



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



"La tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra"

IMPACTO DE LOS PROCESOS EROSIVOS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS EN LA REGIÓN SUR DE VALSEQUILLO, PUEBLA

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

ITZEL FABIOLA ARROYO ORTEGA

Asesor de tesis:

Dr. Jesús Armando Ruiz Careaga

Co Asesora de tesis:

Dra. Lucía López Reyes

Octubre 2017



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



"La tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra"

IMPACTO DE LOS PROCESOS EROSIVOS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS EN LA REGIÓN SUR DE VALSEQUILLO, PUEBLA

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

ITZEL FABIOLA ARROYO ORTEGA

Comité tutorial:

Asesor y Tutor	Dr. Jesús Armando Ruiz Careaga
Co Asesora de Tesis	Dra. Lucía López Reyes
Integrante Comité Tutorial	Dr. J Santos Hernández Zepeda
Integrante Comité Tutorial	Dr. Daniel Jiménez García
Integrante Comité Tutorial	Dr. Ricardo Darío Peña Moreno

Octubre 2017



BUAP

C. ITZEL FABIOLA ARROYO ORTEGA

Por este conducto me permito comunicarle que los miembros del jurado integrado por:

<i>Dr. Miguel Ángel Villalobos López</i>	<i>Presidente</i>
<i>Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega</i>	<i>Secretario</i>
<i>Dr. Daniel Jiménez García</i>	<i>1er. Vocal</i>
<i>Dr. Ricardo Darío Peña Moreno</i>	<i>2do. Vocal</i>
<i>Dra. María Teresa Zayas Pérez</i>	<i>Suplente</i>

designado para la defensa de su tesis "*Impacto de los procesos erosivos sobre las características y propiedades de los suelos en la región sur de Valsequillo, Puebla*" han manifestado mediante su voto que ésta cumple con los méritos suficientes para ser defendida como tesis de grado de Maestría en Ciencias Ambientales, por lo que este Posgrado le autoriza la impresión de la misma.

Sin otro asunto en lo particular, quedo de usted.

A T E N T A M E N T E

"PENSAR BIEN, PARA VIVIR MEJOR"

H. PUEBLA DE Z., OCTUBRE 6 DE 2017

DR. RICARDO DARÍO PEÑA MORENO

SECRETARIO ACADÉMICO



RDPM/anma
c.c.p. Archivo
c.c.p. Minutario

A mis padres. David y Graciela[†]

Agradezco enormemente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios de posgrado.

AGRADECIMIENTOS

A mi Doctor Careaga, por recibirme, por su enseñanza, su guía, paciencia, entrega y confianza, por las charlas sobre béisbol, Cuba, habanos y Fidel. Gracias por convertirse también en mi amigo.

A la Doctora. Lucia y a la Doctora. Rosalía. Sus enseñanzas y solidaridad me incitaron a seguir avanzando. Indudablemente son mi ejemplo a seguir.

A los Doctores Daniel Jiménez, Miguel Ángel Valera y Eduardo Torres. Gracias por su camaradería, por responder siempre a mis interminables preguntas incluso a deshoras. Su guía siempre estará presente.

A los Doctores Ricardo Peña y J. Santos, por aceptar ser parte de mi comité, por sus invaluable aportes al desarrollo de la presente, así como su asesoría, críticas y sugerencias.

Al Doctor Miguel Ángel Villalobos y a la Doctora Teresa Zayas, por aceptar ser parte de mi jurado, por su disponibilidad, así como por sus comentarios y consejos.

Al Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas y al Departamento de Microbiología de Suelos, especialmente al Doctor Tamaríz, César Calderón, Abel Cruz, Eli Portillo y Lety Gómez por brindarme desinteresadamente toda la ayuda necesaria para la realización de este proyecto.

Al Posgrado en Ciencias Ambientales y a sus profesores, por su formación y porque de una u otra forma aportaron a este proyecto. También deseo agradecer a Angélica Aldaco por todo el apoyo brindado.

A los habitantes de las localidades de San José Texaluca, La Libertad Tecola, San José El Rincón y Los Ángeles Tetela, por su ayuda y disposición. Sus conocimientos y sencillez me animan a seguir investigando.

A mi Padre, David Arroyo Ramírez, por no dejarme sola, por tu amor incondicional, por alentarme en cada momento de mi vida a seguir creciendo y por caminar a mi lado para levantarme cuando tropiezo. Gracias por todo tu esfuerzo. Te amo papi.

A mi madre, Graciela Ortega† por enseñarme a ser fuerte, valiente y perseverante, creo que te sentirías orgullosa.

A mi hermano, gracias por crecer conmigo y compartir tantos momentos, por defenderme y apoyarme, por ser mi compañero de juegos, por hacerme preguntas que me incitan a seguir aprendiendo y por enseñarme de buena música, libros y arte.

A ti Josué, por elegir compartir tu vida conmigo, por formar un hogar junto a dos pequeñas caninas, por tus sabios consejos en situaciones difíciles, por tu paciencia para responder hasta las preguntas más obvias. Gracias por apoyarme y animarme a seguir mis sueños. ¡Te amo!

A Joss. Gracias por todo tu apoyo, por estar conmigo en las malas y celebrar hasta cansarnos en las buenas. Tus ánimos siempre funcionan.

A Mary y Lu, por compartir conmigo esta etapa y por tantas noches de desvelo y pláticas largas que disfrutamos. Gracias por tantas ocurrencias.

A Pao, gracias por acompañarme en esas interminables tardes de laboratorio y cansadas salidas al campo, sino no hubiera sido lo mismo.

A Aida Ortega, por siempre tener un tiempo para mí, escucharme y aconsejarme. Tu guía ha sido un motor para seguir avanzando.

Gracias a mis compañeros de maestría por tener la disponibilidad de enseñarme algo, en especial a Bere, Belén, David, Raúl, Jorge e Iván siempre tan geniales y divertidos.

Gracias a Mabel, Armando, Ingrid y Yamel por darme una mano afectuosamente, a Ximena y Zoe por creer en mí.

Gracias a todas las personas que de alguna forma y de manera desinteresada me apoyaron en esta gran etapa.

*“Volví a mi tierra verde
y ya no estaba,
ya no estaba la tierra,
se había ido.
Con el agua hacia el mar
se había marchado.”*

PABLO NERUDA

ÍNDICE	
CAPÍTULO 1 GENERALIDADES	20
1.1 INTRODUCCIÓN	20
1.2 ANTECEDENTES	23
1.2.1 Erosión del suelo	23
1.2.1.1 Concepto de erosión.....	23
1.2.1.2 Clasificación de la erosión.....	24
1.2.1.3 Causas y consecuencias de la erosión.....	24
1.2.1.4 Superficie afectada por la erosión.....	25
1.2.1.5 Legislación e historia de la investigación de la erosión.....	26
1.2.1.6 Legislación y situación actual de la erosión en México y en la zona de estudio.....	28
1.2.2 Propiedades y características de los suelos.	29
1.3 JUSTIFICACIÓN	31
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	32
1.4.1 Preguntas de investigación.....	32
1.5 HIPOTESIS	32
1.6 OBJETIVOS	32
1.6.1 Objetivo general.....	32
1.6.2. Objetivos particulares.....	32
CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA	34
2.1. FASE DE GABINETE	35
2.1.1 Estudio de las condiciones ambientales.....	35
2.1.2 Estudio de las condiciones socioeconómicas.....	35
2.2 FASE DE CAMPO Y LABORATORIO	35

2.2.1 Estudio de los suelos	35
2.2.2 Análisis de los suelos	36
2.2.3 Evaluación de la erosión	37
2.2.4 Pérdida de la cobertura vegetal	39
2.2.5 Estudio socio-económico	41
2.3 RELACIÓN SOCIOECONÓMICA-AMBIENTAL.....	41
2.3.1 Índice de Factores Sociales	42
2.3.2 Índice de Marginación	44
2.3.3 Promedio de la estimación de pérdida de suelo.....	44
CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
3.1 CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	46
3.2 CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	50
3.3 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	53
3.3.1 Descripción de los perfiles de suelos y análisis de laboratorio	53
3.3.1.1 Descripción y análisis de los perfiles del Contorno 1.....	54
3.3.1.2 Descripción y análisis de los perfiles del Contorno 2.....	66
3.3.1.3 Descripción y análisis de los perfiles del Contorno 3.....	74
3.3.1.4 Descripción y análisis de los perfiles del Contorno 4.....	83
3.3.1.5 Descripción y análisis de los perfiles del Contorno 5.....	91
3.3.2 Evaluación de la erosión.....	100
3.3.2.1 Contorno 1	100
3.3.2.2 Contorno 2	107
3.3.2.3 Contorno 3	113
3.3.2.4 Contorno 4	119
3.3.2.5 Contorno 5	126

3.3.3 Pérdida de la cobertura vegetal	132
3.4 DIAGNÓSTICO SOCIAL	136
3.4.1 Obtención de ingresos	136
3.4.2 Formas de tenencia de la tierra	137
3.4.3 Prácticas agrícolas	138
3.4.4 Estado de los suelos	140
3.4.5 Migración	141
3.5 RELACIÓN SOCIOECONÓMICA-AMBIENTAL	142
CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES	146
ANEXOS	150
BIBLIOGRAFÍA	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Metodología utilizada en el presente estudio.....	34
Figura 3.1. Localización del área de estudio.	46
Figura 3.2. Mapa geológico de la zona de estudio.....	48
Figura 3.3. Mapa edafológico de la zona de estudio.....	49
Figura 3.4. Mapa de uso de suelo y vegetación de la zona de estudio.....	49
Figura 3.5. Localización de los perfiles de suelo en el área de estudio.	53
Figura 3.6. Fotografía de un Junípero (Juniperus fláccida).....	54
Figura 3.7. Perfil IT-07.....	56
Figura 3.8. Zona del Perfil IT-07.....	57
Figura 3.9. Perfil IT-11.....	59
Figura 3.10. Vegetación arbórea cercana al Perfil IT-11.....	60
Figura 3.11. Perfil IT-10.	62
Figura 3.12. Vegetación aledaña al Perfil IT-10.	63
Figura 3.13. Perfil IT-12.	64
Figura 3.14. Área adyacente al Perfil IT-12.....	66

Figura 3.15. Espino (<i>Crataegus monogyna</i>)	66
Figura 3.16. Perfil IT-04. Perfil que conserva su horizonte AB	68
Figura 3.17. Zona del Perfil IT-04.....	69
Figura 3.18. Perfil IT-06. Suelo con erosión muy fuerte	71
Figura 3.19. Zona del Perfil IT-06 la cual ha sido abandonada.....	72
Figura 3.20. Perfil IT-05.	73
Figura 3.21. Zona del Perfil IT-05 donde no se observa cobertura vegetal.....	74
Figura 3.22. Encino (<i>Quercus ilex</i>).....	75
Figura 3.23. Perfil IT-13.	76
Figura 3.24. Zona aledaña al Perfil IT-13.....	77
Figura 3.25. Perfil IT-09.	79
Figura 3.26. Zona del Perfil IT-09.....	80
Figura 3.27. Perfil IT-08.	81
Figura 3.28. Zona aledaña al Perfil IT-08.....	83
Figura 3.29. Cazahuate (<i>Ipomoea arborescens</i>).	83
Figura 3.30. Perfil IT-03. Suelo que aún conserva el horizonte AB regenerado.....	85
Figura 3.31. Formación de cárcava en la zona del Perfil IT-03.....	87
Figura 3.32. Perfil IT-01.	88
Figura 3.33. Zona del Perfil IT-01.....	89
Figura 3.34. Perfil IT-02.	90
Figura 3.35. Zona del Perfil IT-02.....	91
Figura 3.36. Truenafrente (<i>Tecoma stans</i>).	92
Figura 3.37. Perfil IT-16.	93
Figura 3.38. Zona de cultivo aledaña al Perfil IT-16.....	95
Figura 3.39. Perfil IT-14.	96
Figura 3.40. Zona del Perfil IT-14.....	97
Figura 3.41. Perfil IT-15.	98
Figura 3.42. Zona aledaña al Perfil IT-15.....	99
Figura 3.43. Características morfológicas de los perfiles del contorno 1.	101
Figura 3.44. Propiedades físicas de los perfiles del contorno 1.	102
Figura 3.45. Propiedades químicas de los perfiles del contorno 1.....	104

Figura 3.46. Propiedades biológicas de los perfiles IT-07 e IT-10 del contorno 1.....	106
Figura 3.47. Características morfológicas de los perfiles del contorno 2.	108
Figura 3.48. Propiedades físicas de los perfiles del contorno 2.	109
Figura 3.49. Propiedades químicas de los perfiles del contorno 2.....	111
Figura 3.50. Propiedades biológicas de los perfiles del contorno 2.....	112
Figura 3.51. Características morfológicas de los perfiles del contorno 3.	114
Figura 3.52. Propiedades físicas de los perfiles del contorno 3.	115
Figura 3.53. Propiedades químicas de los perfiles del contorno 3.....	117
Figura 3.54. Propiedades biológicas de los perfiles del contorno 3.....	118
Figura 3.55. Características morfológicas de los perfiles del contorno 4.	120
Figura 3.56. Propiedades físicas de los perfiles del contorno 4.	121
Figura 3.57. Propiedades químicas de los perfiles del contorno 4.....	123
Figura 3.58. Propiedades biológicas de los perfiles del contorno 4.....	124
Figura 3.59. Características morfológicas de los perfiles del contorno 5.	127
Figura 3.60. Propiedades físicas de los perfiles del contorno 5.	128
Figura 3.61. Propiedades químicas de los perfiles del contorno 5.....	129
Figura 3.62. Propiedades biológicas de los perfiles del contorno 5.....	131
Figura 3.63. Cambios espaciales en la cobertura vegetal de la zona de estudio.....	134
Figura 3.64. Formas de tenencia de la tierra.....	137
Figura 3.65. Correlación entre Índice de marginación, pérdida de suelo y IFS.....	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Clasificación de los grados de erosión	24
Tabla 2.1. Características morfológicas determinadas en campo.....	36
Tabla 2.2. Propiedades físicas determinadas en laboratorio.....	36
Tabla 2.3. Propiedades químicas determinadas en laboratorio	37
Tabla 2.4. Propiedades biológicas determinados en laboratorio.....	37
Tabla 2.5. Simbología de características sistema radicular y estructura del suelo	38
Tabla 2.6. Ponderación por convenio de los indicadores	43
Tabla 3.1. Estructura de la población en la zona de estudio	50

Tabla 3.2. Cambios en el índice de marginación de las localidades de la zona de estudio.	52
.....	52
Tabla 3.3. Descripción del Perfil IT-07	55
Tabla 3.4. Parámetros físicos del Perfil IT-07	56
Tabla 3.5. Parámetros químicos del Perfil IT-07	57
Tabla 3.6. Descripción del Perfil IT-11	58
Tabla 3.7. Parámetros físicos del Perfil IT-11	59
Tabla 3.8. Parámetros químicos del Perfil IT-11	60
Tabla 3.9. Descripción de los horizontes del Perfil IT-10	61
Tabla 3.10. Parámetros físicos del Perfil IT-10	62
Tabla 3.11. Parámetros químicos del Perfil IT-10	63
Tabla 3.12. Descripción de los horizontes del Perfil IT-12	64
Tabla 3.13. Parámetros físicos del Perfil IT-12	65
Tabla 3.14. Parámetros químicos del Perfil IT-12	65
Tabla 3.15. Descripción de los horizontes del Perfil IT-04	67
Tabla 3.16. Parámetros físicos del Perfil IT-04	69
Tabla 3.17. Parámetros químicos del Perfil IT-04	70
Tabla 3.18. Descripción del horizonte del Perfil IT-06	70
Tabla 3.19. Parámetros físicos del Perfil IT-06	71
Tabla 3.20. Parámetros químicos del Perfil IT-06	71
Tabla 3.21. Descripción de los horizontes del Perfil IT-05	73
Tabla 3.22. Parámetros físicos del Perfil IT-05	73
Tabla 3.23. Parámetros químicos del Perfil IT-05	74
Tabla 3.24. Descripción de los horizontes del Perfil IT-13	76
Tabla 3.25. Parámetros físicos del Perfil IT-13	77
Tabla 3.26. Parámetros químicos del Perfil IT-13	77
Tabla 3.27. Descripción de los horizontes del Perfil IT-09	78
Tabla 3.28. Parámetros físicos del Perfil IT-09	79
Tabla 3.29. Parámetros químicos del Perfil IT-09	80
Tabla 3.30. Descripción de los horizontes del Perfil IT-08	81
Tabla 3.31. Parámetros físicos del Perfil IT-08	82

Tabla 3.32. Parámetros químicos del Perfil IT-08	82
Tabla 3.33. Descripción de los horizontes del Perfil IT-03	84
Tabla 3.34. Parámetros físicos del Perfil IT-03	86
Tabla 3.35. Parámetros químicos del Perfil IT-03	86
Tabla 3.36. Descripción del Perfil IT-01	87
Tabla 3.37. Parámetros físicos del Perfil IT-01	88
Tabla 3.38. Parámetros químicos del Perfil IT-01	89
Tabla 3.39. Descripción de los horizontes del Perfil IT-02	90
Tabla 3.40. Parámetros físicos del Perfil IT-02	91
Tabla 3.41. Parámetros químicos del Perfil IT-02	91
Tabla 3.42. Descripción de los horizontes del Perfil IT-16	93
Tabla 3.43. Parámetros físicos del Perfil IT-16	94
Tabla 3.44. Parámetros químicos del Perfil IT-16	94
Tabla 3.45. Descripción de los horizontes del Perfil IT-14	96
Tabla 3.46. Parámetros físicos del Perfil IT-14	97
Tabla 3.47. Parámetros químicos del Perfil IT-14	97
Tabla 3.48. Descripción de los horizontes del Perfil IT-15	98
Tabla 3.49. Parámetros físicos del Perfil IT-15	99
Tabla 3.50. Parámetros químicos del Perfil IT-15	99
Tabla 3.51. Cálculo de pérdidas de suelo del contorno 1	106
Tabla 3.52. Cálculo de pérdidas de suelo del contorno 2	113
Tabla 3.53. Cálculo de pérdidas de suelo del contorno 3	119
Tabla 3.54. Cálculo de pérdidas de suelo del contorno 4	125
Tabla 3.55. Cálculo de pérdidas de suelo del contorno 5	132
Tabla 3.56. Cambios y/o pérdidas de la cobertura vegetal en la zona de estudio	133
Tabla 3.57. Resultados de IFS por localidad.	142
Tabla 3.58. Índices utilizados para la determinación de la relación socioeconómica-ambiental de la zona de estudio.	143

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas ambientales que ponen en riesgo a la humanidad es el agotamiento y la destrucción acelerada de los recursos naturales, en particular el recurso suelo es el que ha sufrido mayor daño antropogénico siendo sometido constantemente a procesos de degradación que ponen en peligro el desarrollo económico, social y ambiental de las naciones (Amézquita, 1998; Blaikie, 2016). Aunque el suelo está en constante formación es considerado un recurso no renovable (SEMARNAT, 2012) que es cada vez más escaso, ya que su formación involucra periodos de hasta miles de años y tanto su recuperación como la mejora de sus propiedades después de haber sido degradado es costosa y en algunos casos irreversible (CONAFOR, 2007). La importancia del suelo es reconocida por su función productiva, empero, se han subestimado funciones importantes entre las que se encuentran la producción de biomasa, secuestro y almacenamiento de carbono, soporte de las actividades humanas, fuente de materias primas, reserva de la biodiversidad, reserva de agua, filtro y transformación de nutrientes (De Regoyos, 2003; Gardi *et al.*, 2014). El suelo se encuentra en un equilibrio dinámico con el ambiente e interactúa constantemente con la biosfera; la actividad biótica le provee propiedades que soportan una forma de vida específica además tiene una influencia directa sobre la economía local, regional y mundial porque de él depende en gran medida, la supervivencia y bienestar de la población actual y futura (Oldeman, 1998; Gardi *et al.*, 2014). Así, el suelo es considerado la base de todos los ecosistemas terrestres y el medio físico en el que se desarrollan la mayoría de las actividades humanas (Porta *et al.*, 2004).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO (2015) por sus siglas en inglés, la degradación del suelo se define como un cambio en la salud del suelo lo que resulta en una disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios a sus beneficiarios, por lo que llega a tener consecuencias negativas sociales, económicas, ambientales y políticas (Torres *et al.*, 2003; Blackie, 2016). Una de las causas más frecuentes de la degradación del suelo es la erosión que afecta la fertilidad y la adecuada producción de cultivos al transformar las tierras en económicamente improductivas (Moreira, 1986; Jain y Kothiyari,

2000; Jebari *et al.*, 2012). La erosión es un proceso natural de pérdida de suelo de la capa superficial de la tierra debido a la acción de agentes naturales como el agua, el viento, el hielo y la gravedad; que desgastan, separan y remueven el suelo de su posición original y lo depositan en otro lugar. La erosión natural se ha producido a un ritmo lento desde la formación de la tierra lo que permitió al suelo adaptarse a las nuevas condiciones (Espinosa *et al.*, 2011), además, esto fue factor importante en su formación (Šurda, 2007). La erosión se considera como una manifestación de distintos procesos que se denominan erosivos, los cuales dependen de variables como el tipo de material parental, el relieve, grado y longitud de la pendiente del terreno, intensidad y duración de las precipitaciones, temperatura, escorrentía, cubierta vegetal y erodabilidad (Ampofo *et al.*, 2002; Comino *et al.*, 2016a). Sin embargo, las actividades productivas mal planeadas sin la utilización de técnicas de conservación o cualquier actividad que altere el suelo son una amenaza ya que provocan la aceleración de estos procesos erosivos (Nie *et al.*, 2013), los cuales perturban el delicado balance entre el suelo y su medio ambiente, ocasionando alteraciones drásticas en las características, propiedades y procesos del suelo (Espinosa *et al.*, 2011), esto afecta las capas superficiales donde se desarrollan las actividades agrícolas, pecuarias y forestales y da lugar a la pérdida de materia orgánica y a la degradación de su estructura (Moreira, 1986; Comino *et al.*, 2016a).

