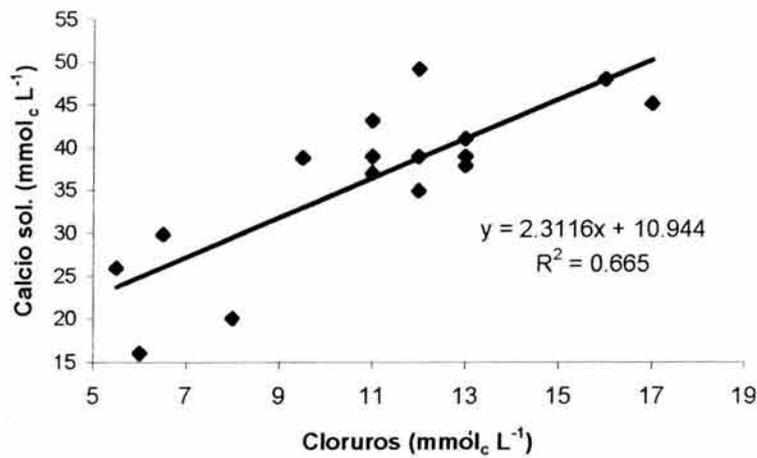
En cualquier caso, es conveniente que se hagan los estudios de carga animal que pueden soportar los tipos de vegetación existentes y no llevar al sobrepastoreo a estos terrenos. También es posible establecer en áreas planas, como el caso del perfil diez (Santo Domingo), praderas con zacates inducidos o introducidos. De preferencia especies que tengan un buen desarrollo estolonífero, para que puedan soportar el pastoreo y no sean arrancados con todo y raíz por el ganado. La baja estabilidad estructural en el horizonte superficial ocasionaría que las raíces de las especies vegetales tuviesen poco anclaje. Esta inadecuada estabilidad estructural está en función de los contenidos de materia orgánica y arcilla, mismas que guardan una correlación estrecha y disminuyen sus contenidos en profundidad (Fig. 52 c). El establecimiento de praderas artificiales podría requerir del aprovisionamiento de agua, por lo que sería necesario extraerla del subsuelo.

Donde están ubicados los perfiles yesosos, antiguamente fue una zona lacustre y actualmente el manto freático se encuentra entre 10 y 15 m, en las áreas planas con una pendiente menor del 2%, aunque el agua es generalmente de mala calidad para el riego de otras especies, pero en el caso de los pastizales resistentes a la salinidad, el problema se minimizaría. También sería conveniente la introducción especies del género *Atriplex* como *A. numularia* o *A. halimus* que son resistentes a la salinidad o la inducción de plantas del género *Dalea*, para tener un aprovisionamiento suficiente de proteínas para el ganado.

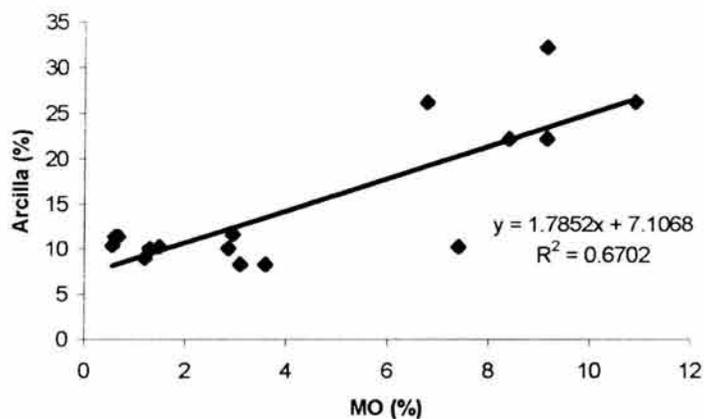
De los suelos calcáreos, el que tiene mayores posibilidades de aprovechamiento agrícola, aunque en una superficie restringida, es el área de La Pólvora. Sus condiciones de topografía permiten el establecimiento de cultivos extensivos. Con la eventual perforación de un pozo profundo, sería posible la agricultura intensiva, estableciendo especies gramíneas, hortícolas y frutícolas. Es posible también el establecimiento de praderas artificiales. Debe tenerse, en caso de abrirse al cultivo alguna superficie, en la calidad del



a



b



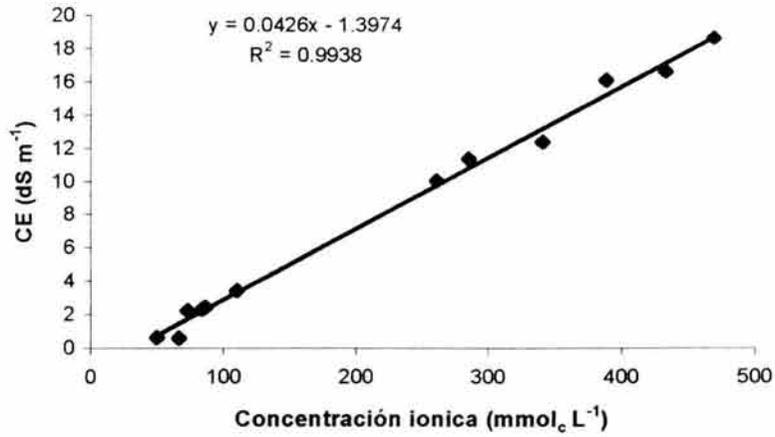
c

Figura 52. Relaciones entre algunos de los parámetros medidos en los suelos yesosos. La cantidad de carbonatos está en función inversa a la profundidad, a); los cloruros y el calcio soluble tienen una relación directa, b); lo mismo que la arcilla y la MO, c).