La inadecuada gestión de la tierra presenta sus raíces en la pobreza y marginación, las personas de zonas rurales explotan los recursos para lograr su supervivencia lo cual provoca la disminución de la productividad agrícola, así como el agotamiento y pérdida de sus medios de vida, esto da como resultado final una carencia excesiva de alimentos que inducen la emigración de las poblaciones humanas de zonas áridas, semiáridas o con altos niveles de degradación hacia zonas urbanas en busca de otro tipo de sustento (Kappelle, 2009; Blackie, 2016). Las desfavorables condiciones climáticas como la sequía o la lluvia intensa favorecen la baja productividad y por tanto favorecen también la pobreza al romper la estabilidad económica en la población, causando la fragmentación de las estructuras sociales y familiares; en este escenario los productores de zonas afectadas por la erosión intensifican la explotación de los escasos recursos con los que cuentan (Morales, 2005) formando así un ciclo de causas y consecuencias que continúa afectando a las poblaciones rurales y semiurbanas.

Los ecosistemas de tierras áridas, secas y subhúmedas son más vulnerables a la sobreexplotación y al manejo inadecuado dado que generalmente son recursos de mala calidad y baja productividad para el humano y que además son sometidos a una constante presión que sobrepasa su capacidad de recuperación.

Por esta razón, el presente estudio realiza un diagnóstico de la situación actual de la región sur del lago de Valsequillo la cual incluye a las localidades de San José Texaluca, Los Ángeles Tetela, La Libertad Tecola y San José El Rincón, dándole importancia a las características sociales, económicas y ambientales, así como a sus interacciones, con el fin de servir de precedente para encontrar caminos y/o medios y así lograr el adecuado manejo del recurso suelo y la implicación que presenta sobre los actores sociales.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Erosión del suelo

Desde que el hombre se volvió sedentario y comenzó a cultivar tuvo la necesidad de conocer el suelo, sus propiedades y su comportamiento, esto dio inicio a la agricultura hace aproximadamente 11000 años en los valles de Oriente Medio y hace aproximadamente 9000 años en Mesoamérica (Casas y Caballero, 1995). En este sentido, la agricultura constituyó una primera etapa en la historia de la erosión del suelo donde para este fin se arrasaron con grandes zonas de vegetación acelerando este proceso (McNeill, 2003; Blackie, 2016).

La revolución agrícola fue el origen de la segunda etapa de apogeo erosivo, a pesar de ser un componente esencial de las antiguas civilizaciones que marcó el desarrollo y crecimiento de la humanidad, el suelo desafortunadamente solo era visto desde el punto de vista utilitario (Barrios, 2006) y desde entonces se ha explotado sin visualizar la magnitud de su pérdida, así, se considera desde los años 50 como una tercera etapa que ha agudizado el problema a causa del crecimiento demográfico, la utilización de maquinaria pesada, la contaminación y todo lo que eso conlleva (McNeill, 2003; Comino *et al.*, 2016b).

1.2.1.1 Concepto de erosión

La erosión es la degradación y el transporte de suelo o roca en la superficie terrestre debido a la acción de la circulación de agua o hielo, el viento y los cambios térmicos. Esta incidencia depende de las propiedades del suelo, del tipo de vegetación y porcentaje de cobertura, así como de la topografía y las condiciones climáticas (Kappelle, 2009). El término de "erosión" a menudo se utiliza como un sinónimo de proceso de degradación de suelos, sin embargo, es necesario distinguir entre mecanismos de degradación como lo son la compactación, salinización o contaminación de los suelos y los de pérdida irreversible del recurso como lo son el sellado o la erosión (Gardi *et al.*, 2014).

1.2.1.2 Clasificación de la erosión

La erosión es un fenómeno cuya manifestación se da por un conjunto de procesos que dan lugar a la pérdida de este vital recurso, de acuerdo con los procesos o factores naturales que inciden en ella se clasifica en erosión hídrica y erosión eólica.

La erosión hídrica se define como la remoción laminar o en masa de los materiales del suelo debido a la acción del agua la cual puede deformar el terreno, dependiendo el tipo de erosión hídrica son consideradas la erosión laminar, la erosión en surcos y la erosión en cárcavas. Por otro lado, la erosión eólica se define como el desgaste y remoción del suelo debido a la acción del viento (Ruiz *et al.*, 1999, GEO-México, 2004; FAO,2015).

Dependiendo de la cantidad de suelo perdido los grados de erosión se clasifican de acuerdo a la **Tabla 1.1**.

Leve	Pérdida del 25% horizonte A
Moderada	Pérdida del 75% horizonte A
Fuerte	Pérdida total horizonte A y 25% horizonte B
Muy fuerte	Pérdida total horizonte A y 75% del horizonte B
Severa	Pérdida total horizontes A y B, aflora horizonte C
Muy severa	Pérdida total A, B y C, aflora la roca

Fuente: Ruiz *et al.*, (2012).

1.2.1.3 Causas y consecuencias de la erosión

La intensidad y la presencia o ausencia de los procesos de erosión dependen de factores naturales y antrópicos. Las causas naturales de la erosión permanecen relativamente constantes a través del tiempo, entre los factores naturales destacan el clima, la litología, el tipo de suelo y la vegetación, mientras que los factores antrópicos son múltiples y se agrupan en aquellos que modifican el paisaje, el uso y las cubiertas del suelo. (López, 2007), estas incluyen el cambio de uso de suelo (de forestal a agrícola, ganadero o urbano), las inadecuadas prácticas agrícolas, el sobrepastoreo de tierras y la deforestación (Amézquita, 1998; Gardi *et al.*, 2014).

Las comunidades vegetales influyen de diversas formas en el suelo; aportan materia orgánica, interceptan las gotas de lluvia y modifican su permeabilidad, sin embargo, la

cobertura vegetal representa uno de los parámetros fácilmente manipulables por la actividad humana (Casermeiro, 2001; Comino *et al.* 2016a), ya que los cambios en el uso del suelo de forestal hacia otro uso, la ampliación de áreas de cultivo o pastoreo, y prácticas tales como el abandono de tierras, promueven el incremento de las tasas de erosión (GEO-México, 2004; Bautista *et al.*, 2007). El suelo destinado a actividades agropecuarias, la urbanización y el crecimiento poblacional ejercen una presión considerable sobre la cobertura vegetal lo que resulta en deforestación. En todo el mundo amplias formaciones forestales han sido roturadas o quemadas con el fin de dejar tierras libres para el cultivo o pastoreo (Pérez y García, 2013).

En la agricultura el suelo con pendientes empinadas es fácilmente erosionado después de la cosecha, de esta forma amenaza la productividad de la tierra para posteriores periodos, aunado a una topografía accidentada y una infraestructura deficiente restringen la producción agrícola al dejar sin dinero en efectivo a la población y en la mayoría de los casos el aislamiento geográfico es acompañado de la marginación política y social (Buckles, *et al.*, 1999; Comino *et al.* 2016b). El sobrepastoreo por su parte, expone a el suelo a los agentes erosivos debido a la disminución de la cubierta vegetal por el pastoreo y a la remoción del suelo por el pisoteo, incrementando la escorrentía y por ende la erosión (GEO-México, 2004).

Existen procesos de erosión en zonas agrícolas y forestales, sin embargo, la cuantificación socioeconómica rara vez se considera (Mohammadkhan *et al.*, 2011), al mismo tiempo, esta falta de investigación explica la escasez de medidas y de políticas de prevención y control de la erosión, así como la reducida puesta en práctica de algún tipo de medidas por parte de agricultores y organismos de gestión del territorio (López, 2007).

1.2.1.4 Superficie afectada por la erosión

De acuerdo con la fuente de información consultada para conocer el porcentaje de superficie nacional afectada, existen grandes variaciones, ya que estas utilizan distintas metodologías para la determinación de la erosión (Bolaños *et al.*, 2016). Por un lado, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT por sus siglas, menciona que la superficie nacional afectada por erosión hídrica es de un 42% (SEMARNAT, 2012), esto con base en información cartográfica y modelos paramétricos. Sin embargo, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), reportó erosión hídrica en cerca del

52.86% de la superficie nacional (INEGI, 2014) y posteriormente reportó un 66% (INEGI, 2015), esto mediante técnicas de fotointerpretación de imágenes satelitales y puntos de verificación en campo. Por su parte, Bolaños *et al.*, (2016), mediante técnicas de fotointerpretación de imágenes satelitales de alta resolución, cartografía especializada e información de campo, determinó algún grado de afectación por erosión hídrica en un 76% del territorio, esto a una escala de 1:50000.

De acuerdo con SEMARNAT (2012), las entidades con mayor susceptibilidad a la erosión hídrica, tomando en cuenta tanto el tipo de suelo como el relieve, son Guerrero (79.3%), Puebla (76.6%), Morelos (75.2%), Oaxaca (74.6%) y el Estado de México (73.7%). En cuanto a los grados de erosión hídrica se tiene que 56.4% se encuentra en el nivel ligero, 39.7% en moderado, 3.7% fuerte y 0.2% extremo; las principales causas que originan este tipo de erosión son la pérdida de la capa superficial (25.3% del total de la superficie afectada), seguida por deformación del terreno (11.6%) y sedimentación (0.1%). Mientras que Bolaños *et al.* (2016) reporta que la erosión hídrica en el territorio nacional corresponde a 37.06% en nivel leve, 26.37% moderado, 5.79% fuerte y un 6.79% con erosión extrema. Asimismo, reporta que los estados más afectados por erosión apreciable en su superficie (erosión fuerte y extrema) son: Distrito Federal (51.12%), Tlaxcala (33.4%), Estado de México (22.06%) y Michoacán (21.41%); en este sentido, reporta que el estado de Puebla presenta erosión hídrica en un 81.65% de su superficie del cual el 16.44% es erosión apreciable y el porcentaje restante es erosión leve (39.69%) y moderada (25.52%) mientras que SEMARNAT (2012), reporta tan solo un 10.1% de la superficie estatal afectada por este tipo de erosión.

1.2.1.5 Legislación e historia de la investigación de la erosión

Un adecuado control de la erosión es vital para evitar la degradación, pérdida y sobreexplotación del medio ambiente, en especial en áreas de cultivo (Ampofo, 2002; López, 2007; Gardi *et al.*, 2014). El comienzo de los estudios sobre la pérdida del suelo se da a partir de la conferencia de Berna en 1913 en donde comienza el interés sobre los problemas de degradación del medio ambiente (Casermeiro, 2001). En el año de 1915 el Servicio Forestal de Estados Unidos realizó investigaciones sobre la erosión del suelo creándose en 1935 el Servicio de Conservación de Suelos el cual fue autorizado para aportar educación y asistencia técnica a los agricultores con el objetivo de asegurar

que la erosión del suelo fuera controlada para prevenir los impactos que sobre los rendimientos y rentabilidad de la agricultura se estaban produciendo (Bennett, 1947). En 1933 el Departamento de Agricultura de Estados Unidos comenzó un programa para crear estaciones experimentales que midieran la escorrentía y la erosión del suelo en parcelas uniformes y en pequeñas cuencas con amplio rango de suelos y técnicas de cultivo (De Regoyos, 2003).

En mayo de 1934 en Estados Unidos se originó una nube de polvo que alcanzó los 4500 metros de altura, oscureciendo el cielo desde Texas hasta la Costa Atlántica, este evento inspiró la creación del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos actualmente conocido como Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS) (Bennett, 1947; López, 2007).

Los primeros trabajos sobre la lluvia como agente causal de la erosión hídrica fueron realizados por Cook en 1936 quien identificó los factores de control de la pérdida del suelo (erodabilidad, erosión potencial de la lluvia, escorrentía y el efecto protector de la cubierta vegetal). Zingg en 1940 publicó la primera ecuación para calcular la pérdida del suelo considerando la inclinación y la longitud de la pendiente. Smith en 1941 añadió los factores de gestión de los cultivos y de medidas de conservación del suelo (Casermeiro, 2001). Browning en 1947 añade a la ecuación factores de erodabilidad, gestión del suelo y cubiertas, observando la necesidad de establecer un valor máximo de la pendiente en función de las técnicas de arado y gestión del suelo agrícola, posteriormente Smith y Whitt en 1948 presentan la primera ecuación completa de predicción de la pérdida de suelo anual para zonas de cultivo (López, 2007). Wicksmeir en 1958 estableció la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (USLE) lo que marcó una época de investigadores que aún utilizan la ecuación como herramienta predictiva (Casermeiro, 2001), esta ecuación es empírica, la cual permite determinar la pérdida media anual del suelo y ha resultado ser un modelo práctico y accesible. Se han hecho una serie de cambios que se han incorporado en la Ecuación Revisada de Pérdida de Suelo (RUSLE) (De Regoyos, 2003).

Existe una diversidad de tratados internacionales para el estudio, conservación y manejo de los suelos entre los que se encuentran: Carta mundial sobre el suelo en 1972, Política mundial sobre el suelo (1982), Agenda 21 del Convenio de la ONU para el medio ambiente y el desarrollo, Convenio de la ONU contra la desertificación (1994), 8ª reunión

de la CP8 de la convención de las naciones Unidas de la Lucha contra la Desertificación (2007) así como diversos informes como los realizados por la FAO y la Agenda de Desarrollo Post-2015, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe en su edición 2005 sobre Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales y el Atlas de suelos de América Latina y el Caribe.

1.2.1.6 Legislación y situación actual de la erosión en México y en la zona de estudio

En México en 1988 con la publicación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente (LGEEPA) y con las reformas aplicadas a esta en 1996 se comienza dar una perspectiva ambiental a la protección jurídica de los suelos, estableciéndose principios y criterios ambientales que deben aplicarse en las actividades que mayor impacto están teniendo sobre estos (GEO-México, 2004).

Aunado a esto, con el propósito de conservar los suelos se creó en 1986 la Ley Forestal que tiene la finalidad de proteger los terrenos forestales frente al pastoreo; en 2003 se creó la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Mexicana con el objetivo de regular y fomentar la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, el cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos, además de distintas Normas Mexicanas en materia de suelo entre las que destacan la NOM-060, NOM-062, NOM-021 y la NOM-020.

Otros informes también han estado encaminados a conocer la situación actual de los suelos en México como el Programa Nacional Manejo Sustentable de Tierras realizado por la Semarnat y su Informe sobre la situación del medio ambiente en México.

Asimismo, diversos estudios dan cuenta de la situación actual de la erosión en distintas regiones de la República Mexicana; Castelán *et al.*, 2009 identifican un alto grado de erosión en la Subcuenca del río San Marcos encontrando que las principales causas de la aceleración del proceso son el cambio de uso de suelo, falta de medidas agroecológicas, crecimiento demográfico y el limitado apoyo institucional de la región, también destaca el estudio realizado en Chiapas por Santacruz de León (2011), ya que se encontraron graves procesos de erosión debido a cambios de uso de suelo, esto se determinó por medio de la estimación de la erosión hídrica, el resultado fue que, a causa de la deforestación, la pérdida de suelo podría incrementarse hasta en un 900%. Otro

estudio en Nayarit realizado por Zamudio y Méndez en 2011, resalta la importancia de un adecuado manejo agrícola ante la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica. En este sentido, Castro en 2013 determina que el detrimento de la cubierta vegetal es la principal causa de la erosión hídrica, esto en la microcuenca de la Presa Madín en el Estado de México. Gómez *et al.*, 2016 evalúan la erosión en tres sistemas agrícolas distintos en el estado de Chiapas encontrando que los sistemas agrícolas con mayor cobertura vegetal como la milpa intercalada con árboles frutales son las opciones más eficientes para el control de la erosión. Por otro lado, Nájera *et al.*, 2016, evalúan el riesgo de erosión y pérdida de suelo mediante la ecuación universal de pérdida de suelo junto con sistemas de información geográfica encontrando que la erosión se presenta en mayor medida en laderas de sierra volcánica, asimismo menciona que la falta de planeación que incorpore criterios ambientales repercute en el deterioro acelerado del suelo.

En el área de estudio no se presenta investigación alguna, empero, en las zonas aledañas al área de estudio, existen ciertas investigaciones, aunque estas son muy escasas. En este sentido se puede mencionar el estudio realizado por Castelán *et al.*, 2016, quienes evalúan la producción de sedimentos y la pérdida de nutrientes en sistemas agrícolas representativos de la zona de Valsequillo, Puebla; encontrando que, la producción de sedimentos y escorrentía es mayor cuando el maíz no se encuentra asociado a otra especie lo cual favorece la erosión de los suelos.

1.2.2 Propiedades y características de los suelos.

El suelo es un cuerpo natural caracterizado por tener horizontes, resultado de las adiciones, pérdidas y transformaciones de energía y materia; capaz de soportar plantas arraigadas en un ambiente natural. Cada suelo presenta distintas características y propiedades, las cuales se dividen en morfológicas, químicas, físicas y biológicas.

Las características morfológicas son fácilmente observables y nos proporcionan información acerca de las condiciones del medio en que se ha desarrollado el suelo, estas se pueden describir en el campo por medio de la vista y el tacto (Porta *et al.*, 2004; Ortiz *et al.*, 2017). El color, la profundidad, el sistema radicular y el contenido de gravas rocas y piedras son propiedades que en principio nos pueden ayudar a determinar el estado de un suelo, a pesar de esto para una descripción más completa se determinan

otras características como la consistencia o compactación, porosidad, adhesividad/plasticidad, grietas y/o fisuras, concreciones y/o nódulos y finalmente manchas y/o fases brillosas (Ruiz *et al.*, 1999).

Las propiedades químicas se refieren a los componentes orgánicos e inorgánicos de los suelos, así como los fenómenos a los que da lugar la mezcla de éstos, se encarga de analizar los elementos acumulados en el suelo necesarios para el desarrollo de las plantas. La química de los suelos se encuentra relacionada con la fertilidad, la cual considera al suelo como un medio que permite el crecimiento de las plantas; con la mineralogía que determina la estructura química de la fase sólida del suelo y la microbiología del suelo la cual estudia las reacciones bioquímicas que ocurren en él (Cepeda, 1991, Ortiz *et al.*, 2017). Los considerados componentes importantes de la fertilidad del suelo son la disponibilidad de bases de intercambio y la acidez del suelo; cuando se produce un incremento en la concentración de bases en el suelo, aumenta la disponibilidad de algunos nutrientes esenciales, así como la productividad de la mayoría de las plantas cultivadas (Hirzel *et al.*, 2016); además también se toma en cuenta el nitrógeno total, el contenido de materia orgánica y el de carbonatos.

Por su parte, las propiedades físicas se refieren a la rigidez y la fuerza de sostenimiento del suelo, así como la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (Rucks *et al.*, 2004; Núñez *et al.*, 2016); siendo la textura, la densidad aparente y la estructura las principales propiedades causantes del cambio en la composición de la vegetación (Núñez *et al.*, 2016).

Finalmente, las propiedades biológicas generalmente se miden por el número de organismos que se encuentran en el suelo como lo son las bacterias, actinomicetos, hongos, algas, virus y protozoarios; estas colonias permanecen adheridas a las partículas y mejoran las propiedades físicas del suelo, mineralización y fijación de nitrógeno, además de ser un suministro directo de nutrientes (Ferrera y Alarcón, 2001; Ferreras, 2016). Otra forma de conocer el estadio microbiológico de un suelo es midiendo actividad enzimática ya que las enzimas en el suelo son esenciales para la transformación de energía y el ciclaje de nutrientes y son producidas por los microorganismos para catalizar reacciones bioquímicas (Henríquez *et al.*, 2014).

1.3 JUSTIFICACIÓN

La degradación del suelo provocada por los procesos erosivos, constituye un problema medioambiental de magnitud considerable a nivel mundial causada por prácticas inadecuadas de uso y manejo del suelo, resultado de factores sociales, económicos y de gobernanza ineficiente que ocasionan la pérdida del suelo; principal medio de subsistencia para la raza humana y los seres vivos, impactando de esta forma las dimensiones ambientales, sociales y económicas.

Las consecuencias del inadecuado uso del suelo son la pérdida de la parte más fértil dedicada a la agricultura, dando como resultado que los cultivos no logren los rendimientos adecuados para la supervivencia de las poblaciones rurales. Provoca también la pérdida o disminución de la biodiversidad y la cobertura vegetal, lo que favorece la proliferación de especies oportunistas, es decir, aquellas que predominan en ambientes degradados y en ecosistemas áridos y semiáridos.

La degradación del suelo por erosión no es solo un problema ambiental puesto que también presenta graves repercusiones en el ámbito social y económico, de ahí la importancia de este estudio, ya que los actores sociales más vulnerables son los campesinos que en un contexto cada vez más globalizado se ven obligados a realizar la sobreexplotación de sus tierras empobrecidas o migrar a zonas urbanas o al extranjero en busca de otro tipo de sustento.

En este sentido, la región sur de Valsequillo presenta factores orográficos diversos (relieves llanos, ondulados, y alomados) y un escaso régimen pluvial, caracterizado por precipitaciones concentradas en un período de tiempo muy corto, lo cual favorece su agresividad sobre el suelo. Aunado a esto, y a pesar de que esta región se encuentra en la periferia de la ciudad de Puebla a tan solo veinticinco minutos, se constituye como una zona fuertemente antropizada, con altos niveles pobreza y marginación. Por otro lado, esta zona presenta una alta actividad agrícola por lo que la disminución de la productividad provocada por la erosión afecta directamente a la estructura familiar de los habitantes de la zona.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.4.1 Preguntas de investigación

¿Cuáles son las consecuencias de los procesos erosivos sobre las características y propiedades de los suelos al sur de la presa Valsequillo?

¿Las condiciones socio-económicas en el campo están relacionados con la degradación y pérdida de los suelos a causa de los procesos erosivos?

1.5 HIPOTESIS

La ocurrencia de los procesos erosivos provoca la degradación de las características y propiedades morfológicas, físicas, químicas y biológicas de los suelos; y es un factor que impacta en las condiciones socio-económicas en el campo.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

Determinar la influencia de los procesos erosivos sobre las características y propiedades de los suelos en la región sur de la presa Valsequillo y su impacto sobre las condiciones socio-económicas de las comunidades de la zona de estudio.

1.6.2. Objetivos particulares

- Realizar la caracterización ambiental y socioeconómica de la zona de estudio.
- Diagnosticar la situación ambiental tomando en cuenta las características y propiedades de los suelos descritos.
- Diagnosticar por medio de encuestas a campesinos pertenecientes la zona de estudio la problemática socio-económica rural que ha sido promovida por la degradación de tierras.

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

La presente investigación es descriptiva, con elementos exploratorios, explicativos y correlacionales (Hernández-Sampieri, 2003). La metodología se dividió en dos fases. En primer término, la fase de gabinete se realizó con el fin de efectuar la caracterización histórico-ambiental y socioeconómica de la zona. La segunda fase, de campo y laboratorio se realizó para el conocimiento de los suelos, la problemática socio-económica y su diagnóstico (Figura 2.1).



Figura 2.1. Metodología utilizada en el presente estudio.

2.1. FASE DE GABINETE

2.1.1 Estudio de las condiciones ambientales.

Para conocer las condiciones histórico-naturales de la zona de estudio, se realizó la recopilación bibliográfica de toda la información disponible, obteniéndose de distintos medios como publicaciones realizadas, informes, mapas o cartas temáticas de fisiografía, geología, edafología, clima, vegetación y uso de suelo publicados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y el Anuario estadístico y geográfico de Puebla (2015b).

Posteriormente se corroboró la información obtenida mediante salidas al campo. Se realizaron los mapas tanto de la zona de estudio y la disposición de los perfiles; como los de geología, edafología, vegetación y uso de suelo.

2.1.2 Estudio de las condiciones socioeconómicas.

Se realizó la recopilación de estadísticas sobre los datos de población, distribución de la población en el área de estudio, estructura por sexos, migración, educación y vivienda de acuerdo a las bases de datos realizadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) mediante el Censo de Población y Vivienda 2010. Se anexó además el grado de marginación en las localidades y su cambio a través del tiempo, estos realizados por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) y el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo social (CONEVAL) mediante su Informe de Pobreza y Evaluación en el estado de Puebla (2012).

2.2 FASE DE CAMPO Y LABORATORIO

2.2.1 Estudio de los suelos

Se realizaron salidas al campo con el fin de constatar zonas con signos visibles de erosión y zonas con un estado conservado de suelo, posteriormente se realizó la elección de los perfiles más representativos del área, estos se dividieron tomando en cuenta sus condiciones naturales de relieve, geología, edafología y clima. De cada perfil seleccionado se anotaron los datos referentes a localización, altitud, condiciones del medio, relieve, tipo y uso del terreno y la descripción del perfil horizonte por horizonte.

La descripción de los perfiles se realizó mediante la aplicación de la metodología de la Guía para la descripción de suelos (FAO, 2009) así como el Manual para la descripción

de perfiles de suelos y evaluación del entorno establecido por Ruiz *et al.*, (1999) el cual es una herramienta que nos permite conocer las condiciones de los suelos *in situ* por medio de indicadores que señalan las características morfológicas (**Tabla 2.1**). Posterior a la descripción se colectó el número de muestras de acuerdo al número de horizontes que presentó cada perfil. Las muestras recolectadas se llevaron al Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas del Instituto de Ciencias, BUAP para la determinación de sus propiedades físicas y químicas.

Tabla 2.1. Características morfológicas determinadas en campo

Profundidad
Color
Sistema Radicular
Consistencia o compactación
Porosidad
Adhesividad y plasticidad
Grietas y/o fisuras
Contenido en gravas, rocas y piedras
Concreciones y/o nódulos
Manchas y/o Fases brillosas

Fuente: Elaboración propia (2016).

2.2.2 Análisis de los suelos

Se registraron las muestras con la identificación que se les dio al momento del muestreo, con datos de procedencia, fecha de muestreo, número de muestras y profundidad de colecta. Se procedió a secar las muestras al ambiente extendiendo la muestra sobre una superficie no contaminada con el propósito de mejorar la homogeneización, extendiéndose hasta obtener una profundidad no mayor a 2.5 cm en zona de sombra. Se realizó molienda del suelo extrayendo previamente el material orgánico y las rocas, se tamizó a través de aberturas de 2 mm de diámetro y se separó 1 kg de suelo para proceder a las determinaciones de las propiedades físicas y químicas.

Tabla 2.2. Propiedades físicas determinadas en laboratorio

Estructura	FAO, 2009
Densidad aparente	Método AS-03
Textura	Método AS-09

Fuente: Elaboración propia (2016)

Las propiedades físicas (**Tabla 2.2**) se evaluaron mediante la metodología enunciada en la NOM-021-SEMARNAT-2000 al igual que las propiedades químicas (**Tabla 2.3**).

La determinación de las propiedades biológicas consistió en tomar muestras de suelo de los perfiles ya determinados en los primeros 30 cm de profundidad, posteriormente fueron llevadas al Laboratorio de Microbiología de Suelos del Instituto de Ciencias BUAP, donde se prepararon para la realización de los análisis (**Tabla 2.4**).

Tabla 2.3. Propiedades químicas determinadas en laboratorio

Contenido de materia orgánica	Método AS-07
Nitrógeno total	Método AS-25
Acidez del suelo (pH)	Método AS-02
Porcentaje de carbonatos	Método AS-29
Capacidad de intercambio catiónico	Método AS-12

Fuente: Elaboración propia (2016)

El conteo de microorganismos se realizó mediante el método de diluciones seriadas, se cultivaron por el método de extensión en placa en medios específicos para cada grupo microbiano y se incubaron por un tiempo determinado. Se realizó el conteo de microorganismos y se reportó Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por mililitro de muestra (Mádigan *et al.*, 2015).

Tabla 2.4. Propiedades biológicas determinados en laboratorio

Actividad biológica a través de la deshidrogenasa
Conteo de microorganismos

Fuente: Elaboración propia (2016)

Se realizó además la técnica para la determinación de la actividad de la enzima deshidrogenasa (Henríquez *et al.*, 2014).

2.2.3 Evaluación de la erosión













Para comprobar los efectos de la erosión sobre los suelos se compararon los perfiles con distintos grados de erosión y con similitudes en cuanto a condiciones naturales; el perfil que se encontraba menos erosionado se utilizó como perfil patrón, el cual se comparó

con otros perfiles de iguales condiciones para conocer los cambios que han tenido en los horizontes.

Se realizó el diagnóstico del grado de erosión tomando en cuenta las pérdidas de los horizontes respecto al perfil patrón (Castelán, 2009), las categorías que se determinaron fueron la de leve, moderada, fuerte, muy fuerte, severa y muy severa (Ruiz, 2012).

Posteriormente para apreciar los cambios que han sufrido los suelos de la zona a causa de los procesos erosivos se dividieron los perfiles por contorno y conforme a grupos gráficos sobre sus características y propiedades morfológicas, físicas, químicas y biológicas, aunado a esto, con la finalidad de mejorar la visualización de los cambios, se realizó una simbología específica para el caso de las características y propiedades de sistema radicular y estructura las cuales se muestran en la **Tabla 2.5**.

Finalmente, para conocer la pérdida de suelo, se realizó la estimación por medio de la metodología de Ecuación Universal de la Pérdida de Suelos (EUPS) realizada por la FAO (1980) y modificada para nuestro país por SAGARPA (2005).

Tabla 2.5. Simbología de características sistema radicular y estructura del suelo			
Simbología del Sistema Radicular			
Tamaño		Desarrollo	
Raíces finas		Poco desarrollado	+
Raíces medias		Medianamente desarrollado	++
Raíces gruesas		Desarrollado	+++
Raíces muy gruesas		Muy desarrollado	++++
Simbología de la Estructura del suelo			
Particular		Migajosa	
Granular agregados pequeños		Subangular pequeña	
Granular agregados medianos		Subangular mediana	
Granular agregados grandes		Subangular grande	

Fuente: Elaboración propia (2017)

2.2.4 Pérdida de la cobertura vegetal

A partir de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se obtuvo la pérdida de cobertura vegetal en la zona mediante el análisis de tres imágenes satelitales históricas, a través de una clasificación supervisada, pues es el método recomendado cuando hay un conocimiento previo del área y porque permite la selección de las clases de cobertura vegetal de acuerdo al interés de la investigación (Chuvienco, 2002; Panagos *et al.*, 2014). Como Willinton *et al.*, (2013) mencionan, la clasificación de imágenes provenientes de sensores remotos permite monitorear cambios con precisión, en forma periódica y a menores costos que con métodos tradicionales. La cobertura vegetal es una variable muy importante ya que sus cambios afectan a los sistemas ecológicos con un impacto ambiental de dimensiones tanto locales como globales (Foody, 2002).

Las imágenes se adquirieron a partir de la plataforma Google Earth (© Google Inc., 2017); esta plataforma se eligió ya que se elimina la interferencia que causa la nubosidad, existe la disponibilidad de imágenes en las mismas épocas y además presentó la mejor resolución y claridad de imágenes ya que por ser una zona relativamente pequeña (1814 ha) no se obtuvo esta característica en otras plataformas. Las fechas de las imágenes clasificadas y comparadas son: 30 de diciembre 1986 (Landsat/Copernicus), 30 diciembre 2001 (Landsat/Copernicus/NASA) y 30 de diciembre de 2016 (©DigitalGlobe) las cuales presentaron una altura de visualización de 14.6 km aproximadamente.

El procesamiento de las imágenes se realizó con el programa ArcGis 10.2.2 (2014), en donde la primera etapa consistió en la georreferenciación de los ráster a través de puntos de control, posteriormente se procedió a recortar la máscara digital de acuerdo al área de estudio en cada una de las imágenes, realizando sobre éstas las clasificaciones.

Para la clasificación de las imágenes se consideraron cuatro grupos con base en INEGI (Carta Uso de suelo y Vegetación, Serie V) que abarcan las clases de cobertura vegetal más representativas de la zona: Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva, pastizal inducido, agricultura de temporal y áreas desprovistas de vegetación.

Reconocidas las áreas de interés, se utilizó el método de clasificación supervisada, el cual consistió en la selección por puntos de las áreas representativas de cada cobertura vegetal para obtener un valor espectral (Aguayo *et al.*, 2009), mediante el método

estadístico de máxima verosimilitud se construyó la firma espectral que permitió clasificar las imágenes según las categorías anteriormente definidas. El ráster obtenido fue transformado a polígono donde posteriormente se generalizaron las categorías por medio de la eliminación de los polígonos menores a 1000m², finalmente se realizó la cuantificación en ha de cada una de las categorías definidas en cada una de las tres imágenes satelitales.

Los grupos tomadas en cuenta se describen a continuación de acuerdo a INEGI (2015):

Bosque de encino asociado a vegetación arbustiva: Está caracterizado por comunidades arbóreas y subarbóreas integradas por múltiples especies del genero *Quercus* como los encinos y los robles, los cuales se ubican entre los 300 y 2800 msnm. Cuando un tipo de vegetación es alterado por diversos factores el resultado es una comunidad significativamente diferente a la original y con estructura y composición florística heterogénea, a esto se le llama vegetación secundaria, la cual presenta distintas fases consideradas conforme a las formas de vida presentes y su altura, las cuales son herbáceas, arbustivas y arbóreas.

Pastizal inducido: Comunidad dominada por gramíneas, la cual aparece como consecuencia del desmonte de cualquier tipo de vegetación, sin embargo, también puede establecerse en áreas agrícolas abandonadas. Los pastizales inducidos derivado de los bosques de encino son variados y no es rara la presencia de diversas hierbas, arbustos y árboles.

Agricultura de temporal: Se clasifica como tal cuando los cultivos que se siembran dependen del agua de lluvia, por lo que su éxito depende de la precipitación y capacidad del suelo para retener el agua. Estas áreas pueden combinarse con pastizales o con zonas de riego, lo que dificulta su separación, pero generalmente presenta dominancia de cultivos cuyo crecimiento depende del agua. Es común encontrar zonas abandonadas en donde especies naturales se han restablecido siendo clasificadas como vegetación natural de acuerdo a su fase sucesional.

Áreas desprovistas de vegetación: También se les puede llamar sin vegetación aparente o sin cobertura cuando la cobertura es menor al 10% y ha sido alterada, ya sea por un cambio total en la cobertura vegetal o por un proceso de transformación parcial.

Cabe aclarar que, para fines del presente, en esta clasificación se tomó en cuenta como áreas desprovistas de vegetación también a los asentamientos humanos en la zona.

2.2.5 Estudio socio-económico

Se elaboró una encuesta para determinar parámetros sociales y económicos de la zona de estudio, la cual fue comprobada por medio de una prueba piloto, ajustada y posteriormente aplicada a la muestra. La encuesta se realizó a 105 campesinos adultos de 60 años o más pobladores de la zona de estudio. La finalidad de la encuesta fue para conocer aspectos como obtención de ingresos, cambios en la actividad laboral de 30 años a la fecha, tipo de tenencia, cambios en la diversidad y superficie de cultivo de 30 años a la fecha, prácticas agrícolas, migración y nivel de conocimiento del estado de los suelos, con el objetivo conocer cómo, a través de los años ha sido el comportamiento de los habitantes en las localidades de estudio y con ello sacar una conclusión sobre las épocas en las cuales los habitantes de las localidades se dedicaban en mayor medida a la agricultura y en menor medida a otras actividades no ligadas al campo.

La encuesta fue de tipo estructurada dirigida, el muestreo realizado para la aplicación de encuesta fue de tipo aleatorio sistemático, la tipología de las preguntas fue de trece preguntas cerradas, cuatro mixtas y una abierta (**Anexo 1**); la encuesta se realizó de manera personal.

Para la determinación de la muestra de la población se utilizó la Fórmula para el cálculo de la muestra de poblaciones finitas (Herrera, s.f.) donde la población total de habitantes de 60 años o más es de 347 habitantes; con una seguridad del 95%, una precisión del 5% y una proporción esperada del 5% nos dio un total de 61 encuestas, sin embargo, para maximizar la probabilidad se aumentó a 105 el número de encuestas realizadas.

Finalmente, con la intención de darle validación científica se tomó una muestra del 10% de los encuestados y se les informó sobre los resultados obtenidos mediante la encuesta con el fin de corroborar los datos.

2.3 RELACIÓN SOCIOECONÓMICA-AMBIENTAL

Se realizó una matriz de correlación por medio del Coeficiente de correlación de Pearson, mediante el programa R Commander. El coeficiente de correlación de Pearson

de define como un índice que puede utilizarse para medir el grado de relación de variables y es independiente de su escala de medida. Se obtuvieron las relaciones entre los cambios en la producción agrícola, el índice de marginación por localidades y el promedio de la estimación de pérdida de suelo por contorno. La determinación metodológica de estos parámetros se define a continuación:

2.3.1 Índice de Factores Sociales

El Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2013) define a los indicadores como una herramienta cuantitativa o cualitativa que muestra indicios o señales de una situación, actividad o resultado, los cuales proporcionan información de manera simple, precisa y sin ambigüedad. Los indicadores de sostenibilidad han adquirido importancia en los últimos años ya que cubren la necesidad de dar imágenes sintéticas a un problema ambiental (Mendoza-Martínez, 2017). Estos indicadores son mecanismos que permiten articular los objetivos de la sustentabilidad, radicando en esto su importancia (García y Guerrero, 2006).

En esta investigación, se elaboró un Índice de Factores Sociales (IFS), el cual midió los cambios que ha sufrido la población de 30 años a la fecha en cuanto a situaciones como migración, cambios en la producción agrícola, cambios en la forma de sustento y el estado de los suelos de acuerdo a la percepción de los campesinos. Por medio de los resultados obtenidos en las encuestas se elaboraron los indicadores más importantes que nos ayudan a comprender la tendencia del fenómeno de cambio en la producción agrícola en la zona de estudio, para cada uno de estos indicadores se construyó una ficha metodológica con base en la metodología de los Indicadores de Sostenibilidad de Granada Sostenible (Granada, 2001). Esta metodología consiste en los siguientes ítems: nombre del indicador, definición, tipo de medición, variación de respuestas, fuente y observaciones (Granada, 2001) además se le sumó el ítem de área de trabajo de acuerdo con la metodología de Mendoza-Martínez (2017). La descripción de los indicadores se encuentra en el **Anexo 2**.

Las áreas de trabajo definidas en esta investigación fueron: actividad laboral, migración, cambio en los cultivos y estado de los suelos. A cada área, a sus indicadores y a cada variación de respuesta se les asignó una ponderación por convenio (Palacios, 2002), tomando el 100% de las respuestas obtenidas, de tal manera que cada variación

reflejara su importancia relativa en una escala de 1 a 100, como se muestra en la **Tabla 2.6**. Posteriormente, con la metodología definida, se realizó el índice para obtener un resultado por localidad.