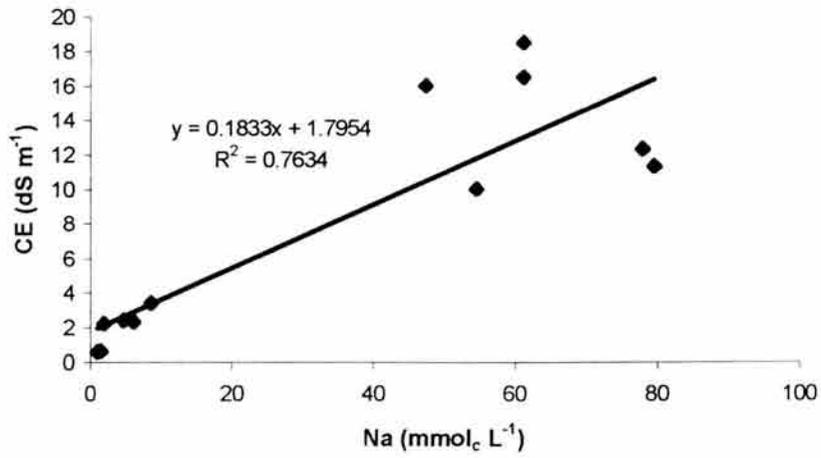
agua de riego, ya que al igual que sucede con los suelos yesosos, la CE aumenta con la concentración iónica (Fig. 53 a), al igual que la concentración de sodio (Fig. 53 b). Este problema podría atenuarse con la aplicación de MO al suelo, ya que existe una relación inversa entre el contenido de sodio y el contenido de MO (Fig. 53 c). Los cloruros, calcio soluble, y sodio soluble, también aumentan con la profundidad (Tabla 29).

Por otra parte, existe un problema social y ecológico bastante fuerte en las inmediaciones de los suelos calcáreos, en el ejido denominado Charco Cercado, municipio de Guadalcázar, S.L.P. En ese lugar se lleva a cabo la venta ilegal de fauna silvestre que va desde aves canoras hasta mamíferos como el venado cola blanca. Esto ha representado durante más de 30 años una situación a la que no se le ha encontrado una solución adecuada, ya que por una parte la disminución de las poblaciones, en algunos casos llegando a la extinción algunas especies de la fauna silvestre. Por otra parte, las condiciones de vida de los habitantes de esta zona, son muy precarias. Aunado lo anterior al costumbrismo que durante muchos años ha mantenido esta forma de vida, en la que llegan a obtener ingresos por la venta de un ejemplar animal, suficiente para el sostén de la familia hasta por dos meses, por lo que se antoja difícil la erradicación de estas prácticas tan nocivas para el entorno ecológico, no solamente de Guadalcázar, S.L.P., sino de los estados circunvecinos como Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Zacatecas. Por lo que se hace necesario entre otras acciones, la regulación y aplicación de las leyes de protección al medio y equilibrio ecológico, para que se sancione no solamente la venta, sino la compra de la fauna de la manera como se ha venido haciendo en Charco Cercado.

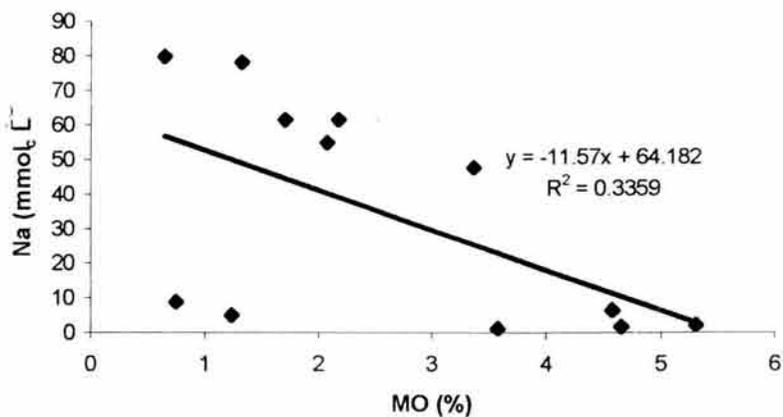
Otra alternativa se encuentra basándose en los registros de vegetación existentes, donde se asienta que se pueden encontrar poblaciones naturales de *Astrophytum myriostigma* Lem. y *Ariocarpus spp*, así como otras cactáceas susceptibles de comercializarse como plantas de



a



b



c

Figura 53. Relaciones existentes en los suelos calcáreos entre la concentración iónica y la CE a); la CE, a su vez, está determinada en gran medida por el contenido de sodio soluble, b); la MO puede disminuir el riesgo de toxicidad por sodio c).

ornato, en las áreas donde se encuentran ubicados los perfiles siete y ocho (El Coyote). Mediante la reproducción por semillas o por técnicas de cultivos de tejidos, sería posible su reproducción y desde luego, su comercialización por parte de los habitantes de la zona, con lo cual se evitaría, al menos en parte, la venta de animales silvestres. Las condiciones naturales requeridas por estas especies en cuanto a clima se reúnen de manera exacta en este sitio. Sería necesaria una infraestructura costosa, en un principio, pero se evitaría un daño mayor al medio y se atacaría un problema social añejo, lo que justificaría la inversión. También puede ser posible el establecimiento de centros de reproducción controlada de la fauna, especialmente la nativa.