Tabla 2.6. Ponderación por convenio de los indicadores

Área de trabajo	Tipo de indicador	Nombre del indicador	Variación de respuesta	Valor asignado a variación de respuesta	Valor Asignado al indicador	Total Índice
Actividad laboral	Compuesto	Cambios en la actividad laboral	Con Cambios	75%	25%	25%
			Sin Cambios	20%		
			No Respondió	5%		
Migración	Sencillo	Familiares en el extranjero	Si	75%	25%	25%
			No	20%		
			No Respondió	5%		
Cambios en los cultivos	Compuesto	Cambios en la extensión de tierra cultivada	Disminución	75%	50%	25%
			Sin Cambios	15%		
			Aumentó	5%		
			No respondió	5%		
	Compuesto	Cambios en la diversidad de cultivo	Disminución	75%	50%	
			Sin Cambios	15%		
		Aumentó	5%			
		No respondió	5%			
Estado de los suelos	Sencillo	Rendimiento de cultivo	Menores rendimientos	75%	20%	
			Sin cambios	15%		
			Mejores rendimientos	5%		
			No respondió	5%		
	Sencillo	Conocimiento del concepto de erosión	No lo conoce	75%	10%	
			Si lo conoce	20%		
			No respondió	5%		
	Sencillo	Apreciación de la erosión	Si aprecia	75%	10%	
			No aprecia	20%		
			No Respondió	5%		
	Sencillo	Profundidad del suelo de siembra	Disminución	75%	20%	
			Sin cambios	20%		
No respondió			5%			
Sencillo	Cobertura vegetal en el área	Disminución	75%	20%		
		Sin cambios	20%			
		No respondió	5%			
Sencillo	Cambios del área de siembra	Con Cambios	75%	20%		
		Sin Cambios	20%			
		No Respondió	5%			

Fuente: Elaboración propia (2016)

2.3.2 Índice de Marginación

A partir de los datos de Marginación por Localidad realizados por CONAPO (2010) se obtuvieron los índices de marginación en cada una de las localidades. La marginación por localidad considera la exclusión de la población al proceso de desarrollo tomando en cuenta indicadores de educación, vivienda y disponibilidad de bienes (CONAPO, 2012); el índice es obtenido por medio de la técnica estadística de Análisis de Componentes Principales mediante una matriz de correlación. Estos índices dan un valor que va de -1.83197 considerado como grado de marginación muy bajo, hasta 8.34515, considerado como grado muy alto.

2.3.3 Promedio de la estimación de pérdida de suelo

En este apartado, mediante los datos obtenidos de los perfiles se realizó un promedio por contorno asociado a ejido/localidad, es decir, los contornos se encuentran asociados a una localidad, ya que los perfiles que forma parte de esos contornos se obtuvieron dentro de los ejidos pertenecientes a cada localidad. De esta manera se obtuvo un valor promedio de la estimación de pérdida de suelo por contorno.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), USLE por sus siglas en inglés, se diseñó como una herramienta de trabajo para los conservacionistas (Figueroa *et al.*, 1991) y es un modelo empírico o indirecto para medir la pérdida de suelo (Castro, 2013). Cuya aplicación se propone para áreas relativamente homogéneas de clima, suelo, relieve y vegetación haciendo extrapolable la información procedente (González del Tánago, 1991).

CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza al sur del municipio de Puebla y al noreste del municipio de Tzicatlacoyan. La región sur de Valsequillo la cual fue delimitada mediante un buffer de 1000 metros al sur del lago y conforme a curvas de nivel, comprende 4 localidades: San José El Rincón, La Libertad Tecola, Los Ángeles Tetela y San José Texaluca **(Figura 3.1)**, presenta una superficie aproximada de 1820 ha de los cuales 1070 ha pertenecen al municipio de Puebla y 750 ha al municipio de Tzicatlacoyan.

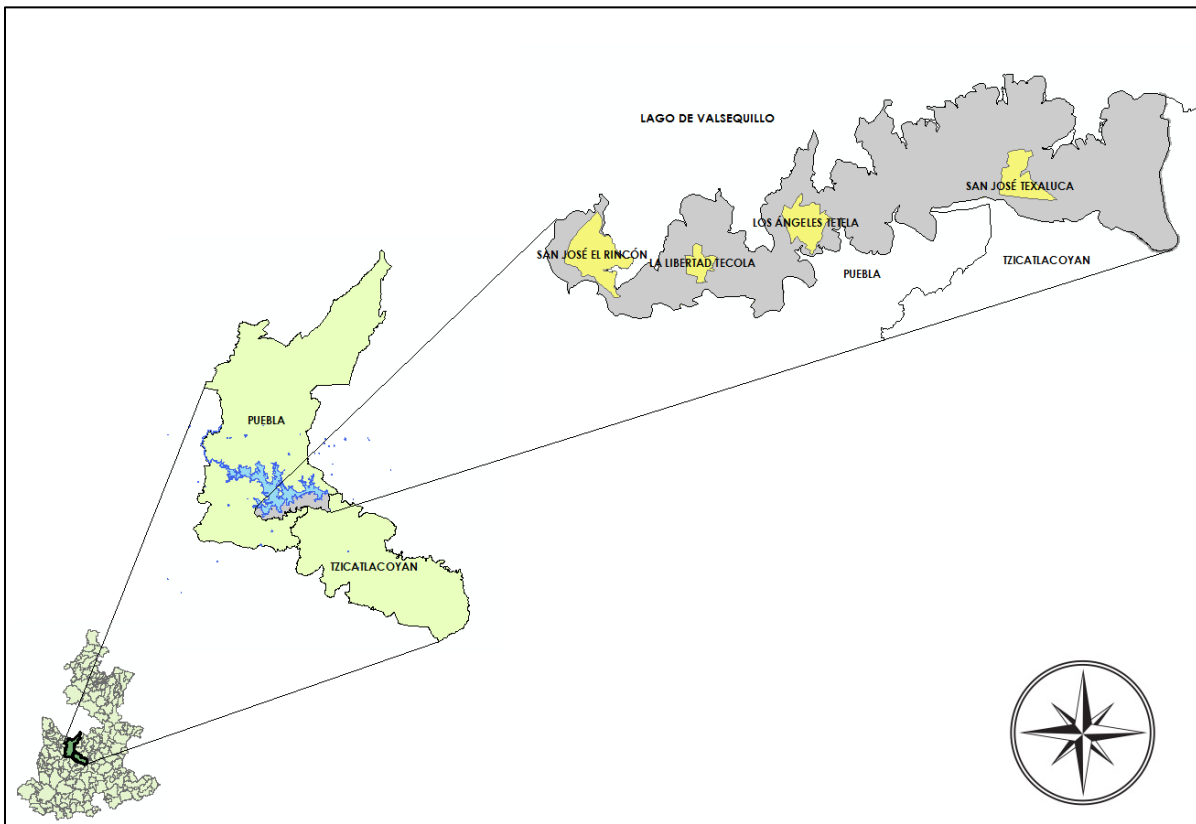


Figura 3.1. Localización del área de estudio.

Las localidades estudiadas que pertenecen a el municipio de Puebla son: San José El Rincón enmarcada en las coordenadas 18° 53' 06'' de Latitud Norte y 98° 11' 56' de Longitud Oeste a una altura de 2060 msnm. La Libertad Tecola en las coordenadas 18° 88' 36'' de Latitud Norte y 98° 18' 33'' de Longitud Oeste a una altura de 2060 metros sobre el nivel del mar y finalmente la localidad de Los Ángeles Tetela en las coordenadas

18° 18' 94'' de Latitud Norte y 98° 16' 50'' de Longitud Oeste a una altura de 2100 metros sobre el nivel del mar. En el municipio de Tzicatlacoyan se ubica la localidad de San José Texaluca dentro de las coordenadas 18° 89' 75'' de Latitud Norte y 98° 13' 22'' de Longitud Oeste a una altura de 2120 msnm.

Fisiográficamente el área pertenece a la zona neovolcánica de México conocida también como Eje Neovolcánico Transversal, la cual es una de las provincias con mayor variación de relieve y tipos de rocas junto con la Sierra Madre del Sur. El Eje Neovolcánico se extiende desde el Océano Pacífico hasta el Golfo de México constituyendo una faja de 130 km siendo la cordillera más alta del país. La zona pertenece además a la subprovincia fisiográfica de Lagos y Volcanes de Anáhuac que es la más extensa de las 14 subprovincias que integran el Eje Neovolcánico. La subprovincia se extiende de poniente a oriente desde Toluca, México hasta Quimixtlán, Puebla. Su topografía es de llanura, vaso lacustre (Carta fisiográfica escala: 1:250000, INEGI).

La geología de la zona es de la era Cenozoica de los periodos Cuaternario, Terciario Superior y Terciario Inferior (**Figura 3.2**), con material parental de las clases de rocas ígneas extrusiva y sedimentarias. La unidad Ti(cg) está constituida por conglomerados rojos y calcáreos con interdigitaciones y superposiciones de paquetes de areniscas, en su mayoría los conglomerados son masivos y bien compactados compuestos por fragmentos de calizas, areniscas y rocas ígneas, contiene además intercalaciones de derrames de basalto y andesita pertenecientes a la formación del Balsas en el Paleógeno. En la unidad Ts(igeb) son comunes los basaltos y depósitos piroclásticos de composición básica del terciario superior presentándose en color gris oscuro en forma de derrames y bloques. Finalmente, en la unidad Q(s) referente al periodo Cuaternario se forman suelos producto de la erosión regional sobre las rocas preexistentes (Castelán, 2009) (Carta geológica escala: 1:250000, INEGI, Serie II).

En cuanto a la edafología, en la zona los suelos son textura media y fina. Predomina el suelo Cambisol con 1400 ha ubicado sobre rocas sedimentarias de poca profundidad a causa de las pendientes, son suelos con subsuelo estructurado que han perdido las características de la roca original casi por completo o presentan capa superficial oscura mayor a 25 cm de espesor de textura media, su suelo secundario es Phaeozem háplico y el terciario Cambisol cálcico; su fase física es dúrica con una capa fuertemente cementada por sílice dentro de los 50 cm de profundidad. Finalmente, los Phaeozem son

el suelo menor representado en la zona de estudio con solo 420 ha, su textura es fina de fase física lítica (Carta geológica escala: 1:250000, INEGI, Serie II) (**Figura 3.3**).

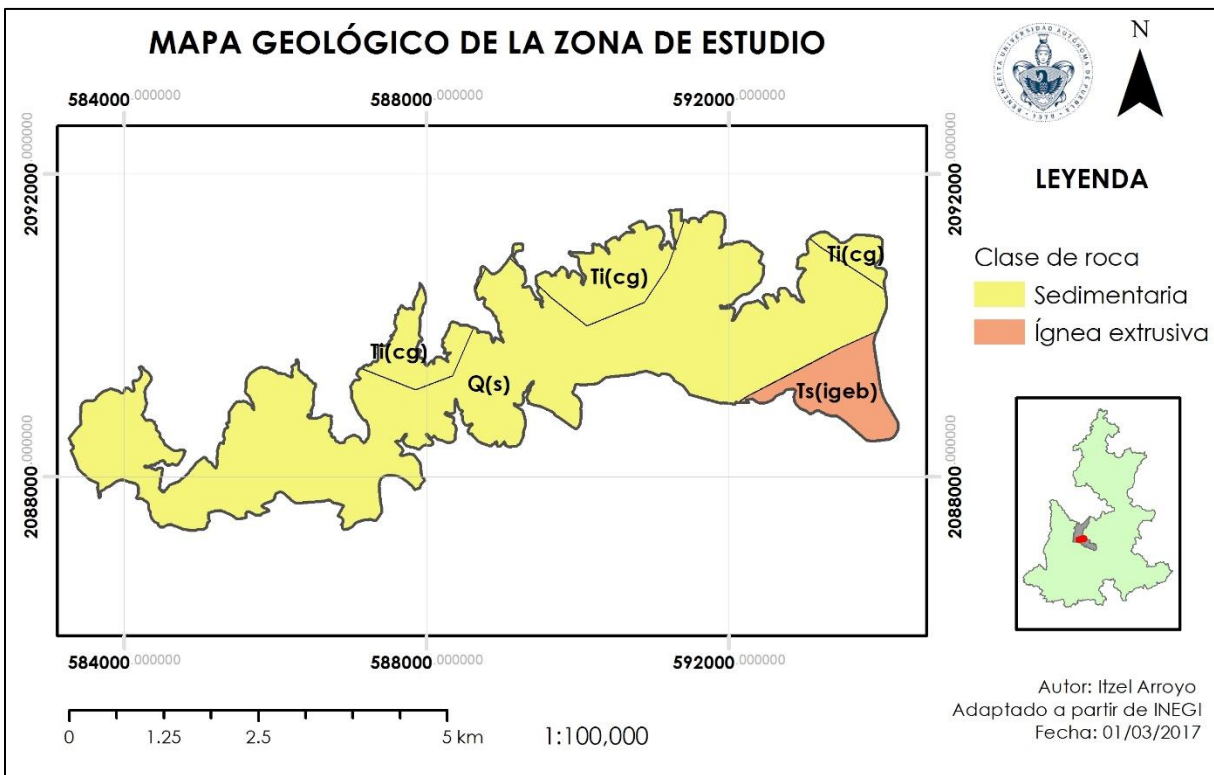


Figura 3.2. Mapa geológico de la zona de estudio.

El clima de esta zona es templado subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2014), en este tipo de clima la lluvia se presenta en verano con precipitaciones que fluctúan entre los 600 y 1000 mm anuales. La temperatura promedio anual de la zona es de 16°C, mientras que la precipitación promedio anual es de 900 mm. La lluvia se da en los meses de mayo a octubre con una precipitación mensual promedio de 137 mm mientras que en los meses de estiaje el promedio mensual es de 12.45 mm (Estación Echeverría).

La vegetación natural ha sufrido una constante degradación principalmente por la deforestación y el pastoreo, presenta bosques de encino asociados con pastizal inducido y agricultura (**Figura 3.4**). El uso potencial de la tierra es no apta para cultivo a causa de las pendientes, mientras que el uso potencial pecuario está clasificado para el aprovechamiento de la vegetación natural diferente del pastizal (INEGI, 2015).

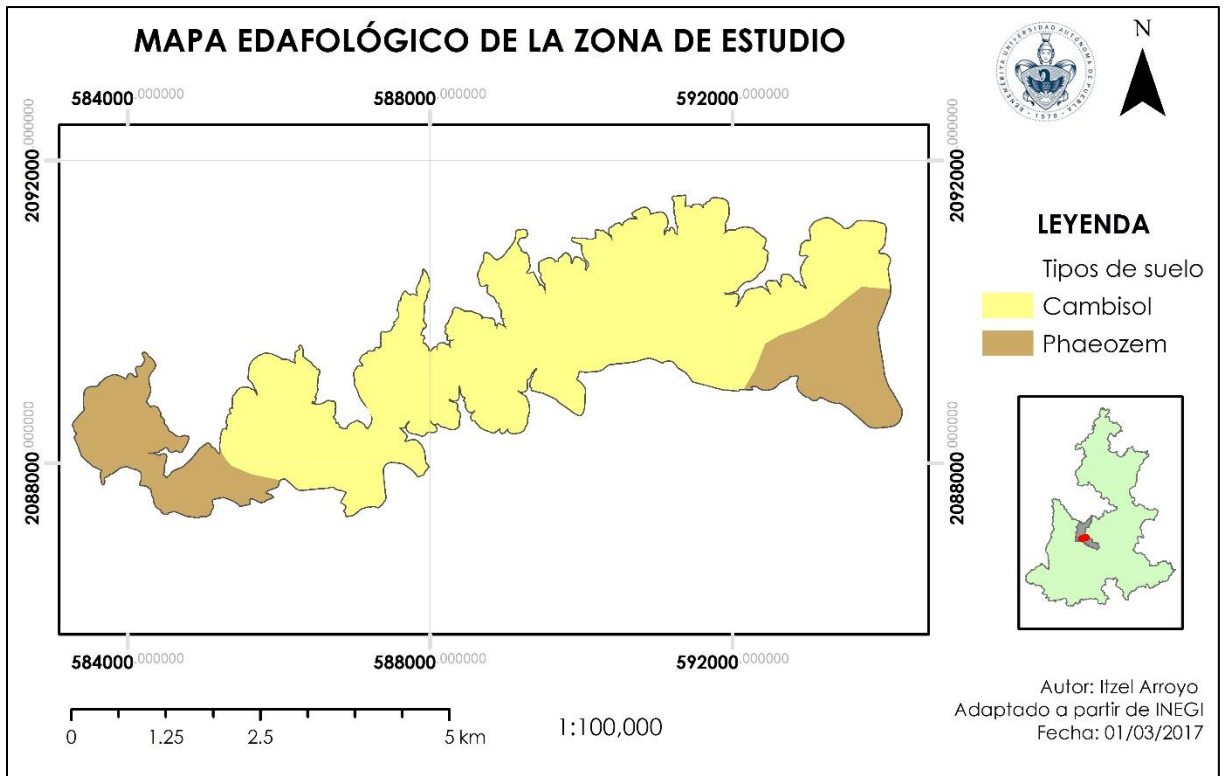


Figura 3.3. Mapa edafológico de la zona de estudio.

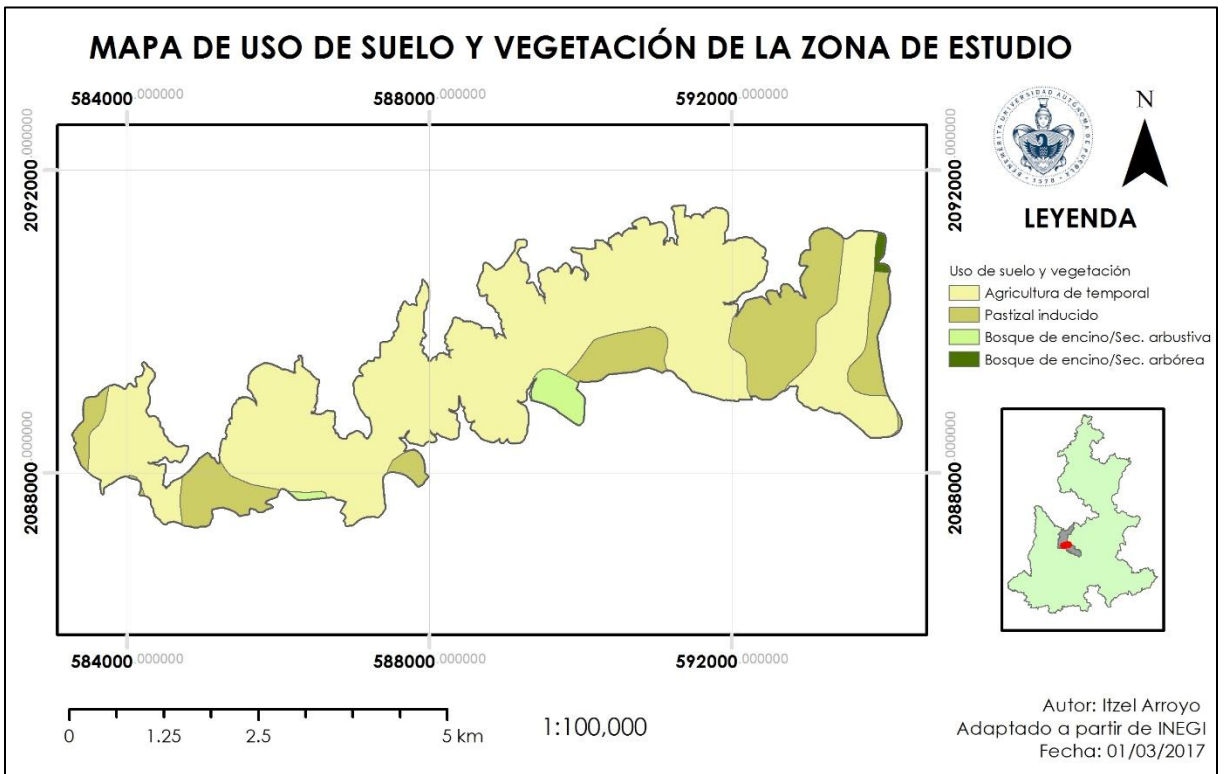


Figura 3.4. Mapa de uso de suelo y vegetación de la zona de estudio.

3.2 CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010 (INEGI, 2010) la población en el área de estudio creció de 3998 habitantes en el año 2000 a 4609 habitantes, estos distribuidos en las 4 localidades, de los cuales 3833 pertenecen al municipio de Puebla y 776 al municipio de Tzicatlacoyan (**Tabla 3.1**). Por otro lado, conforme al Consejo Nacional de Población se considera localidad rural a la población menor a los 2500 habitantes, por lo tanto, todas las localidades presentes en el área de estudio son clasificadas como rurales.

Localidad	Número de habitantes	Porcentaje
Los Ángeles Tetela	2237	49%
La Libertad Tecola	667	14%
San José el Rincón	929	20%
San José Texaluca	776	17%

Fuente: Elaboración propia (2016) con información de INEGI

El Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2013), refleja que ha aumentado el índice de marginación en el estado de Puebla, pues en el año 2000 se encontraba en el lugar número siete a nivel nacional y pasó al lugar número seis para el año 2010 -en el Índice de Marginación Estatal, CONAPO toma en cuenta indicadores de carencias, déficit en educación, vivienda, ingresos monetarios y distribución de la población-. Estos datos concuerdan con los datos obtenidos del Índice de Marginación por Localidad realizado por el mismo Consejo (2013) ya que en el año 1995 -dato más antiguo disponible-, la localidad de Los Ángeles Tetela tenía un grado de marginación bajo, mientras que en el 2010 -dato más reciente disponible- este se volvió alto (**Tabla 3.2**). La Libertad Tecola pasó de grado medio a alto; en cuanto a la localidad de San José El Rincón, el grado paso de ser muy alto a alto, finalmente San José Texaluca ha permanecido con un alto grado de marginación en dicho periodo.

En este sentido, en el estado de Puebla existen 5102 localidades, de las cuales 3748, es decir el 73.5% presentan un grado de marginación alto en donde habitan 2 517 262 de personas, casi la mitad de la población estatal; únicamente el 1.33% de las localidades presentan un grado de marginación muy bajo el cual se encuentra concentrado en su

mayoría en las grandes urbes o en colonias cercanas a la capital que de acuerdo con INEGI son consideradas hasta este momento como localidades (INEGI,2010).

Por otro lado en temas de vivienda, se encontró, que del 100% de las viviendas habitadas en la zona de estudio las cuales suman un total de 996 viviendas, el 26% no dispone de agua entubada, el 15% no dispone de drenaje, un 1.4% no disponen de energía eléctrica, así como un 1.4% presenta piso de tierra y el 20% viviendas no disponen de sanitario/escusado; es decir, alrededor del 63% de las viviendas habitadas en la zona no cuenta con alguno de los servicios básicos de vivienda necesarios para una vida saludable; además hay un total de 5.3% de viviendas que no presentan ningún bien como televisión, computadora, refrigerador o lavadora. Resalta que en los casos de las viviendas habitadas que no presentan agua entubada y sanitario/escusado se presentan porcentajes mucho mayores, comparados tanto con la media estatal como con la media nacional, pues la falta de agua entubada es del 16.2% a nivel estatal y del 11.3% a nivel nacional; mientras que la falta de sanitario/escusado en las viviendas es de 4.2% para el estado de Puebla y 4.1% para la República Mexicana. En cuestiones de falta de drenaje y energía eléctrica los porcentajes se encuentran ligeramente más bajos a nivel estatal y nacional, siendo en el caso de la falta de drenaje de 15.1% en el estado y 10.9% en el país, mientras que la falta de energía eléctrica afecta al 1.9% del estado y 1.8% a la nación (INEGI, 2010).

Aunado a esto la zona presenta un promedio de ocupantes por vivienda de 4.5 habitantes, siendo mayor tanto a la media nacional, como a la estatal las cual son de 3.9 y 4.2 ocupantes por vivienda (INEGI, 2010).

La estructura de la población por sexos es mayoritariamente femenina con un total de 2346 mujeres y 2263 hombres. La población económicamente activa es de 1558 habitantes de los cuales en su mayoría son hombres (1259) y en menor medida mujeres (299).

El 58% de la población no cuenta con servicios de salud como IMSS, ISSSTE nacional/ estatal o Seguro Popular y en materia de educación, el 11.5% de la población mayor a 15 años es analfabeta, un 66% mayor a la media nacional la cual era de 6.9% en el mismo año (2010), mientras que el 14% de la población mayor a 15 años no cuenta con la primaria completa teniendo un grado promedio de escolaridad de 5.69, que de igual forma difieren con la media nacional del año 2010 la cual era de 8.6 (INEGI, 2010).

Por otro lado, solo 12 personas mayores a 3 años hablan alguna lengua indígena. En cuanto a la migración de acuerdo con datos del Censo General de Población y Vivienda (2010) solo 4 personas de 5 años o más nacidas en las localidades de estudio son residentes en otra entidad o país.

Tabla 3.2. Cambios en el índice de marginación de las localidades de la zona de estudio.

Año	1995	2010
Localidad	Grado de marginación	Grado de marginación
Los Ángeles Tetela	Bajo	Alto
La Libertad Tecola	Medio	Alto
San José el Rincón	Muy Alto	Alto
San José Texaluca	Alto	Alto

Fuente: Elaboración propia 2017

3.3 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

3.3.1 Descripción de los perfiles de suelos y análisis de laboratorio

Se determinaron 16 perfiles con distintos signos visuales de erosión dentro de 5 contornos. Cada uno de los contornos tiene las mismas características de relieve, geología, y clima; originalmente las unidades de suelo presentaban la misma clasificación, sin embargo, actualmente son clasificadas de forma diferente a causa de los efectos de la erosión antrópica.

El área de estudio, la disposición de los puntos de muestreo, así como la de las localidades se muestran en la **Figura 3.5**

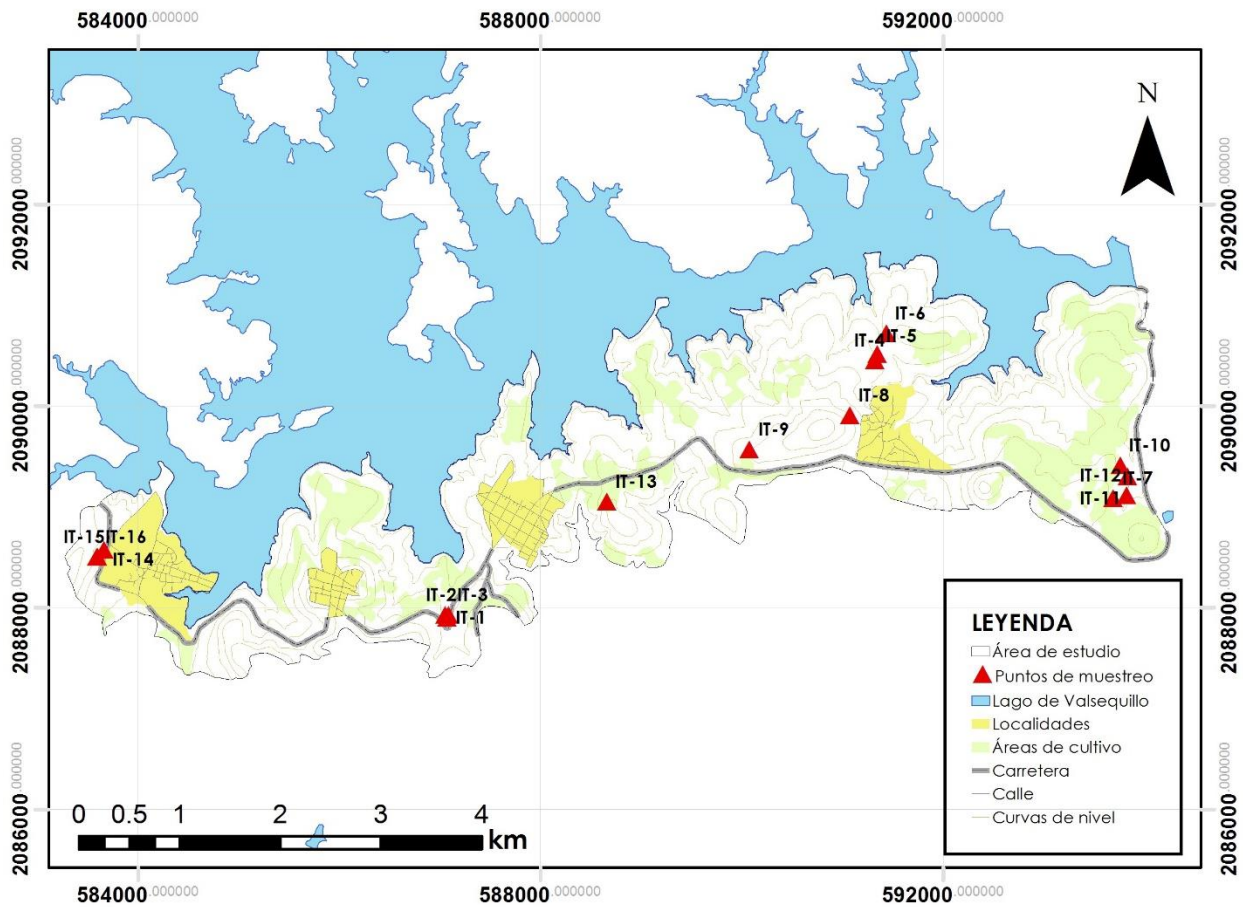


Figura 3.5. Localización de los perfiles de suelo en el área de estudio.

3.3.1.1 Descripción y análisis de los perfiles del Contorno 1.

Este contorno se encuentra localizado al sureste de la localidad de San José Texaluca, la roca que predomina es del tipo ígnea extrusiva básica del periodo terciario superior, suelo primario Phaeozem. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad; el uso de suelo es agricultura de temporal, asociado a pastizal inducido y zonas de transición de bosque de encino (INEGI, 2015b) donde predominan especies arbóreas como Junípero (*Juniperus fláccida*) (**Figura 3.6**), Truenafrente (*Tecoma stans*), Encino (*Quercus ilex*) y Cazahuate (*Ipomoea arborescens*). Los suelos son de formación *in situ* con un relieve ondulado. Los perfiles que integran este contorno son el perfil IT-07, Perfil IT-11, Perfil IT-10 y finalmente el Perfil IT-12 los cuales presentan una pendiente del 12% y se describen a continuación:



Figura 3.6. Fotografía de un Junípero (*Juniperus fláccida*).

Descripción del Perfil IT-07

Localidad: San José Texaluca

Fecha de descripción 05/07/16

Descripción: Perfil de referencia (**Tabla 3.3**)

Coordenadas: 18°53'29.6'' Latitud Norte, 98°06'37.6'' Longitud Oeste

Altitud: 2170 msnm.

El suelo de este perfil representa al perfil original de este contorno, es un suelo conservado que ha estado protegido por una vegetación arbórea y arbustiva, sin

embargo, en áreas aledañas al sitio de descripción la erosión es de tipo laminar, en surcos y en cárcavas. Existe influencia humana moderada, presenta un drenaje interno drenado y un drenaje externo muy drenado hay afloramiento de gravas en un 5%, sin la presencia de piedras y rocas.

Tabla 3.3. Descripción del Perfil IT-07

Horizonte	Profundidad(cm)	Descripción
A	0-24	Color pardo muy oscuro. Separación entre horizontes definida, ligeramente húmedo al tacto, estructura granular de agregados pequeños y medianos, muy poroso, consistencia ligeramente compacta, ligeramente plástico y adhesivo, sistema radicular muy desarrollado de raíces finas, medias y gruesas, presenta una reacción fuerte al HCL.
B	24-43	Color gris muy oscuro. Separación entre los horizontes definida, estructura subangular de agregados pequeños y medianos, poroso, consistencia compacta, no adhesivo y plástico, sistema radicular desarrollado con raíces finas, medias y gruesas, sin reacción al HCL y una presencia de gravas menor al 5%
BC	43-70	Color gris oscuro. Separación entre horizontes difusa , ligeramente húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medianos, poroso, consistencia compacta, adhesivo y medianamente plástico, sistema radicular desarrollado de raíces finas y medias, sin reacción al HCL y presencia de gravas en un 5%-10%.
BC₂	70-90	Color gris. Separación entre horizontes difusa, ligeramente húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medianos, medianamente poroso, consistencia muy compacta, adhesivo y poco plástico, sistema radicular medianamente desarrollado de raíces finas y medias, con reacción al HCL y presencia de gravas menor al 5%
D	90-124	Color pardo pálido. Separación entre horizontes difusa, poco húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medianos en su mayoría y pequeños, poco poroso, consistencia extremadamente compacta. La estructura es inestable ya que es una capa endurecida de color pardo claro con abundantes carbonatos, la reacción muy fuerte al HCL se da en partes donde el carbonato está presente en forma de micelios concentrados mientras que en el color pardo no presenta ninguna reacción al HCL.

Fuente: Elaboración propia (2016)

El perfil cuenta con cinco horizontes que tienen una profundidad mayor a un metro **(Figura 3.7)**. La pendiente, la erodabilidad y el drenaje excesivo son factores limitantes en esta zona. La vegetación que predomina en las áreas conservadas es de tipo bosque

que va de un 80-100% de cubrimiento (**Figura 3.8**). El uso de suelo es de pastizal inducido con presencia de uso pecuario en la zona.



Figura 3.7. Perfil IT-07.

Suelo conservado el cual presenta un horizonte A bien diferenciado.

Tabla 3.4. Parámetros físicos del Perfil IT-07								
Horizonte	Profundidad	Color		DA g/cm³	% de las Fracciones			Clase Textural
		seco	húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
A	0-24 cm	10YR 2/2		0.92	38	34	28	Franco arcilloso
		Pardo muy oscuro	10YR 2/1 Negro					
B	24-43 cm	10YR 3/1 Gris muy oscuro	10YR 2/2 Pardo muy oscuro	1.08	38	20	42	Arcilloso
BC	43-70 cm	10YR 4/1 Gris oscuro	10YR 4/2 Gris muy oscuro	1.12	38	24	38	Franco arcilloso
BC₂	70-90 cm	10YR 5/1 Gris	10YR 4/2 Pardo grisáceo oscuro	1.08	32	26	42	Arcilloso

Fuente: Elaboración propia (2016)

Los resultados de la **Tabla 3.4** muestran valores de densidad aparente (DA) en el horizonte A menor a 1g/cm^3 , valor que corresponde con el contenido de materia orgánica (MO) y nitrógeno (N) (**Tabla 3.5**), los cuales decrecen conforme aumenta la profundidad.



Figura 3.8. Zona del Perfil IT-07
Cobertura vegetal arbórea.
La zona adyacente presenta erosión muy severa.

La fracción arena se mantiene también constante a través del perfil, con valores entre 38% y 32%; sin embargo, la fracción arcillosa, en el horizonte A, con respecto al B es mucho menor, lo que se debe a la erosión selectiva de las fracciones más finas por efecto de las aguas de escorrentía, provocando un enriquecimiento relativo de la fracción limo en el horizonte A, donde su valor es superior al de esta fracción en el horizonte B.

Tabla 3.5. Parámetros químicos del Perfil IT-07

Horizonte	M.O.	N total	CaCO ₃	pH	Bases cambiables				CIC
					Ca	Mg	K	Na	
A	10.0	0.60	7.4	7.3	34.5	9.7	0.94	0.18	25.8
B	1.6	0.07	2.2	7.5	28.4	10	0.41	0.17	30.2
BC	2.2	0.11	2.4	7.5	20.3	9.9	0.19	0.17	23.6
BC₂	1.3	0.18	2.8	7.5	30.9	7.4	0.19	0.27	21.6

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la **Tabla 3.5**, se aprecia un pH neutro, el contenido en carbonatos en los horizontes inferiores es clasificado como medio, sólo el horizonte A presenta valores elevados, lo que debe ser causado por el lavado de carbonatos de las partes altas, ya que este perfil, por el estado de conservación normalmente debe tener valores más bajos de carbonatos en el horizonte A.

Descripción del Perfil IT-11

Localidad: San José Texaluca 2

Fecha de descripción 05/08/16

Descripción: Perfil de referencia (**Tabla 3.6**)

Coordenadas: 18°53'36.6'' Latitud Norte, 98°06'32.7'' Longitud Oeste

Altitud: 2152 msnm.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
AB	0-10	Color gris pardo muy oscuro. Separación entre los horizontes difusa, ligeramente húmedo al tacto, estructura subangular de agregados pequeños y medianos, poroso, consistencia compacta, adhesivo y plástico, sistema radicular desarrollado con raíces finas y medias, sin reacción al HCL.
B	10-28	Color gris pardo oscuro. Separación entre los horizontes difusa, seco al tacto, estructura subangular de agregados medianos, medianamente poroso, consistencia muy compacta, adhesivo y plástico, sistema radicular medianamente desarrollado con raíces medias y gruesas, sin reacción al HCL, presenta abundantes grietas.
BC	28-40	Color pardo. Separación entre los horizontes clara, casi seco al tacto, estructura subangular de agregados medianos, medianamente poroso, consistencia muy compacta, poco adhesivo y ligeramente plástico, sistema radicular poco desarrollado con raíces medias, sin reacción al HCL, con presencia de abundantes fisuras. La estructura parece una estructura similar a la de la roca, con muchas gravas de color gris y puntos negros.
D	40-100+	Color pardo pálido. No efervescer, existen gravas con partes carbonatadas que se presentan en forma de venas.

Fuente: Elaboración propia

El perfil presenta erosión de tipo laminar. En total tiene tres horizontes los cuales en conjunto tienen una profundidad de 40 cm (**Figura 3.9**). Existe influencia humana fuerte, presenta un drenaje interno drenado y un drenaje externo muy drenado, hay afloramiento de gravas en 50%, y piedras en un 20%. La pendiente, el contenido en gravas, la erodabilidad y la erosión son factores limitantes en esta zona. La vegetación adyacente es boscosa asociada a pastizal, con una cobertura de 60-80% (**Figura 3.10**). El uso de suelo es agroforestal y pastoril con presencia de ganado mayor y menor y agricultura de temporal.



Figura 3.9. Perfil IT-11.
Suelo que aún conserva un horizonte AB

Horizonte	Profundidad	Color		DA g/cm ³	% de las Fracciones			Clase Textural
		seco	húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
AB	0-10	10YR 3/2 Gris pardo muy oscuro	10YR 2/2 Pardo muy oscuro	0.86	40	42	18	Franco
B	10-28	10YR 4/2 Gris pardo oscuro	10YR 2/2 Pardo muy oscuro	1.07	20	30	50	Arcilloso
BC	28-40	10YR 4/3 Pardo	10YR 3/3 Pardo oscuro	0.97	40	32	28	Franco arcilloso

Fuente: Elaboración propia (2016)

El porcentaje en las fracciones de textura de este perfil varía, presentándose un mayor porcentaje de arena en los horizontes AB y BC, mientras que en el caso del horizonte B tiene un mayor porcentaje de arcilla (**Tabla 3.7**), la DA en el horizonte superficial es menor a 1g/cm^3 debido a su contenido en MO y N el cual es considerado como muy alto, el pH es neutro, con un contenido en carbonatos bajo menor de 2%. En el caso del horizonte B, el contenido en MO es medio y el contenido en N se clasifica como alto, moderadamente ácido con bajo contenido en carbonatos.

Tabla 3.8. Parámetros químicos del Perfil IT-11

Horizonte	M.O.	N total	CaCO ₃	pH	Bases cambiables				CIC
					Ca	Mg	K	Na	
AB	8.3	0.35	2	6.9	26.5	8.5	0.80	0.15	24
B	2.7	0.18	1.8	6.3	25.2	8.3	0.53	0.19	23.4
BC	1.3	0.07	2	5.9	26.8	8.3	0.63	0.28	19.4

Fuente: Elaboración propia (2016)

Finalmente, el horizonte BC presenta un contenido en MO y N total bajo, su pH es moderadamente ácido con bajo contenido en carbonatos (**Tabla 3.8**).



Figura 3.10. Vegetación arbórea cercana al Perfil IT-11

Descripción del Perfil IT-10

Localidad: San José Texaluca 2

Fecha de descripción 05/08/16

Descripción: Perfil de referencia **(Tabla 3.9)**

Coordenadas: 18°53'40.1'' Latitud Norte, 98°06'35.1'' Longitud Oeste

Altitud: 2148 msnm.

El perfil presenta erosión de tipo laminar y en cárcavas. Exhibe dos horizontes con una profundidad menor a 40 cm **(Figura 3.11)**. Existe influencia humana fuerte, con un drenaje interno drenado y un drenaje externo muy drenado, hay afloramiento de gravas en 40%, piedras 20% y rocas 5%.