En ambos casos, se podría requerir de un período de ajuste un tanto prolongado para la nueva forma de vida de los habitantes del lugar.

VIII. CONCLUSIONES

Tanto en los suelos yesosos como en los calcáreos, los factores formadores del suelo se han visto limitados por los componentes del clima, especialmente la temperatura y la precipitación. Sin embargo, los eventos climáticos extremos han jugado un papel decisivo en la formación del suelo. Otros aspectos a considerar en la edafogénesis de los sitios muestreados, son los fenómenos de transporte de partículas por el viento, la ocurrencia de minerales primarios provenientes de materiales volcánicos en las cercanías de los perfiles, las especies vegetales que aportan una gran cantidad de materiales orgánicos y el factor topográfico.

La morfología de los suelos calcáreos es la más típica de los Aridisoles estudiados, ya que presenta un epipedón ócrico y un endopedón cálcico o petrocálcico. En el caso de los suelos yesosos, la presencia de un epipedón que podría calificar como mólico, excepto por las exigencias de Soil Taxonomy, en cuanto al tiempo que debe permanecer húmedo, hace diferente y dificulta la clasificación de éstos suelos.

En la formación de este horizonte, tienen influencia las especies vegetales que aportan el material orgánico, el uso que se le ha dado al suelo y al parecer a otras condiciones climáticas diferentes a las actuales. También tiene influencia las relaciones existentes entre los diferentes cationes polivalentes, especialmente el calcio, en la dinámica de las sustancias húmicas.

En términos generales, los suelos presentan un escaso desarrollo de los horizontes, tanto los de diagnóstico como los genéticos. En algunos perfiles no aparece el horizonte B.

La clasificación de los suelos calcáreos no presenta ningún problema, ya que la presencia de los horizontes de diagnóstico está bien definida y los ubica como Typic Haplocalcids y como Calcic Petrocalcids.

Los suelos yesosos presentan el problema de un epipedón mólico en un ambiente actual arídico. La falta de datos de la humedad del suelo y ciertas ambigüedades en la clasificación, dificulta la ubicación taxonómica de estos suelos. Aunque puede definirse el régimen de humedad del suelo de acuerdo al segundo sistema de la clasificación climática de Thornthwaite, aceptado por Soil Taxonomy, persiste la duda de los días que permanece húmedo de manera consecutiva.

Las posibilidades de uso más viables de estos suelos son el pastoreo, con ciertas restricciones y la recuperación de la vida silvestre. Para atacar un antiguo problema social en la zona de los suelos calcáreos, se puede practicar la reproducción controlada de flora y fauna silvestres adaptadas a las condiciones locales.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- ABRUKOVA, L. P. y V. A. ISAYEV. 1983. Structural-Mechanical properties of Gray-Brown Gypsiferous Soils. *Pochvovedeniye*, 11:40-50.
- AGUILERA, H. N. 1970. Suelos de Tehuacán, Puebla y sus Relaciones con las Cactáceas. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. Tomo XV, No.3, 51-63. México.
- AGUILERA, H. N. 1989. Tratado de Edafología de México, Tomo I. Fac. de Ciencias, UNAM. 222 p. México.
- AGUILERA, H.N., SORIA, J.C., CARRAL, M.P., BALLESTA, R. y GUERRA, D.A. 1997. Clasificación provisional de los suelos de las regiones áridas del estado de San Luis Potosí, México. *Edafología (Revista de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo)*. 3(2)217-225.
- AL-ANI, T.A., HABIB, I. M., ABDULAZIZ, A. I., and OUDA, N. A. 1971. Plant Indicators in Iraq: 2. Mineral Composition of Native Plants in Relation to Soils and Selective Absorption. *Plant and Soil*, 35:29-36.
- ALBAREDA, H. J . M., HERNANDO, F. V. y BILBAO, A.G. 1962. Suelos Yesosos. I. Determinación de Yeso. *Acta Salamnticensia. Ciencias*, Tomo V. CSIC. Salamanca, España. p. 225-251.
- ALEIXANDRE, C. T. y PINILLA, N. A. 1968. Algunas modificaciones en las técnicas aplicadas al estudio mineralógico de las fracciones gruesas o arenas. *An. Edafol. Agrobiol.*, 27:564-567.
- ALEMAN, G.S. 1988. Exploración minera de áreas extensivas del estado de San Luis Potosí (Sub-región media y San Luis). *Carta Metalogénica*. U.A.S.L.P.-Gob. del Estado. San Luis Potosí, México. p. 12-39.