Tabla 3.9. Descripción de los horizontes del Perfil IT-10

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
BC	0-14	Color gris pardo claro. Separación entre los horizontes difusa, ligeramente húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medianos, muy poroso, consistencia compacta, medianamente adhesivo y medianamente plástico, sistema radicular medianamente desarrollado de raíces finas, presenta una ligera reacción al HCL y una presencia de gravas del 5%-10%.
BC₂	14-36	Color gris pardo claro. Separación entre los horizontes difusa, ligeramente húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medianos, poroso, consistencia compacta, medianamente adhesivo y medianamente plástico, sistema radicular poco desarrollado con raíces finas, con reacción ligera al HCL, presencia de gravas en un 5%. Este horizonte presenta gravas de caliza que efervescen en forma violenta
D	36-85+	Color pardo muy pálido. La roca presenta una primera capa con un espesor de 23cm, este material tiene una efervescencia fuerte, es de color blanco-grisáceo, se encuentra fuertemente meteorizada y como las rocas están en forma de lajas se observa como las raíces finas y medias penetran entre ellas. La segunda capa con mayor espesor tiene un color pardo con puntos de color negro y no presenta reacción al HCL.

Fuente: Elaboración propia 2016

La profundidad, el contenido en gravas y piedras, la erodabilidad, la baja fertilidad, el drenaje externo excesivo y la erosión son factores limitantes en esta zona. La vegetación adyacente es de tipo pastizal **(Figura 3.12)** con una cobertura de 20-40%. El uso de suelo

es agroforestal y pastoril con presencia de ganado mayor y menor y agricultura de temporal.



Figura 3.11. Perfil IT-10.
Suelo donde se presentan dos tipos de horizontes BC.

Horizonte	Profundidad	Color		DA g/cm ³	% de las Fracciones			Clase Textural
		seco	húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
BC	0-14 cm	10YR 6/2 Gris pardo claro	10YR 4/2 Gris pardo oscuro	1.12	62	26	12	Franco arenoso
BC₂	14-36 cm	10YR 6/2 Gris pardo claro	10YR 4/2 Gris pardo oscuro	1.25	66	20	14	Franco arenoso

Fuente: Elaboración propia (2016)

En cuanto a la textura, la fracción con mayor porcentaje presente en ambos horizontes del perfil es la de arena, seguida por el limo. Por otro lado, la DA es mayor a 1g/cm³ en todos los horizontes (**Tabla 3.10**).

Los análisis químicos indican un contenido medio en MO en el horizonte BC y un contenido muy bajo en el horizonte BC₂. El contenido de N es bajo para el horizonte BC y muy bajo para el horizonte BC₂. Ambos horizontes son moderadamente alcalinos con

contenido de carbonatos medio para el horizonte BC y bajo para el horizonte BC₂ (**Tabla 3.11**).



Figura 3.12. Vegetación aledaña al Perfil IT-10, de tipo pastizal.

Tabla 3.11. Parámetros químicos del Perfil IT-10

Horizonte	M.O.	N total	CaCO ₃	pH	Bases cambiables				CIC
					Ca	Mg	K	Na	
BC	1.9	0.07	2.2	7.6	26.3	9.8	0.64	0.17	42.4
BC ₂	0.5	0.14	1.8	7.6	22.7	6.5	0.46	0.15	32.6

Fuente: Elaboración propia (2016)

Descripción del Perfil IT-12

Localidad: San José Texaluca 2

Fecha de descripción 15/08/16

Descripción: Perfil de referencia (**Tabla 3.12**).

Coordenadas: 18°53'30.5'' Latitud Norte, 98°06'33.0'' Longitud Oeste

Altitud: 2168 msnm.

El perfil muestra erosión de tipo laminar y en cárcavas. Presenta dos horizontes (BC y C) con una profundidad de 56 cm (**Figura 3.13**). Existe influencia humana muy fuerte, con un drenaje interno drenado y un drenaje externo muy drenado, hay afloramiento de gravas en 50% y de piedras menor al 5%. La profundidad, contenido en gravas, la

erodabilidad, la baja fertilidad y la erosión son factores limitantes en esta zona. La vegetación adyacente es de tipo pastizal con una cobertura que va de 0-20% (**Figura 3.14**). El uso de suelo es agropecuario y pastoril con presencia de ganado mayor y menor y agricultura de temporal.

Tabla 3.12. Descripción de los horizontes del Perfil IT-12

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
BC	0-10	Color pardo grisáceo claro. Separación entre los horizontes difusa, seco al tacto, estructura particular y subangular de agregados pequeños, poroso, consistencia friable, poco adhesivo y poco plástico, sistema radicular poco desarrollado de raíces finas y medias. Presenta una reacción leve al HCL.
C	10-56	Color pardo muy oscuro. Separación entre los horizontes difusa, húmedo al tacto, estructura subangular poco desarrollada y poco estable de agregados medianos y pequeños, poroso, consistencia medianamente compacta, medianamente adhesivo y plástico, sistema radicular medianamente desarrollado con raíces finas y medias, con reacción fuerte al HCL, contenido en gravas menor al 5%.
D	56-90+	Color pardo. Separación entre los horizontes difusa, húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medianos y pequeños, medianamente poroso, consistencia compacta, adhesivo y plástico, sistema radicular medianamente desarrollado con raíces finas y medias, con reacción muy fuerte al HCL.

Fuente: Elaboración propia (2016)



Figura 3.13. Perfil IT-12.
En el suelo aún persiste un horizonte BC

Los valores de la DA, 1.25 y 1.09 g/cm³ son adecuados para el bajo contenido en MO; la textura presenta valores muy bajos para las fracciones limo y arcillas en BC, lo cual indica un proceso erosivo selectivo, con pérdidas en estas fracciones que favorecen el enriquecimiento relativo de la fracción arenosa en BC de 68% (Tabla 3.13).

Tabla 3.13. Parámetros físicos del Perfil IT-12

Horizonte	Profundidad	Color		DA	% de las Fracciones			Clase Textural
		Seco	húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
BC	0-10	10YR 6/2 Pardo grisáceo claro	10YR 4/2 Gris pardo oscuro	1.25	68	18	14	Franco arenoso
C	10-56	10YR 2/2 Pardo muy oscuro	10YR 4/2 Gris pardo oscuro	1.09	52	28	20	Franco arcillo arenoso

Fuente: Elaboración propia (2016)

En el caso contenido en MO es medio para el horizonte BC de este perfil y muy bajo para el horizonte C, característico de suelos afectados por la erosión, que presentan una influencia humana muy fuerte y una cobertura vegetal degradada con un porcentaje de cubrimiento mínimo, de 0 al 20%; (Ver descripción del Perfil IT-12). Respecto al contenido de N total, el horizonte BC presenta contenido muy bajo y el horizonte C bajo.

Tabla 3.14. Parámetros químicos del Perfil IT-12

Horizonte	M.O.	N total	CaCO ₃	pH	Bases cambiables				CIC
					Ca	Mg	K	Na	
BC	1.6	0.04	1.6	7.3	20.5	4.7	0.22	0.15	7.8
C	0.5	0.07	2.6	7.6	25.7	7.8	0.33	0.20	9.8

Fuente: Elaboración propia (2016)

El pH es neutro en el horizonte superficial con un contenido en carbonatos bajo y el pH del horizonte C es moderadamente alcalino con un contenido en carbonatos medio (Tabla 3.14).



Figura 3.14. Área adyacente al Perfil IT-12.
Presenta una cobertura vegetal menor al 20%

3.3.1.2 Descripción y análisis de los perfiles del Contorno 2.

Se localiza al noroeste de la localidad de San José Texaluca. La geología de este contorno está representada por roca sedimentaria del periodo cuaternario con suelo primario Cambisol y clima templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad; el uso de suelo es de agricultura de temporal y la pendiente es del 13%. La formación del suelo es *in situ* y presenta un relieve ondulado.



Figura 3.15. Espino (*Crataegus monogyna*)

En la zona existe la presencia de árboles como el Espino (*Crataegus monogyna*) (**Figura 3.15**), Cazahuate (*Ipomoea arborescens*) y Truenafrente (*Tecoma stans*). Los perfiles que forman parte de este contorno son el Perfil IT-04, Perfil IT-06 y Perfil IT-05, los cuales se describen a continuación:

Descripción del Perfil IT-04

Localidad: San José Texaluca

Fecha de descripción 24/06/16

Descripción: Perfil de referencia (**Tabla 3.15**).

Coordenadas: 18°54'14.5'' Latitud Norte, 98°07'58.4'' Longitud Oeste

Altitud: 2118 msnm.

Tabla 3.15. Descripción de los horizontes del Perfil IT-04

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
AB	0-27	Color gris pardo oscuro. Separación entre horizontes difusa, ligeramente húmedo al tacto, estructura subangular de agregados pequeños y medianos, muy poroso, consistencia compacta, plástico y adhesivo, sistema radicular desarrollado de raíces finas y medias, sin reacción al HCL.
BCca	27-39	Color pardo grisáceo. Separación entre horizontes difusa, ligeramente húmedo al tacto, estructura subangular de agregados pequeños y medianos, poroso, consistencia ligeramente compacta, adhesivo y medianamente plástico, sistema radicular de raíces finas y medianamente desarrollado, con fuerte reacción al HCL causado por la presencia de abundante contenido en gravas de caliza en alrededor de un 30%
C	39-78	Color pardo claro. Separación entre horizontes difusa, húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medianos, medianamente poroso, consistencia ligeramente compacta, medianamente plástico y adhesivo, sistema radicular poco desarrollado de raíces finas y medias, con muy fuerte reacción al HCL.
D	78-100	Color gris. Separación entre horizontes difusa, húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medios, medianamente poroso, consistencia compacta, plástico y adhesivo, sistema radicular muy poco desarrollado de raíces finas, con muy fuerte reacción al HCL.

Fuente: Elaboración propia (2016)

El perfil presenta erosión de tipo laminar. Muestra cuatro horizontes que en conjunto tienen una profundidad de un metro (**Figura 3.16**). Existe influencia humana muy fuerte, el drenaje interno es drenado mientras que el externo es muy drenado, hay afloramiento de gravas en un 5%, piedras en un 5%, sin rocas. La pendiente, la erosión y el drenaje son factores limitantes en esta zona. La vegetación adyacente es de tipo pastizal que va de un 60-80% de cobertura vegetal (**Figura 3.17**). El uso de suelo es forestal y pastoril con presencia de ganado mayor y menor.



Figura 3.16. Perfil IT-04. Perfil que conserva su horizonte AB

Los horizontes AB y BCca presentan un mayor porcentaje de arenas, mientras que el horizonte C su mayor porcentaje es el de las arcillas. En el caso de los tres horizontes presentan una DA mayor a 1g/cm^3 , sin embargo, el horizonte BCca presenta una DA mayor al resto de los horizontes (**Tabla 3.16**).

La MO presente se considera como alta para el horizonte AB y baja para el resto de los horizontes de este perfil. El pH de los horizontes BCca y C es moderadamente alcalino, concordando con los niveles medios de contenido en carbonatos.

Por otro lado, el pH del horizonte AB es neutro y es clasificado como bajo para el resto de los horizontes, con contenido en carbonatos bajo y medio respectivamente al incrementarse la profundidad. En el caso del N total se considera muy alto para el horizonte AB, alto para el horizonte BCca y medio para el horizonte C. (**Tabla 3.17**).

Tabla 3.16. Parámetros físicos del Perfil IT-04

Horizonte	Profundidad	Color		DA g/cm ³	% de las Fracciones			Clase Textural
		seco	húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
AB	0-27 cm	10YR 4/2 Gris pardo oscuro	10YR 3/1 Gris muy oscuro	1.03	46	32	22	Franco
BCca	27-39 cm	10YR 5/2 Pardo grisáceo	10YR 4/2 Pardo grisáceo oscuro	1.14	50	24	26	Franco arcillo arenoso
C	39-78 cm	10YR 6/2 Gris pardo claro	10YR 4/1 Gris oscuro	1.04	26	32	42	Arcilloso

Fuente: Elaboración propia (2016)



Figura 3.17. Zona del Perfil IT-04
Presenta un alto porcentaje de cobertura vegetal de pastizal
con presencia de arbustos

Tabla 3.17. Parámetros químicos del Perfil IT-04

Horizonte	M.O.	N total	CaCO ₃	pH	Bases cambiables				CIC
					Ca	Mg	K	Na	
AB	5.1	0.18	1.6	6.6	26.6	3.9	0.52	0.15	27.8
BCca	1.3	0.25	4.4	7.5	22	3.5	0.30	0.56	29.4
C	0.8	0.11	5.4	7.5	24.5	7.2	0.43	0.23	23.4

Fuente: Elaboración propia (2016)

Descripción del Perfil IT-06

Localidad: San José Texaluca

Fecha de descripción 24/06/16

Descripción: Perfil de referencia (**Tabla 3.18**),

Coordenadas: 18°54'23.1'' Latitud Norte, 98°07'54.4'' Longitud Oeste

Altitud: 2101 msnm.

El perfil presenta erosión de tipo laminar y en cárcavas. Este perfil presenta únicamente un horizonte C de tan solo 20 cm (**Figura 3.18**).

Tabla 3.18. Descripción del horizonte del Perfil IT-06

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C	0-20	Color gris pardo claro. El perfil está descrito en un área de erosión muy severa el color es pardo rojizo, efervece fuertemente al HCL. La consistencia es suelta con un abundante contenido en gravas y piedras en la superficie y al interior. La capa se encuentra muy influenciada por los arrastres del área, su sistema radicular es poco desarrollado de raíces finas, la estructura que presenta es subangular de agregados pequeños y medianos.

Fuente: Elaboración propia (2016)

Existe influencia humana muy fuerte, presenta un drenaje interno drenado y un drenaje externo muy drenado hay afloramiento de gravas en un 40%, piedras en un 35%, sin rocas La pendiente, la profundidad, el contenido en gravas y piedras, así como la erosión y el drenaje son factores limitantes en esta zona. La vegetación adyacente es de tipo pastizal que va de un 0-20% de cobertura vegetal. El uso de suelo es de agricultura de temporal; sin embargo, ha sido abandonado por el estado de degradación que se observa en la **Figura 3.19**.



Figura 3.18. Perfil IT-06. Suelo con erosión muy fuerte

Tabla 3.19. Parámetros físicos del Perfil IT-06

Horizonte	Profundidad	Color		DA g/cm ³	% de las Fracciones			Clase Textural
		seco	húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
C	0-20 cm	10YR 6/2		1.15	46	32	22	Franco
		Gris pardo	10YR 5/2 Gris pardo					
		claro						

Fuente: Elaboración propia (2016)

El único horizonte de este perfil (C) presenta un porcentaje de arena mayor al de las demás fracciones debido al proceso de erosión causado por las aguas de escorrentía que eliminan fundamentalmente las fracciones más ligeras. La DA es mayor a 1g/cm³ típica de suelos pobres en MO (Tabla 3.19).

Tabla 3.20. Parámetros químicos del Perfil IT-06

Horizonte	M.O.	N total	CaCO ₃	pH	Bases cambiables				CIC
					Ca	Mg	K	Na	
C	0.3	0.07	18	7.6	23.8	4.4	0.33	0.20	18.6

Fuente: Elaboración propia (2016)



Figura 3.19. Zona del Perfil IT-06 la cual ha sido abandonada.

El contenido en MO es considerado como muy bajo, mientras que el de N total como bajo. El pH del suelo es moderadamente alcalino acorde al contenido de carbonatos considerado como alto propio de horizontes profundos que ahora han quedado expuestos debido a la pérdida de los horizontes superficiales (**Tabla 3.20**).

Descripción del Perfil IT-05

Localidad: San José Texaluca

Fecha de descripción 24/06/16

Descripción: Perfil de referencia (**Tabla 3.21**).

Coordenadas: 18°54'16.4'' Latitud Norte, 98°07'57.6'' Longitud Oeste

Altitud: 2109 msnm.

El suelo de la zona del perfil presenta erosión de tipo laminar y en cárcavas. Al igual que el perfil anterior, presenta solo horizonte C (**Figura 3.20**). Existe influencia humana muy fuerte, hay afloramiento de gravas en un 35%, piedras en un 30% y rocas en un 30%. La pendiente, la profundidad, el contenido en gravas, rocas y piedras, así como la erosión y el drenaje exterior excesivo son factores limitantes en esta zona. La vegetación adyacente es de tipo pastizal que va de un 0-20% de cobertura (**Figura 3.21**).

Tabla 3.21. Descripción de los horizontes del Perfil IT-05

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C	0-3	Color pardo amarillento. El perfil está descrito en un área de erosión muy severa donde el perfil representante es el IT-04 el cual es el prototipo de suelo en este sector. La profundidad de 3 cm es lo que se pudo muestrear de un horizonte C que queda atrapado en montículos protegidos por el pasto y arbustos que forman islotes aislados donde predomina el material de origen intercalado con una capa delgada de material carbonatado que es el único que presenta reacción al HCL. Su sistema radicular es poco desarrollado de raíces finas y su estructura es subangular de agregados pequeños y medianos.

Fuente: Elaboración propia (2016)



Figura 3.20. Perfil IT-05.

Suelo severamente erosionado con solo un horizonte.

Tabla 3.22. Parámetros físicos del Perfil IT-05

Horizonte	Profundidad	Color		DA g/cm ³	% de las Fracciones			Clase Textural
		seco	húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
C	0-3 cm	10YR 6/3 Pardo amarillento	10YR 4/4 Pardo amarillento oscuro	1.29	76	22	2	Franco arenoso

Fuente: Elaboración propia (2016)

El horizonte C de este perfil presenta un alto porcentaje de arena y un porcentaje de arcilla menor al 2%, realmente, el suelo ya no existe, se ha perdido totalmente, el área presenta erosión severa y muy severa. La DA es mayor a 1g/cm³ (Tabla 3.22).

El contenido de MO se considera como bajo, mientras que el de N total como muy bajo propio de estos horizontes que han quedado expuestos a la superficie por la pérdida de los horizontes superficiales. El pH de este horizonte es moderadamente alcalino con un contenido en carbonatos considerado como bajo. (Tabla 3.23).

Tabla 3.23. Parámetros químicos del Perfil IT-05

Horizonte	M.O.	N total	CaCO ₃	pH	Bases cambiables				CIC
					Ca	Mg	K	Na	
C	0.8	0.04	1	7.4	21.6	7.5	0.59	0.18	17.4

Fuente: Elaboración propia (2016)



Figura 3.21. Zona del Perfil IT-05 donde no se observa cobertura vegetal.

3.3.1.3 Descripción y análisis de los perfiles del Contorno 3.

El contorno se encuentra localizado al noreste de la comunidad de Los Ángeles Tetela, la geología de este contorno es de roca sedimentaria del tipo conglomerado, periodo cuaternario con suelo primario Cambisol y clima templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad. El suelo es de formación *in situ*, con relieve ondulado y alomado. El uso de suelo es de agricultura de temporal y la pendiente es del 12%. Existe presencia de árboles como Encino (*Quercus ilex*) (Figura 3.22), Cazahuate (*Ipomoea*

arborensis) y Junípero (*Juniperus fláccida*). Los perfiles que integran este contorno son el Perfil IT-13, Perfil IT-09 y el Perfil IT-08 los cuales se describen a continuación:



Figura 3.22. Encino (*Quercus ilex*)

Descripción del Perfil IT-13

Localidad: Los Ángeles Tetela

Fecha de descripción 12/09/16

Descripción: Perfil de referencia **(Tabla 3.24)**.

Coordenadas: 18°53'29.2'' Latitud Norte, 98°09'29.6'' Longitud Oeste

Altitud: 2124 msnm.

El suelo en la zona del perfil presenta erosión de tipo laminar. Se observan tres horizontes que tienen una profundidad total de más de 90 cm **(Figura 3.23)**. Existe influencia humana fuerte, con un drenaje interno drenado y un drenaje externo muy drenado, no hay afloramiento de gravas, rocas o piedras.

La pendiente, el drenaje externo excesivo y la erosión en el área son factores limitantes en esta zona. La vegetación adyacente es de tipo pastizal con una cobertura del 40-60%, sin embargo, en zonas aledañas al perfil se observa una cobertura vegetal disminuida **(Figura 2.24)**. El uso de suelo es agropecuario con presencia de ganado mayor y menor, así como agricultura de temporal.

Tabla 3.24. Descripción de los horizontes del Perfil IT-13

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A_p	0-18	Color pardo oscuro. Separación entre los horizontes difusa, húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medianos y pequeños, poroso, consistencia compacta, medianamente adhesivo y medianamente plástico, sistema radicular muy desarrollado de raíces finas y medias. Sin reacción al ácido clorhídrico.
AB	18-45	Color pardo grisáceo muy oscuro. Separación entre los horizontes difusa, húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medianos y pequeños, muy poroso, consistencia compacta, medianamente adhesivo y plástico, sistema radicular muy desarrollado con raíces finas y grandes, sin reacción al ácido clorhídrico.
B	56-90+	Color pardo grisáceo oscuro. Separación entre los horizontes difusa y lineal, ligeramente húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medianos y grandes, medianamente poroso, consistencia muy compacta, muy adhesivo y muy plástico, sistema radicular desarrollado con raíces finas y medias, sin reacción al ácido clorhídrico.

Fuente: Elaboración propia (2016)

El porcentaje de arenas es mayor en todos los horizontes del perfil ya que han perdido gran parte de sus fracciones pequeñas, el segundo porcentaje mayor es el de arcillas en el horizonte B probablemente debido al depósito de la fracción arcillosa a causa del agua que las transporta a los horizontes profundos (**Tabla 3.25**).



Figura 3.23. Perfil IT-13. Suelo con un horizonte Ap en zona de cultivo

Tabla 3.25. Parámetros físicos del Perfil IT-13

Horizonte	Profundidad	Color		DA g/cm ³	% de las Fracciones			Clase Textural
		seco	húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
A_p	0-18	10YR 3/3 Pardo oscuro	10YR 3/1 Gris muy oscuro	1.07	72	18	10	Franco arenoso
AB	18-45	10YR 3/2 Gris pardo muy oscuro	10YR 2/2 Pardo muy oscuro	1.11	68	18	14	Franco arenoso
B	56-90+	10YR 4/1 Gris oscuro	10YR 3/1 Gris muy oscuro	1.08	60	18	22	Franco arcillo arenoso

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla 3.26. Parámetros químicos del Perfil IT-13

Horizonte	M.O.	N total	CaCO ₃	pH	Bases cambiables				CIC
					Ca	Mg	K	Na	
A_p	3.5	0.14	0.4	6.4	17.1	2.8	0.21	0.13	15.6
AB	2.7	0.11	0.4	6.6	18.3	2.4	0.12	0.14	15.4
B	1.6	0.11	0.2	7.0	24.3	3.9	0.23	0.17	19.2

Fuente: Elaboración propia (2016)



Figura 3.24. Zona aledaña al Perfil IT-13.
Se observa una erosión severa junto a la zona de cultivo.

Los horizontes de este perfil presentan un contenido medio de MO y N total, en cuanto al pH el horizonte Ap presenta un pH moderadamente ácido, probablemente debido a

la aplicación de fertilizante, al contrario de los horizontes AB y Bt cuyo pH es neutro. Todos los horizontes presentan muy bajos contenidos de carbonatos (**Tabla 3.26**).

Descripción del Perfil IT-09

Localidad: Los Ángeles Tetela

Fecha de descripción 05/07/16

Descripción: Perfil de referencia (**Tabla 3.27**).

Coordenadas: 18°53'45.8'' Latitud Norte, 98°08'41.1'' Longitud Oeste

Altitud: 2166 msnm.

El suelo de la zona del perfil presenta erosión de tipo laminar y en cárcavas. El perfil tiene dos horizontes definidos (**Figura 3.25**). Existe influencia humana fuerte, con un drenaje interno drenado y un drenaje externo muy drenado, hay afloramiento de gravas y piedras del 40% en ambos casos.

Tabla 3.27. Descripción de los horizontes del Perfil IT-09

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
AB	0-8	Color gris pardo claro. Separación entre los horizontes difusa, ligeramente húmedo al tacto, estructura subangular de agregados pequeños y medianos, poroso, consistencia compacta, no adhesivo y no plástico, sistema radicular medianamente desarrollado de raíces finas y medias, sin reacción al HCL y una presencia de gravas del 10% y piedras 5%.
BCD	8-60	Color pardo pálido. Separación entre los horizontes difusa, ligeramente húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medianos, muy poroso, consistencia compacta, no adhesivo y no plástico, sistema radicular poco desarrollado con raíces finas, con reacción fuerte al HCL, presencia de gravas, rocas y piedras del 40%.

Fuente: Elaboración propia

La profundidad, el contenido en gravas y piedras, la erodabilidad, la baja fertilidad y la erosión son factores limitantes en esta zona. La vegetación adyacente es de tipo pastizal con una cobertura del 20-40% en el perfil. El uso de suelo es agropecuario, sin embargo, está en periodo de descanso o ha sido abandonado (**Figura 3.26**), hay presencia de ganado mayor y menor y agricultura de temporal.

En ambos horizontes de este perfil se encuentra un porcentaje mayor de arena respecto a las demás fracciones, sin embargo, en el horizonte AB se presenta un porcentaje de limo mayor al del horizonte BCD (**Tabla 3.28**). La DA es ligeramente mayor a 1g/cm³ en el horizonte superficial.



Figura 3.25. Perfil IT-09.
Perfil erosionado presente en parcela abandonada

Horizonte	Profundidad	Color		DA	% de las Fracciones			Clase Textural
		seco	húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
AB	0-8 cm	10YR 6/2	10YR 4/2	1.04	48	38	14	Franco
		Gris pardo claro	Pardo grisáceo oscuro					
BCD	8-60 cm	10YR 6/3	10YR 3/4	1.17	72	24	4	Franco arenoso
		Pardo pálido	Pardo amarillento claro					

Fuente: Elaboración propia (2016)

Los horizontes presentan un contenido medio en MO y N total. El pH es neutro para el caso del horizonte AB y moderadamente alcalino para el horizonte BCD. Por otro lado, el contenido en carbonatos es clasificado como bajo para el horizonte AB y medio para el horizonte BCD lo que concuerda con el pH moderadamente alcalino (**Tabla 3.29**).

Tabla 3.29. Parámetros químicos del Perfil IT-09

Horizonte	M.O.	N total	CaCO ₃	pH	Bases cambiables				CIC
					Ca	Mg	K	Na	
AB	2.5	0.14	1.4	7.0	27.9	6.5	0.53	0.12	26.8
BCD	1.6	0.11	2.4	7.6	30.1	5.4	0.38	0.19	23.2

Fuente: Elaboración propia (2016)



Figura 3.26. Zona del Perfil IT-09
Erosionada por el cultivo en pendiente que con la lluvia arrastra al suelo.

Descripción del Perfil IT-08

Localidad: Los Ángeles Tetela

Fecha de descripción 05/07/16

Descripción: Perfil de referencia **(Tabla 3.30)**.

Coordenadas: 18°53'56.8'' Latitud Norte, 98°08'06.9'' Longitud Oeste

Altitud: 2172 msnm.

Perfil con erosión de tipo laminar, en surcos y en cárcavas. Al igual que el perfil anterior presenta dos horizontes definidos **(Figura 3.27)**. Existe influencia humana muy fuerte, con un drenaje interno drenado y un drenaje externo muy drenado, hay afloramiento de gravas del 20%, piedras del 55% y rocas del 20%.

Tabla 3.30. Descripción de los horizontes del Perfil IT-08

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
B	0-12	Color gris muy oscuro. Separación entre los horizontes difusa, estructura subangular de agregados pequeños y medianos, poroso, consistencia compacta, adhesivo y medianamente plástico, sistema radicular medianamente desarrollado de raíces finas, medias, con reacción al HCL en algunas zonas y una presencia de gravas del 10%, piedras 60% y rocas 10-20%
BC	12-30	Color pardo. Separación entre los horizontes difusa, estructura subangular de agregados pequeños y medianos, medianamente poroso, consistencia muy compacta, no adhesivo y no plástico, sistema radicular poco desarrollado con raíces finas, con reacción al HCL en algunas partes y una presencia de gravas del 5%, piedras y rocas menor al 5%. La estructura es poco estable, en áreas similares a esta aparecen rocas color rojo que no efervece, sin embargo están impregnadas en la superficie por un material carbonatado.

Fuente: Elaboración propia (2016)



Figura 3.27. Perfil IT-08.

Suelo que ha perdido totalmente su horizonte A.

La pendiente, la profundidad, el contenido en gravas, piedras y rocas, así como la erodabilidad, el drenaje y la erosión son factores limitantes en esta zona. La vegetación adyacente es de tipo pastizal con una cobertura del 40-60%, sin embargo, existen zonas aledañas al perfil sin la presencia de cobertura vegetal (**Figura 3.28**). El uso de suelo es agropecuario con presencia de ganado mayor y menor y agricultura de temporal en la zona.

Tabla 3.31. Parámetros físicos del Perfil IT-08

Horizonte	Profundidad	Color		DA g/cm ³	% de las Fracciones			Clase Textural
		seco	húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
B	0-12 cm	10YR 3/1	10YR 3/1	1.07	48	22	30	Franco arcillo arenoso
		Gris muy oscuro	Gris muy oscuro					
BC	12-30 cm	10YR 5/3	10YR 3/4	1.04	72	22	6	Franco arenoso
		Pardo	Pardo amarillo oscuro					

Fuente: Elaboración propia (2016)

Ambos horizontes de este perfil presentan un porcentaje mayor de arenas respecto a las demás fracciones, ya que las arcillas han sido arrastradas dejando a su paso fracciones más gruesas y un alto porcentaje de materiales como gravas, piedras y rocas, sin embargo, horizonte B tiene como segundo mayor porcentaje a las arcillas y el horizonte BC a la fracción limo. La DA de ambos horizontes es ligeramente mayor a 1g/cm³ (**Tabla 3.31**).

Tabla 3.32. Parámetros químicos del Perfil IT-08

Horizonte	M.O.	N total	CaCO ₃	pH	Bases cambiables				CIC
					Ca	Mg	K	Na	
B	3.5	0.18	2.4	7.5	31.1	6.1	0.43	0.20	21.2
BC	1.1	0.04	3	7.6	31.8	6.2	0.39	0.19	23

Fuente: Elaboración propia (2016)

El contenido de MO es medio para el horizonte B y bajo para el horizonte BC. El pH de ambos es considerado como moderadamente alcalino con un contenido en carbonatos medio. En cuanto al contenido de N total es alto para el horizonte B y muy bajo para el horizonte BC (**Tabla 3.32**).



Figura 3.28. Zona aledaña al Perfil IT-08.
Se observa una pendiente pronunciada y afloramiento de piedras.

3.3.1.4 Descripción y análisis de los perfiles del Contorno 4.

Este contorno se localiza al este de la localidad de La Libertad Tecola. La geología predominante de este contorno es de roca sedimentaria del tipo conglomerado del periodo Cuaternario con suelo primario Cambisol y clima templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad, el uso de suelo es de agricultura de temporal y la pendiente es del 10%. El suelo es de formación *in situ*, con un relieve ondulado y alomado. En la zona existe la presencia de árboles como Cazahuate (*Ipomoea arborscens*) (**Figura 3.29**), Truenafrente (*Tecoma stans*) y Encino (*Quercus ilex*).



Figura 3.29. Cazahuate (*Ipomoea arborscens*).

Los perfiles que integran este contorno son el Perfil IT-03, el Perfil IT-01 y el Perfil IT-02, los cuales se describen en ese orden a continuación:

Descripción del Perfil IT-03

Localidad: La Libertad Tecola, Puebla

Fecha de descripción 05/05/16

Descripción: Perfil de referencia **(Tabla 3.33)**

Coordenadas: 18°52'52.9" Latitud Norte, 98°10'23.6" Longitud Oeste

Altitud: 2084msnm.

El perfil presenta erosión de tipo laminar. Muestra cuatro horizontes **(Figura 3.30)**, los cuales presentan una profundidad de 90 cm. Existe influencia humana muy fuerte, el drenaje interno es moderadamente drenado mientras que el externo es muy drenado, hay afloramiento de gravas en un 5%, piedras en un 5%.

Tabla 3.33. Descripción de los horizontes del Perfil IT-03

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
AB	0-5	Color pardo grisáceo. Separación entre horizontes difusa, seco al tacto, estructura subangular de agregados pequeños, poroso, compactación media, plasticidad media, sistema radicular de raíces finas y medianamente desarrollado, sin reacción al HCL, contenido en gravas del 5%.
B₁	5-32	Color gris oscuro. Separación entre horizontes difusa, medianamente húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medianos y grandes, medianamente poroso, consistencia compacta, plasticidad y adhesividad media, sistema radicular de raíces finas y medias, medianamente desarrollado, sin reacción al HCL, contenido en gravas del 5%.
B₂	32-56	Color gris oscuro. Separación entre horizontes difusa, húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medianos y grandes, medianamente poroso, consistencia compacta, plasticidad y adhesividad media, sistema radicular de raíces finas y medianas, medianamente desarrollado, sin reacción al HCL, contenido en gravas del 5%.
BCD	67-90	Color gris. Separación entre horizontes difusa, húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medianos y grandes, medianamente poroso, consistencia compacta, adhesivo y plástico, sistema radicular de raíces finas y medianas, medianamente desarrollado, sin reacción al HCL, contenido en gravas del 5%.

Fuente: Elaboración propia (2016)

La pendiente es un factor limitante en esta zona. La vegetación adyacente es de tipo pastizal y zacatonal que va de un 60-80% de cobertura y se visualiza la presencia de erosión por cárcavas cercana al perfil (**Figura 3.31**). El uso de suelo es agropecuario, con agricultura de tipo temporal y presencia de ganado mayor y menor. El perfil se encuentra en ladera, protegido por pastizal sin vegetación arbórea el cual es ayudado por la plasticidad que presenta, ofreciendo resistencia a la erosión, este se encuentra entre dos áreas de cárcavas



Figura 3.30. Perfil IT-03. Suelo que aún conserva el horizonte AB regenerado.

Este perfil presenta en sus horizontes una textura en su mayoría arenosa, en el caso del horizonte BCD es el único que presenta un contenido en arenas menor al 50% y un alto porcentaje de arcillas (**Tabla 3.34**).

Por otro lado, el horizonte AB es el único que presenta un contenido medio de MO, los demás horizontes se consideran como bajos. Presentan un pH neutro y contenido en N bajo para los horizontes AB y B₁ y muy bajo para los horizontes B₂ y BCD. En el caso del contenido en carbonatos es muy bajo para el horizonte AB y bajo para el resto de los horizontes. (**Tabla 3.35**).

Tabla 3.34. Parámetros físicos del Perfil IT-03

Horizonte	Profundidad	Color		DA g/cm ³	% de las Fracciones			Clase Textural
		seco	húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
AB	0-5 cm	10YR 5/2	10YR 3/1	1.26	68	18	14	Franco arenoso
		Pardo grisáceo	Gris muy oscuro					
B ₁	5-32 cm	10YR 4/1	10YR 3/1	1.14	58	20	22	Franco arcillo arenoso
		Gris oscuro	Gris muy oscuro					
B ₂	32-56 cm	10YR 4/1	10YR 3/2	1.13	52	18	30	Franco arcillo arenoso
		Gris oscuro	Gris pardo muy oscuro					
BCD	56-67 cm	10YR 5/1	10YR 4/1	1.13	44	10	46	Arcillo arenoso
		Gris	Gris oscuro					

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla 3.35. Parámetros químicos del Perfil IT-03

Horizonte	M.O.	N total	CaCO ₃	pH	Bases cambiables				CIC
					Ca	Mg	K	Na	
AB	1.9	0.07	0.8	7.0	21.8	1.9	0.19	0.11	19.4
B ₁	1.3	0.07	1	7.1	25.9	2.5	0.07	0.16	28.2
B ₂	1.3	0.04	0.6	7.0	26.9	3.8	0.08	0.25	25.6
BCD	1.1	0.04	1.4	7.3	31.9	14.9	0.13	0.30	33

Fuente: Elaboración propia (2016)



Figura 3.31. Formación de cárcava en la zona del Perfil IT-03.

Descripción del Perfil IT-01

Localidad: La Libertad Tecola, Puebla

Fecha de descripción 05/05/16

Descripción: Perfil de referencia **(Tabla 3.36)**.

Coordenadas: 18°52'52'' Latitud Norte, 98°10'24.1'' Longitud Oeste

Altitud: 2088 msnm.

Perfil con erosión de tipo laminar y en cárcavas. Este perfil cuenta con dos horizontes diferenciados **(Figura 3.32)**. Existe influencia humana muy fuerte, el drenaje interno es impedido mientras que el externo es muy drenado, hay afloramiento de gravas del 25%, piedras 15% y rocas 20%.

Tabla 3.36. Descripción del Perfil IT-01

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
AB	0-5	Color pardo grisáceo oscuro Separación entre horizontes difusa, seco al tacto, estructura subangular de agregados pequeños y medianos, poroso, compactación media, plasticidad media, sistema radicular de raíces finas y medianamente desarrollado, sin reacción al ácido clorhídrico.
BCD	5-13	Color gris muy oscuro. Separación entre horizontes difusa, mayoritariamente seco al tacto, estructura subangular y de granos medianos, medianamente poroso, compacto, plasticidad media, sistema radicular de raíces finas y medianamente desarrollado, sin reacción al ácido clorhídrico.

Fuente: Elaboración propia (2016)

La pendiente (**Figura 3.33**), el contenido en gravas, rocas, piedras, así como la erosión y el drenaje son factores limitantes en esta zona. La vegetación adyacente es de tipo pastizal y zacatonal que va de un 40-60% de cobertura. El uso de suelo es agropecuario, con agricultura de tipo temporal y presencia de ganado mayor y menor.



Figura 3.32. Perfil IT-01.
Suelo con horizonte AB en proceso de regeneración.

Tabla 3.37. Parámetros físicos del Perfil IT-01

Horizonte	Profundidad	Color		DA g/cm ³	% de las Fracciones			Clase Textural
		seco	húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
AB	0-5cm	10YR 4/2	10YR 2/2	1.14	58	20	22	Franco arcillo arenoso
		Pardo grisáceo oscuro	Pardo muy oscuro					
BCD	5-13 cm	10YR 3/1	10YR 5/3	1.14	62	18	20	Franco arcillo arenoso
		Gris muy oscuro	Pardo					

Fuente: Elaboración propia (2016)

De acuerdo con los análisis físicos de este perfil, tanto el horizonte AB como BCD presentan un contenido de arena mayor al 50%, en cuanto a su DA ambos horizontes presentan una densidad mayor a 1g/cm³ (**Tabla 3.37**).

Como se puede observar en la **Tabla 3.38** el horizonte AB y BCD presentan un contenido medio de MO al igual que contenido en N, su pH es considerado como neutro lo que concuerda con los bajos niveles de carbonatos.

Horizonte	M.O.	N total	CaCO ₃	pH	Bases cambiables				CIC
					Ca	Mg	K	Na	
AB	3.2	0.14	0.8	6.9	25.6	2.6	0.33	0.10	23.2
BCD	2.4	0.14	0.8	6.9	26.3	2.3	0.25	0.12	32.6

Fuente: Elaboración propia (2016)



Figura 3.33. Zona del Perfil IT-01
Se observa una pendiente pronunciada

Descripción del Perfil IT-02

Localidad: La Libertad Tecola, Puebla

Fecha de descripción 05/05/16

Descripción: Perfil de referencia (**Tabla 3.39**).

Coordenadas: 18°52'53'' Latitud Norte, 98°10'24.7'' Longitud Oeste

Altitud: 2089msnm

El perfil presenta erosión de tipo laminar y en cárcavas con un horizonte C únicamente (**Figura 3.34**). Existe influencia humana muy fuerte, el drenaje interno es impedido mientras que el externo es excesivamente drenado, hay afloramiento de gravas en un 10%, piedras en un 30% y rocas en un 60% La pendiente, la poca profundidad, el

contenido en gravas, rocas, piedras, así como la erosión y el drenaje son factores limitantes en esta zona. La vegetación adyacente es de tipo pastizal y zacatonal que va de un 0-20% de cobertura (**Figura 3.35**).

Tabla 3.39. Descripción de los horizontes del Perfil IT-02

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
CD	0-28	Color pardo claro. El horizonte es una capa de material rocoso fuertemente intemperizada, difícilmente tendrá algo de MO y en su caso sería a la hora de manipular, la compactación se disgrega con el cuchillo, esta capa es producto de la erosión provocada por el hombre al cultivar la parcela en pendiente.

Fuente: Elaboración propia

El uso de suelo es agropecuario, con agricultura de tipo temporal y presencia de ganado mayor y menor. En este perfil las rocas forman la superficie, el único horizonte es más bien una capa, en el área se observan sectores con suelos pardo claro y sectores donde aflora la roca en la superficie.



Figura 3.34. Perfil IT-02. Suelo que perdió totalmente sus superficiales.