- ARKLEY, R. J. 1963. Calculation of carbonate and water movement in soil from climate data. *Soil Sci.*, 96:239-248.
- ARRICIBITA, F. J. IÑIGUEZ, H. J. y VAL, L. R. 1988. Estudio de los Gypsiorthids de Navarra. *An. Edafol. Agrobiol.*, 47:199-220.
- ARSLAN, A., and DUTT, G. R. 1993. Solubility of gypsum and its prediction in aqueous solution of mixed electrolytes. *Soil Sci.*, 155(1)37-47.
- BATEMAN, A. M. 1974. Yacimientos minerales de rendimiento económico. Ed. Omega, Barcelona, España. p. 208-212.
- BENAYAS, J., GUERRA, A., BATLLE, J. y GUMUZZIO, J. 1988. Micromorfología de algunos suelos con acumulaciones de Yeso en la Región Central Española (Toledo, Ciudad Real). *An. Edafol. Agrobiol.*, 47:221-224.
- BLACK, C. A. (ed.). 1965. *Methods of Soil Analysis. II. Chemical and Microbiological Properties.* Agronomy 9, ASA, Madison, Wisconsin, USA.
- BOETTINGER, J. L., and SOUTHARD, R. J. 1995. Phyllosilicate Distribution and Origin in Aridisols on a Granitic Pediment, Western Mojave Desert. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:1189-1198.
- BOUYOUCOS, G. J. 1927. The hydrometer as a new and rapid method for determining the colloidal content of soils. *Soil. Sci.* 23:317-330.
- BOUYOUCUS, G. J. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soil. *Agron. J.*, 43(434-438).
- BOWER, C. A. 1950. Fixation of ammonium in difficultly exchangeable forms under moist conditions by some soils of semi-arid regions. *Soil Sci.*, 70:375-383.

- BOWER, C. A. y J. V. WILCOX. 1965. Soluble Salts. In C. A. Black (ed.). Methods of soil analysis. II. Chemical and microbiological properties. Agronomy 9:933-951. Madison, Wisconsin, USA.
- BRANSON, F. A., R. F. MILLER e I. S. Mc QUEEN. 1976. Moisture relationship in twelve northern desert shrub communities near Grand Junction, Colorado. Ecology 57:1104-1124.
- BREEMEN, N. V., and BOURMAN, P. 1998. Soil formation. Kluwer Academic Publisher. 1st. Edition. p. 203-331.
- BUOL, S. W. 1965. Present soil forming factors and processes in arid and semiarid regions. Soil Sci. 99:45-49.
- BUSH, R. M. y TASA, D. 1993. Laboratory Manual in Physical Geology. AGI-NAGT. Macmillan Pub. Company. USA. p. 43.
- CABALLERO, I., OLANO, J. M., LOIDI, J., and ESCUDERO, A. 2003. Seed bank structure along semi-arid gypsum gradient in Central Spain. Journal of Arid Environments, 55:287-299.
- CARAVACA, F., LAX, A., and ABADALEJO, J. 1999. Organic matter, nutrient contents and cation exchange capacity in fine fractions from semiarid calcareous soils. Geoderma, 93:161-176.
- CARRILLO, B. J. 1971. La Plataforma Valles-San Luis Potosí. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Vol. XXIII, No. 1-6. p. 13-113.
- CHEN, B. D., LI, X. L., TAO, H. Q., CHRISTIE, P., and WONG, M. H. 2003. The role of arbuscular mycorrhiza in zinc uptake y red clover growing in a calcareous soil spiked with various quantities of zinc. Chemosphere, 50:839-846.

- DABIN, B. 1971. Etude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. *Sci. Sol.*, 1:47-63, Francia.
- DAUNITCH, H.J., BERND, A., JENRICH, H., STRUCK, R. y WERNER, D. 1976. Capacidad de uso y manejo de los suelos del valle Huizache-Matehuala. Seminario de Posgraduados para el Desarrollo Rural. Fachbereich Internationale Agrarentwicklung, Technische Universität Berlin. 153 p.
- DAY, P. R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. In C. A. Black (Ed.) *Methods of Soil Analysis, Part I. Agronomy 9*, Amer. Soc. Agron., Madison, WI. p. 545-467. USA
- DOKUCHAEV, V. V. 1965. Russian Chernozem. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.
- DOMINGUEZ, R. I. y AGUILERA, H. N. 1981. Introducción al estudio de la relación Aridisol-*Larrea*. Memorias del XIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. San Luis Potosí, S.L.P., México. p. 127-147.
- DONNER, H. E., and LYNN, W. 1989. Carbonate, Halide, Sulfate, and Sulfide Minerals. *In: Minerals in Soil Environments* (Dixon, J. B., and Weed, S. B., Eds.). Soil Science Society of America. p. 279-330.
- DUCLoux, T., DELHOUME, J. P., PETIT, S., and DECARREU, A. 1995. Clay Differentiation in Aridisols of Northern Mexico. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:269-276.
- EGHBAL, M. K., and SOUTHARD, R. T. 1993. Mineralogy of Aridisols on Dissected Alluvial Fans, Western Mojave Desert, California. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:538-544.

- ESWARAN, H., REICH, J. M., BEINROTH, F. H. and PADMANABHAN. 2000. Global carbon Stocks. *In*: LAL, R., KIMBLE, J. M. ESWARAN, H., and STEWART, B. A. (Eds.), *Global Climate Change and Pedogenic Carbonates*. Lewis Pub. p. 15-25.
- FANNING, D. S., AND M.C. B. FANNING. 1989. *Soil: Morphology, Genesis, and Classification*. John Wiley & Sons, USA.
- FAO. 1990. *Management of Gypsiferous Soils*. Soils Bulletin 62. Rome. 81 p.
- FAO.ISRIC.ISSS. 1998. *World Reference Base for a soil resource*. Rome. p. 38
- FLACH, K. W. and SMITH, G. D. 1969. The new system of soil classification as applied to arid-land soils. *In*: W. G. Mc Ginnies and B. I. Goldman (Editors) *Arid Lands in Perspective*. Univ. Arizona Press, Tucson, Ariz., p. 61-73. USA.
- FLOREA, N. and AL-JOUMAA, Kh. 1998. Genesis and classification of gypsiferous soils of the Middle Euphrates Floodplain, Syria. *Geoderma*, 87:67-85.
- FRENKEL, H., GERSTL, Z. and DE VEEN J. V. 1986. Determination of gypsum and cation exchange capacity in arid soils by a resin method. *Geoderma*, 39:67-77.
- GARCIA, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Editado por la autora. México. p. 168-172.
- GARCIA-RIZO, C., MARTINEZ-SANCHEZ, T., and PEREZ-SIRVENT, C. 1999. Environmental transfer of zinc in calcareous soils in zones near minning sites with semi-aridic climate. *Chemosphere*, 39(2)209-227.
- GARRELS, R. M., and CHRIST, C. L. 1965. *Solutions, Minerals and Equilibria*. Freeman, Cooper and Company.
- GILE, L. H. 1961. A classification of ca Horizons in Soils of a Desert Region, Dona Ana County, New Mexico. *Soil Sci. Am. J.*, 25:52-61. USA.

- GILE, L. H. 1966. Cambic and certain noncambic horizons in desert soils of southern New Mexico. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 30:773-781.
- GOMEZ, G.A. 1978. Gypsum, range conditions and interactions of *Bouteloua chasei* in the desert grassland from San Luis Potosí. Proceedings of the 1st International Rangeland Congress, Denver, Colorado, USA. D.N. Hayder (Ed.). Society for Range Management. p. 307-309.
- GRANDE, L. R. 1967. Morfología y Génesis de Suelos Yesíferos de Matehuala, S.L.P. Tesis de Maestría en Ciencias, especialidad en suelos. Chapingo, México. 138 p.
- 1977. El yeso y sus mecanismos en el suelo. *Acta Científica Potosina*. Vol. IX, No. 1. 50 p.
- 1985. Métodos para Análisis Físicos y Químicos en Suelos Agrícolas. Segunda ed. IIZD-UAS.L.P. p. 23-31.
- GUERRERO-CAMPO, J., ALBERTO, F., HODGSON, J., GARCIA-RUIZ, J. M., and MONTSERRAT-MARTI, G. 1999a. Plant community patterns in a gypsum area of NE Spain. I. Interactions with topographic factors and soil erosion. *Journal of Arid Environments*, 41:401-410.
- GUERRERO-CAMPO, J., ALBERTO, F., MAESTRO, M., HODGSON, J., and MONTSERRAT-MARTI, G. 1999b. Plant community patterns in a gypsum area of NE Spain. II. Effects of ion washing on topographic distribution of vegetation. *Journal of Arid Environments*, 41:411-419.
- HALLMARK, C. T. 1985. Family Mineralogy of Soils with Free Carbonates and Gypsum. *In: Mineralogy of Soil*. Ed. J. A. Kittrick. SSSA, Madison, Wisconsin. p. 53-60., USA.

- HELPER, J. R. 1970. How to Know the Rocks and Minerals. V.M.C. Brown Company
Pub. Iowa, USA. p. 64, 83, 198.
- HENDRIKCS, D. M. 1991. Genesis and Classification of Arid Region Soils. *In: Semiarid
Lands ad Deserts, Soil Resources and Reclamation*. J. Skujins (Ed.) Marcel
Dekker. p. 33-79.
- HENDRIKCS, D. M., W. D. NETTLETON and R. B. GROSSMAN. 1985. Problems
associated with the US System of Soil Taxonomy Mineralogy Classes in Arid
Regions. *In: Mineral Classification of Soils*. Edited by J. A. Kittrick. SSSA,
Madison, Wisconsin, USA. p. 41-52.
- HERMOSO, de la T. C. 1965. Estudio Geológico del Area Cerritos-Cárdenas. *Geología y
Metalurgia*, Tomo 2, No. 14.
- HERRERO, I.J. 1991. Morfología y génesis de suelos sobre yesos. Monografía INIA Núm.
77. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. p. 7-9.
- HERRERO, J., PORTA, J., and FEDOROFF, N. 1992. Hypergypsic-soil micromorphology
and landscape relationships in Northeastern Spain. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:1188-
1194.
- HERRERO J., and J. PORTA. 2000. The terminology and the concepts of gypsum-rich
soils. *Geoderma*, 96:47-61.
- HESSE, P. R. 1976. Particle size distribution in gypsic soils. *Plant and Soils.*, 44: 241-247.
- HOOSBEEK, M.R. and BRYANT, R. B. 1992. Towards the quantitative modeling of
pedogenesis-a review. *Geoderma*, 55:183-210.
- ICOMID. 1989. Aridisols, Version 6.0. International Committee on Aridisols.
- INEGI. 1985. Síntesis Geográfica del Estado de San Luis Potosí. SPP. México. 186 p.

- JACKSON, M. L. 1982. Análisis químico de suelos. Ed. Omega, Barcelona, España. p. 254, 441-453.
- JCPDS. 1990. International Centre for Diffraction Data.
- JONGMANS, A. G., FEIJTEL, T. C. J., MIEDEMA, R., BREMEN, N. And VELDKAMP, A. 1991. Soil formation in a Quaternary terrace sequence of the Allier Limagne France. Macro-and micromorphology particle size distribution, chemistry. *Geoderma*, 49(215-239)
- KACHANOSKI, R. G., TANJI, K. K., ROLLINS, L. T., WHITTIG, L. D., and FUJI, R. 1992. Dissolution kinetics of CaCO₃: CARKIN-1, a computer model. *Soil Sci.* 153(1)13-24.
- KALAYCI, M., TORUN, B., EKER, S., AYDIN, M., OZTURK, L., and CAKMAK, I. 1999. Grain yield, zinc efficiency and zinc concentration of wheat cultivars grown in a zinc-deficient calcareous soil in field and greenhouse. *Field Crops Research*, 63:87-98.
- LAGERWERFF, J. V., G. W. AKIN and S. W. MOSES. 1965. Detection and Determination of Gypsum in Soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 29: 535-540.
- LAL, R., and KIMBLE, J. M. 2000. Pedogenic carbonates in the global carbon cycle. *In: Global Climate Change and Pedogenic Carbonates* (R. LAL, J. M. KIMBLE, H. ESWARAN and B. A. STWART, Eds.) Lewis Pub. p. 1-14.
- LANYON, E. E. and W. R. HEALD. 1982. Magnesium, Calcium, Strontium and Barium. *In: Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties.* Edited by A. L. Page. *Agronomy Monograph*, No. 9. 2nd Ed. USA. p. 247-262.
- LAYA, F. A. 1989. Génesis, Propiedades Tecnológicas y Posibilidades de Utilización de los Suelos Salinos de la Cuenca del Duero y Tajo, con Énfasis en los Suelos

- Yesíferos. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, ETSIA, Madrid, España. 341 p.
- LEOPOLD, A. S. 1950. Vegetation Zones of Mexico. *Ecology*, 31: 507-508.
- LE SUEUR, H. 1945. The ecology of the vegetation of Chihuahua, Mexico. North of Parallel Twenty Eight. University of Texas. Austin, Tx. USA.
- LEVY, D. B., AMIRHEIN, C., ANDERSON, M. H. and DAOUD, A. M. 1995. Coprecipitation of Sodium, Magnesium and Silicon with Calcium carbonate. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:1258-1267.
- LONGWELL, C. R. Y FLINT R. F. 1983. *Geología Física*. Ed. Limusa. 530 p.
- MANAHAN, E. E. 1992. Toxicological chemistry. 2nd ed. Lewis Publishers. p. 161-191.
- MARION, G. M., SCHLESINGER, W. H., and FONTEYN, P. J. 1985. Caldep: A regional Model for Soil CaCO₃ (Caliche) Deposition in Southwestern Deserts. *Soil Sci.* 139(5) 468-481.
- MARROQUIN, J. S., BORJA, L. G. ,VELAZQUEZ, C. R. y de la CRUZ, C. T. A. 1981. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México. INIF, México. 166 p.
- MARSHAL, C. E. 1977. *The Physical Chemistry and Mineralogy of Soils. Volume II: Soils in Place*. John Wiley & Sons. p. 1-7.
- McCONNAUGHEY, T. A. and WHELAN, J. F. 1997. Calcification generates protons for nutrient and bicarbonate uptake. *Earth-Science Reviews*, 42:95-117.
- McNEAL, B. L., OSTER, J. D., and HATCHER, J. J. 1970. Calculation of electrical conductivity from solution composition data as an aid to in-situ estimation of soil salinity. *Soil Sci.*, 63:79-86.

- MEDINA, R. F. 1966. Estudio Geohidrológico de la Región Cerritos-Villa-Juárez, S.L.P. *Geología y Metalurgia*, 16: 38-65.
- MEYER, S. E. 1980. The ecology of gypsophily in the Eastern Mojave Desert. Ph. D. Dissertation. Graduate Faculty of Botany, Claremont Graduate School. 199 p.
- MILFORD, M. H. 1991. Introduction to Soils and Soil Science. Laboratory Exercises. Fourth ed. Kendall/Hunt Pub. Co. Dubuque, Iowa, USA. p. 19-24.
- MOORE, T. J., R. C. HARTWIG and R. H. LOEPPERT. 1990. Steady-State Procedure for Determining the Effective Particle-Size Distribution of Soil Carbonates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54: 55-59.
- MULLER, C. H. 1947. Vegetation and climate of Coahuila, Mex. *Madroño*. IX. Vol. 2:33-57.
- MUNSELL COLOR. 1975. Munsell Soil Color Charts. Macbeth Division of Kollmorgen Co. Baltimore, Maryland, USA.
- MURRAY, R. C. 1964. Origin and diagenesis of gypsum and anhydrite. *J. Sediment. Petrol.*, 34: 513-523.
- NELSON, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. *In*: A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2nd ed. Agronomy 9. p. 181-197.
- NELSON, R. E., KLAMETH, L. C., and NETTLETON, W. D. 1978. Determining soil gypsum content and expressing properties of gypsiferous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 659-661.
- NETTLETON, W. D., NELSON, R. E., BRASHER, B. R., and DERR, P. S. 1982. Gypsiferous Soils in the Western United States. *In*: *Acid Sulphate Weathering*.

- Kittrick, J. A. (Ed.). SSSA Special Publication Number 10. Madison, Wisconsin, USA. p. 147-168.
- NETTLETON, W. D. and PETERSON, F. F. 1983. Aridisols. *In*: Wilding, L. P., SMECK, N. E. and HALL, G. F. (Editors). Pedogenesis and Soil Taxonomy: II The Soil Orders. Ed. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. p. 165-215.
- PANKOVA, Y. and I. A. YAMNOVA. 1987. Forms of Gypsic Neof ormations as a Controlling Factor Affecting the Meliorative Properties of Gypsiferous Soils. *Pochvovedeniye*, 7: 101-109.
- PARFENOFF, V. I., POMEROL, CH. And, TOURENQ, T. 1970. Les Minéraux en Grains Méthodes d'étude et Détermination. Eds. Masson et Cie, Francia. 597 p.
- PEDRO, G. 1983. Structuring of some basic pedological processes. *Geoderma*, 31(289-299)
- PEMEX. 1988. Estudio de Actualización Geológica del Prospecto "Carbonato". Estudio Geológico 702. Coordinación Regional de Exploración Zona Norte. Distrito San Luis Potosí, México.
- PEREZ-MATEOS, J. 1965 Análisis Mineralógico de Arenas: Métodos de Estudio. CSIC., Manuales de Ciencia Actual No. 1. Madrid, España. 265 p.
- PIÑA, L. I. 1971. Zona Ixtlera. Cactáceas y Suculentas Mexicanas. Tomo XVI, No. 2, 27-35.
- PIPER, C. S. 1942. Soil and Plant Analysis. Univ. of Adelaide, USA.
- PODWOJEWSKI, P., and ARNOLD, M. 1994. The origin of gypsum in Vertisols in New Caledonia determined by isotopic characteristics of sulfur. *Geoderma*, 63:179-195.

- POLEMIO, M. and J. D. RHOADES. 1977. Determining Cation Exchange Capacity: A New Procedure for Calcareous and Gypsiferous Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41: 524-528.
- PORTA, J. 1998. Methodologies for the analysis and characterization of gypsum in soils: A review. *Geoderma*, 87:31-46.
- PORTA, J. y HERRERO, J. 1988. Micromorfología de Suelos con yeso. *An. Edafol. Agrobiol.*, 47: 179-197.
- PORTA, J. y HERRERO, J. 1990. Micromorphology and genesis of soils enriched with gypsum. In: Douglas, L. A. (ed.), *Soil Micromorphology*. Elsevier, Amsterdam, p. 321-329.
- PORTA, J., LOPEZ-ACEVEDO, M. y ROQUERO, C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. p.463.
- REHEIS, M. C., SOWERS, T. M., TAYLOR, E. M., McFADDEN, L., and HARDEN, J. W. 1995. Morphology and genesis of carbonate soils on the Kyle Canyon fan, Nevada, USA. *Geoderma*, 52:303-342.
- RICHARDS, L. A. (Editor). 1977. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Sexta Edición. Ed. Limusa. México. p. 21.
- RICKARD, W. H. 1965. The influence of greasewood on soil moisture penetration and soil chemistry. *Northwest Sci.*, 39:36-42.
- ROBINSON, G. W. 1922. Note on the mechanical analysis of humus soils. *J. Agric. Sci.*, 12: 287-291.
- RODRÍGUEZ, D., HERRERA, T., AGUILERA, N. Y SORIA, J. 1992. Estudio Cuantitativo y Cualitativo de la Microbiota de Suelos Silvestres Yesíferos del

- Estado de San Luis Potosí, México. *En: Memorias del Primer Congreso Centroamericano de Micología*. Guatemala, Guatemala. p. 139.
- RUDEL, A. 1979. *Geología*. Ed. Montaner y Simón. Barcelona, España. p. 47.
- RZEDOWSKI, J. 1961. *Vegetación del estado de San Luis Potosí*. Tesis Doctoral. Fac. de Ciencias, UNAM. México. p. 51-151.
- SAYEGH, A. H., KHAN, N. A., KHAN, P., and RYAN J. 1978. Factors Affecting Gypsum and Cation Exchange Capacity Determinations in Gypsiferous Soils. *Soil Sci.* 125(5): 294-300.
- SCHLEIFF, U. 1979. Determination of gypsum by measurement of electrical conductivity in water extracts of soils of Saudi Arabia. *Mitt. Dtsch. Bodenkd. Ges.* 29: 993-1000.
- SCHLESINGER, W. H. 1982. Carbon Storage in the Caliche of Arid Soils: A Case Study from Arizona. *Soil Sci.*, 133(4) 247-255.
- SECOR, J. B., S. SHAMASH, D. SMEAL and A. L. GENNARO. 1983. Soil Characteristics of Two Desert Plant Community Types that Occur in the Medaños Area of Southeastern New Mexico. *Soil Sci.*, 136(3) 133-144.
- SIMON, M., CABEZAS, O., GARCIA, I., and MARTINEZ, P. 1994. A new method for the estimation of total dissolved salts in saturation extracts of soils from electrical conductivity. *European Journal of Soil Science*, 45:153-157.
- SIMONSON, R. W. 1978. A multiple process model of soil genesis. *In: Quaternary Soils*, W. D. Mahaney (Ed.). Norwich, Eng. p. 1-25.
- SINGER, A., KIRSTEN, W., and BUHMAN, C. 1995. Fibrous clay minerals in the soils of Namaqualand, South Africa: Characteristics and formation. *Geoderma*, 66:43-70.

- SMITHSON, F. 1948. The application on phase-contrast microscopy to mineralogy and petrology. *Min. Mag.*, 28(202)384-391.
- SOIL SURVEY STAFF. 1975. *Soil Taxonomy: A basic system for making and interpreting soil survey*. USDA, Handbook No. 436. U.S. Government Printing Office. Washington, D.C. p. 46-47.
- 1990. *Keys to Soil Taxonomy, Fourth edition*. SMSS. Technical Monograph No. 6. Blaksburg, Virginia, USA.
- 1994. *Keys to Soil Taxonomy, Sixth edition*. USA. p. 103.
- 1999. *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. USDA, NCRS. Washington, D.C. p. 852-854.
- SOLLER, D. R. and OWENS, J. P. 1991. The use of mineralogic techniques as relative age indicators for weathering profiles in the Atlantic Coastal Plain, USA. *Geoderma*, 51:111-131.
- SORIA, J.C., ALEIXANDRE, T., PINILLA, A., GUERRA, A. y AGUILERA, N. 1993. Estudio mineralógico y morfológico de las fracciones no arcillosas de los Aridisoles del estado de San Luis Potosí (México). *En: Memorias del XIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. Salamanca, España. p. 1566-1570.
- TAIMEH, A. Y. 1992. Formation of gypsic horizons in some arid region soils of Jordan. *Soil Sci.* 153(6) 486-498.
- TARBUCK, E.J. y LUTGENS, F. K. 2000. *Ciencias de la Tierra: Una Introducción a la Geología Física*. Ed. Prentice Hall. p. 139.

- TIEDEMANN, A. R. and J. O. KLEMMEDSON. 1973. Nutrient availability in desert grassland soils under mesquite (*Prosopis juliflora* (Swartz.) DC.) trees and adjacent open areas. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 37: 107-111.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. NATIONAL SOIL SURVEY CENTER. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Washington, DC. p 33.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. NATIONAL SOIL SURVEY CENTER. 1999. Soil Taxonomy: a Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Agriculture Handbook Number 436. Washington, DC. p 329-331.
- US SALINITY LABORATORY STAFF. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, Handbook 60. USDA.
- VALDES, J. y H. FLORES. 1983. La pteridofitas en la flora halófila y gipsófila de México. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México, 54(1983). Serie Botánica (No. Unico)173-188.
- VAN ALHPEN, J.G. and F. DE LOS RIOS. 1971. Gypsiferous Soils. ILRI, Wageningen, The Netherlands. 44 p.
- VELASCO, F. 1966. La humificación e los suelos de bosque de *Quercus ilex* desarrollados sobre sustrato calizo y silíceo. An. Edafol. y Agrobiol., 25(11-12)697-706.
- VELAZCO, A. A. 1970. Estudio Geológico del Area Huizache-Vallejo, Municipios de Villa Hidalgo, Villa de Guadalupe y Guadalcázar, S.L.P. Geología y Metalurgia, 28: 22-45. U.A.S.L.P., México.
- VIEILLEFON, J. 1979. Contribution á l'amélioration de l'étude analytique des sols gypseux. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., 17: 195-223.

- VILLA, S. A. 1980. Los Desiertos de México. *En: Arid Land Resource Inventories: Developing Costo-Efficient Methods*. Nov. 30-Dec. 6, La Paz, México. USDA.
- WAKATSUKI, T. And RASYIDIN, A. 1992. Rates of weathering and soil formation. *Geoderma*, 52(251-263).
- WALKLEY, A. L. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils, effect of variations in digestion conditions of inorganic soil constituents. *Soil Sci.*, 63: 251-253.
- WALKLEY, A. L., and BLACK, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37:29.38.
- WENMING, D., ZHIJUN, G., JINZHOU, D., LIYING, Z., and ZUYI, T. 2001. Sorption characteristics of zinc (II) by calcareous soil-radiotracer study. *Applied Radiation and Isotopes*, 54:371-375.