Presenta una textura en su mayoría arenosa con muy poco porcentaje de la fracción arcillosa (6%) (**Tabla 3.40**). El contenido de MO es bajo, un pH neutro y un contenido de N muy bajo (**Tabla 3.41**).

Tabla 3.40. Parámetros físicos del Perfil IT-02

Horizonte	Profundidad	Color		DA g/cm ³	% de las Fracciones			Clase Textural
		seco	húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
CD	0-28cm	10YR 8/2 Pardo muy pálido	10YR 5/3 Pardo	1.04	76	18	6	Franco arenoso

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla 3.41. Parámetros químicos del Perfil IT-02

Horizonte	M.O.	N total	CaCO ₃	pH	Bases cambiables				CIC
					Ca	Mg	K	Na	
CD	0.8	0.04	1.4	7.3	29.1	4.0	.016	0.32	21.8

Fuente: Elaboración propia (2016)



Figura 3.35. Zona del Perfil IT-02
Suelo casi desnudo con afloramiento de materiales.

3.3.1.5 Descripción y análisis de los perfiles del Contorno 5.

El contorno se encuentra localizado al suroeste de la localidad de San José El Rincón. La geología predominante de este contorno es de roca sedimentaria del periodo Cuaternario con suelo primario Phaeozem, el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad, el uso de suelo es de agricultura de temporal y la

pendiente en los perfiles es del 21%. El suelo es de formación *in situ*, con un relieve fuertemente ondulado.

Existe la presencia de árboles como el Truenafrente (*Tecoma stans*) (**Figura 3.36**), Cazahuate (*Ipomoea arborescens*) y Espino (*Crataegus monogyna*). Los perfiles que integran este contorno son el Perfil IT-16, el Perfil IT-14 y el Perfil IT-15 los cuales se describen a continuación:



Figura 3.36. Truenafrente (*Tecoma stans*).

Descripción del Perfil IT-16

Localidad: San José el Rincón

Fecha de descripción 02/09/16

Descripción: Perfil de referencia (**Tabla 3.42**).

Coordenadas: 18°53'12.2'' Latitud Norte, 98°12'23'' Longitud Oeste.

Altitud: 2139 msnm

El área del perfil presenta erosión en cárcavas. En el perfil se diferencian cuatro horizontes que en conjunto presentan una profundidad de más de un metro (**Figura 3.37**).

Existe influencia humana fuerte, presenta un drenaje interno escasamente drenado y un drenaje externo muy drenado, hay afloramiento de piedras en un 5%. La pendiente, el drenaje externo excesivo, la compactación y la plasticidad son factores limitantes en esta zona.

Tabla 3.42. Descripción de los horizontes del Perfil IT-16

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
AB	0-28	Color gris muy oscuro. Separación entre los horizontes difusa, ligeramente húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medianos y grandes, medianamente poroso, consistencia compacta, adhesivo y plástico, sistema radicular medianamente desarrollado de raíces finas y medias. Sin reacción al ácido clorhídrico. Presenta abundantes grietas y fisuras.
Bt	28-50	Color pardo muy oscuro. Separación entre los horizontes difusa, húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medianos y grandes, poco poroso, consistencia muy compacta, muy adhesivo y muy plástico, sistema radicular poco desarrollado de raíces finas. Sin reacción al ácido clorhídrico. Presenta algunas grietas.
BC	50-73	Color pardo grisáceo muy oscuro. Separación entre los horizontes difusa, húmedo al tacto, estructura subangular de agregados medianos y grandes, poco poroso, consistencia compacta, adhesivo y plástico, sistema radicular poco desarrollado de raíces medias. Sin reacción al ácido clorhídrico.
C	73-100+	Color pardo. Capa compacta de estructura subangular de agregados medianos. Presenta algunas gravas de color negro y manchas de color gris. Sin reacción al ácido clorhídrico

Fuente: Elaboración propia (2016)



Figura 3.37. Perfil IT-16. Suelo que aún conserva su horizonte B

La vegetación adyacente es de tipo pastizal con una cobertura del 80-100% en el área. El uso de suelo es pastoril con presencia de ganado mayor y menor y agricultura de temporal en la zona, la cual presenta rasgos de erosión (**Figura 3.38**).

Tabla 3.43. Parámetros físicos del Perfil IT-16

Horizonte	Profundidad	Color		DA g/cm ³	% de las Fracciones			Clase Textural
		seco	húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
AB	0-28	10YR 4/1 Gris oscuro	10YR 3/1 Gris muy oscuro	1.09	46	26	28	Franco arcillo arenoso
B_t	28-50	10YR 4/1 Gris oscuro	10YR 3/1 Gris muy oscuro	1.20	28	22	50	Arcilloso
BC	50-73	10YR 5/2 Gris pardo	10YR 4/2 Gris pardo oscuro	1.20	24	24	52	Arcilloso

Fuente: Elaboración propia (2016)

El porcentaje de fracción de arena es mayor en el horizonte B, mientras que el porcentaje de arcillas es mayor en los horizontes B_t y BC presentando texturas arcillosas gracias a la protección que le aporta la cobertura vegetal que evita el arrastre de estas fracciones, la DA en este horizonte es ligeramente mayor a 1g/cm³ (**Tabla 3.43**).

Tabla 3.44. Parámetros químicos del Perfil IT-16

Horizonte	M.O.	N total	CaCO ₃	pH	Bases cambiables				CIC
					Ca	Mg	K	Na	
AB	4.0	0.11	1	7.2	27.4	5.5	0.20	0.13	23.6
B_t	1.3	0.11	0.4	6.9	26.8	10.2	0.03	0.38	26.8
BC	0.8	0.04	0.2	7.0	25.1	10.5	0.05	0.61	38.6

Fuente: Elaboración propia (2016)

El contenido de MO es alto para el horizonte B a causa del porcentaje de arcillas y la cobertura vegetal. Por otro lado, el contenido en N es medio para los horizontes B y B_t y muy bajo para el horizonte BC. En cuanto al contenido en carbonatos es bajo en el horizonte B y muy bajo en los horizontes B_t y BC. Todos los horizontes de este perfil presentan un pH neutro (**Tabla 3.44**).



Figura 3.38. Zona de cultivo aledaña al Perfil IT-16. Se observa posible pérdida de MO.

Descripción del Perfil IT-14

Localidad: San José el Rincón

Fecha de descripción 02/09/16

Descripción: Perfil de referencia **(Tabla 3.45)**.

Coordenadas: 18°53'14.5'' Latitud Norte, 98°12'20.6'' Longitud Oeste

Altitud: 2125 msnm.

Perfil con erosión de tipo laminar. Se diferencian tres horizontes, sin la presencia de un horizonte A **(Figura 3.39)**. Existe influencia humana muy fuerte, presenta un drenaje interno moderadamente drenado y un drenaje externo muy drenado, hay afloramiento de gravas 40%, rocas 40% y piedras 5% **(Figura 3.40)**. La profundidad, la pendiente, el contenido en gravas, rocas y piedras, el drenaje externo excesivo y la erosión son factores limitantes en esta zona. La vegetación adyacente es de tipo pastizal con una cobertura del 60-80%. El uso de suelo es pastoril con presencia de ganado mayor y menor y agricultura de temporal en la zona.

El horizonte B tiene un mayor porcentaje de arcillas respecto a las demás fracciones, por otro lado, el horizonte C presenta con mayor porcentaje a la fracción de arenas La DA es mayor a 1g/cm^3 , típico de suelos que no tienen alto porcentaje en MO **(Tabla 3.46)**.

Tabla 3.45. Descripción de los horizontes del Perfil IT-14

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
B	0-16	Color pardo grisáceo muy oscuro. Separación entre los horizontes difusa, ligeramente húmedo al tacto, estructura en bloques y subangular de agregados medianos, medianamente poroso, consistencia compacta, muy adhesivo y muy plástico, sistema radicular medianamente desarrollado de raíces finas. Sin reacción al ácido clorhídrico. Presenta abundantes grietas y fisuras así como manchas grises.
C	16-37	Color pardo muy pálido. Capa fuertemente meteorizada de color pardo claro con muchas manchas de color claro que efervescen violentamente, es poco poroso y mantiene la estructura rocosa, va de compacto a muy compacto, presenta abundantes gravas y rocas. Sistema radicular poco desarrollado con raíces finas. Se observa acumulación de carbonatos de calcio en forma de polvo entre los agregados, una parte de la masa dentro de los agregados no efervescen tan violento cuando se le agrega ácido clorhídrico.
CD	37-70+	Color pardo muy pálido. Es similar al horizonte anterior, sin embargo la estructura de este material es aún más parecido al de la roca

Fuente: Elaboración propia (2016)



Figura 3.39. Perfil IT-14.

Suelo que ha perdido completamente su horizonte A.

El N total para el horizonte B es medio y un contenido en carbonatos muy bajo. En lo que respecta al horizonte C, su contenido en MO es bajo propio de horizontes profundos, en N total es medio y en carbonatos es bajo. El pH en ambos casos es neutro (**Tabla 3.47**).

Tabla 3.46. Parámetros físicos del Perfil IT-14

Horizonte	Profundidad	Color		DA g/cm ³	% de las Fracciones			Clase Textural
		seco	húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
B	0-16	10YR 5/2 Gris pardo	10YR 3/2 Gris pardo muy oscuro	1.15	34	20	46	Arcilloso
C	16-37	10YR 7/2 Gris claro	10YR 4/2 Gris pardo oscuro	1.16	60	34	6	Franco arenoso

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla 3.47. Parámetros químicos del Perfil IT-14

Horizonte	M.O.	N total	CO ₃ Ca	pH	Bases cambiables				CIC
					Ca	Mg	K	Na	
B	2.2	0.14	0.4	6.6	22.5	15.5	0.38	0.20	22.2
C	0.8	0.14	1.4	7.1	25.9	20.0	0.03	0.35	24.6

Fuente: Elaboración propia (2016)



Figura 3.40. Zona del Perfil IT-14
Se observa un afloramiento de piedras y rocas.

Descripción del Perfil IT-15

Localidad: San José el Rincón

Fecha de descripción 02/09/16

Descripción: Perfil de referencia (**Tabla 3.48**).

Coordenadas: 18°53' 12.2'' Latitud Norte, 98°12' 22.7'' Longitud Oeste. Altitud: 2139 msnm.

Perfil con erosión de tipo laminar y en cárcavas. Presenta tres horizontes, que en conjunto tienen una profundidad menor a 50 cm (**Figura 3.41**). Existe influencia humana muy fuerte. El drenaje interno es drenado y el externo es muy drenado, hay afloramiento de gravas 40%, rocas 40% y piedras 5%. La profundidad, la pendiente, el contenido en gravas, rocas y piedras, el drenaje externo excesivo y la erosión son factores limitantes en esta zona.

Tabla 3.48. Descripción de los horizontes del Perfil IT-15

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
BC	0-9	Color pardo. Separación entre los horizontes difusa, ligeramente húmedo al tacto, estructura subangular de agregados pequeños y medianos, poroso, consistencia compacta, no adhesivo y no plástico, sistema radicular poco desarrollado de raíces muy finas. Reacción fuerte al ácido clorhídrico. Presenta pequeñas fisuras.
C	9-18	Color pardo grisáceo claro. Capa muy meteorizada que se disgrega con facilidad, presenta raíces finas. No compacto, los agregados forman una masa de color pardo donde hay abundantes carbonatos que reaccionan violentamente al ácido clorhídrico.
CD	18-40+	Color pardo muy pálido. De estructura similar al perfil anterior, pero meteorizado en mayor medida.

Fuente: Elaboración propia (2016)



Figura 3.41. Perfil IT-15.

Suelo que ha perdido sus horizontes superficiales

La vegetación adyacente es de tipo pastizal con una cobertura del 20-40%. El uso de suelo es pastoril con presencia de ganado mayor y menor y agricultura de temporal en la zona la cual presenta signos de pérdida de suelo por escorrentía en algunas zonas (Figura 3.42).

Tabla 3.49. Parámetros físicos del Perfil IT-15

Horizonte	Profundidad	Color		DA g/cm ³	% de las Fracciones			Clase Textural
		seco	húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
BC	0-9	10YR 5/3 Pardo	10YR 4/2 Gris pardo oscuro	1.14	32	42	26	Franco
C	9-18	10YR 6/2 Pardo grisáceo claro	10YR 4/3 Pardo	1.10	36	40	24	Franco

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla 3.50. Parámetros químicos del Perfil IT-15

Horizonte	M.O.	N total	CO ₃ Ca	pH	Bases cambiables				CIC
					Ca	Mg	K	Na	
BC	1.6	0.07	3	7.5	31.6	3.8	0.14	0.17	22.8
C	0.5	0.14	8.2	7.6	32.6	4.0	0.07	0.25	21.6

Fuente: Elaboración propia (2016)



Figura 3.42. Zona aledaña al Perfil IT-15. Se observa arrastre debido al agua de lluvia.

Los horizontes de este perfil presentan un mayor contenido en limo, seguido por la fracción de arena y por último la de arcilla confiriéndoles una textura francosa. La DA es similar en ambos horizontes (**Tabla 3.49**).

El contenido en MO es medio para el horizonte BC y muy bajo por el horizonte C, el pH en ambos casos es moderadamente alcalino con un contenido de carbonatos mayor en el horizonte BC característico de la mayoría de estos horizontes (**Tabla 3.50**).

3.3.2 Evaluación de la erosión

3.3.2.1 Contorno 1

De acuerdo con la pérdida de horizontes entre los perfiles de este contorno se clasificaron con los siguientes grados de erosión:

- Perfil IT-07: Leve
- Perfil IT-11: Moderada
- Perfil IT-10: Fuerte
- Perfil IT-12: Muy fuerte.

En la **Figura 3.43a** se observa como el Perfil IT-07 presenta una profundidad y un número de horizontes mayor en comparación con el resto de los perfiles, este perfil muestra un horizonte A con más de 20 cm de profundidad, dicho horizonte no se encuentra presente en los demás perfiles que han ido perdiendo la masa del suelo de los horizontes superficiales a causa el escurrimiento de agua de lluvia (Navarrete *et al.*, 2011). Este proceso se magnifica debido a la pérdida de cobertura vegetal que presentan los horizontes de los perfiles IT-10 e IT-12 (Porta *et al.*, 2004), en donde el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desprovisto de vegetación provoca la disgregación y arrastre del suelo induciendo a una concentración de gravas, piedras y rocas (Blanco y Perles, 1998) como se observa en la **Figura 3.43b**, en donde la superficie del suelo en los perfiles más erosionados tiene un porcentaje mayor de fragmentos del material parental en comparación con la superficie del Perfil IT-07.

Una característica que se relaciona con la profundidad es la del sistema radicular (Dornbush y Wilsey, 2009), en la **Figura 3.43c** se observa como el Perfil IT-07 presenta en su horizonte superficial un sistema radicular muy desarrollado con raíces finas, medias y gruesas; así, conforme se avanza a los horizontes sub-superficiales, el desarrollo de las raíces va disminuyendo, lo mismo sucede conforme avanzan los grados de erosión en

los horizontes superficiales de los perfiles de este contorno, el Perfil IT-12 presenta un desarrollo radicular poco desarrollado de raíces finas y medias ya que la vegetación que yace sobre este perfil es la de pastizal.

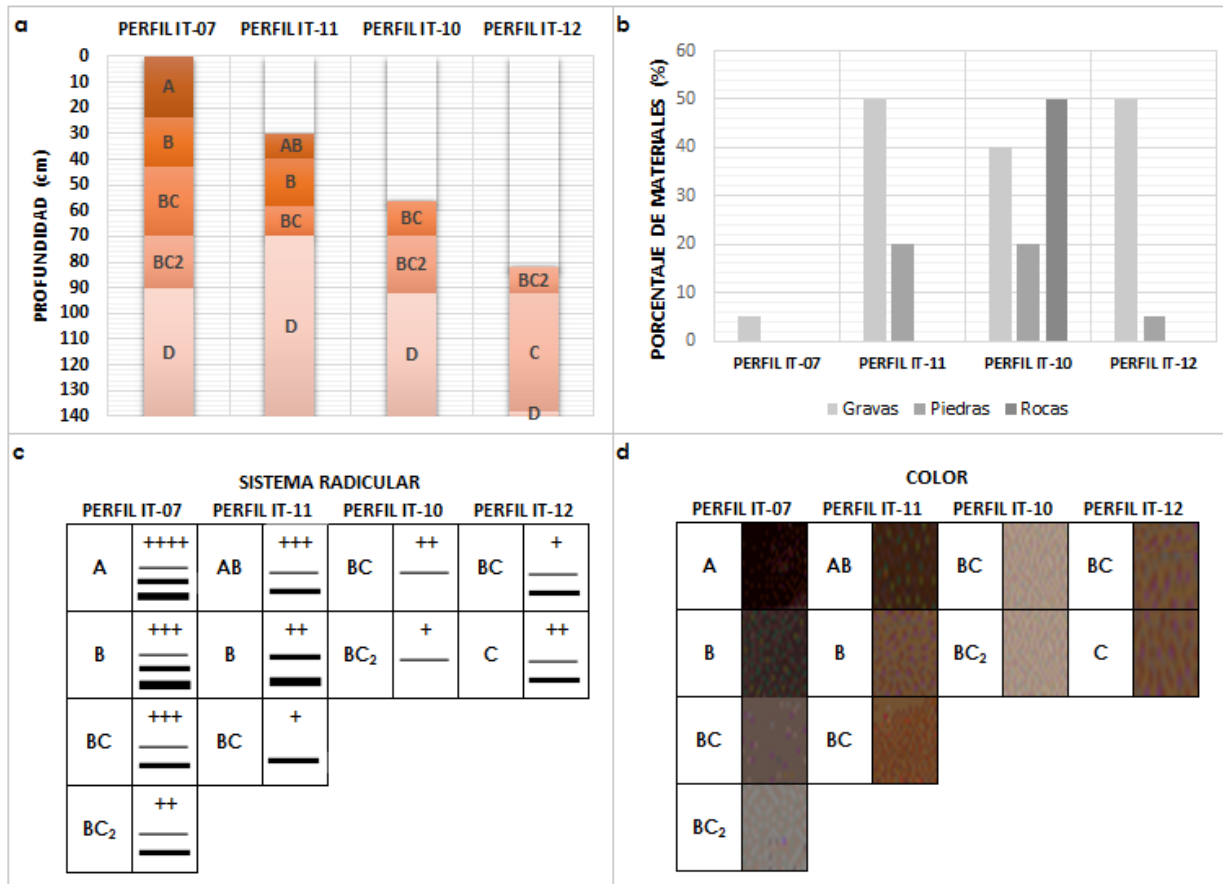


Figura 3.43. Características morfológicas de los perfiles del contorno 1.

(a) Profundidad de los perfiles. En el eje x se muestra el número de los perfiles, en el eje y se muestra la profundidad en cm de los perfiles del suelo, el horizonte de cada perfil se indica dentro de las barras y con colores diferenciados para cada tipo de horizonte. En transparente se muestra el suelo que se ha perdido con respecto al perfil patrón. **(b)** Afloramientos rocosos. En el eje x se muestra el número de los perfiles, en el eje y se muestra el porcentaje del contenido en materiales (gravas, piedras y rocas) presentes en la superficie del suelo, cada tipo de material se muestra de un color distinto. **(c)** Sistema radicular. El número de perfil se muestra en la parte superior del cuadro, las letras mayúsculas en sentido vertical son los horizontes de los perfiles. El desarrollo radicular presenta la siguiente simbología: (+) poco desarrollado, (++) medianamente desarrollado, (+++) desarrollado, (++++) muy desarrollado. Tamaño de las raíces: — finas, — medias, — gruesas, — muy gruesas (Ver **Tabla 3.6**). **(d)** Color. Las mayúsculas en sentido vertical se refieren a los horizontes de los perfiles, en la parte superior del cuadro se encuentran el número de los perfiles, el color es el correspondiente al código determinado en la tabla Munsell.

En cuanto al color se puede observar cómo, cuanto mayor es la profundidad del perfil disminuye la intensidad del color de los horizontes, como en el caso del horizonte A del Perfil IT-07 (**Tabla 3.43d**), el cual es más oscuro comparado con el horizonte BC₂ del mismo

perfil; la intensidad del color disminuye conforme avanzan los grados de erosión y disminuye la profundidad, notándose cambios de color visiblemente más claros en los horizontes menos profundos (Brunel y Seguel, 2011).

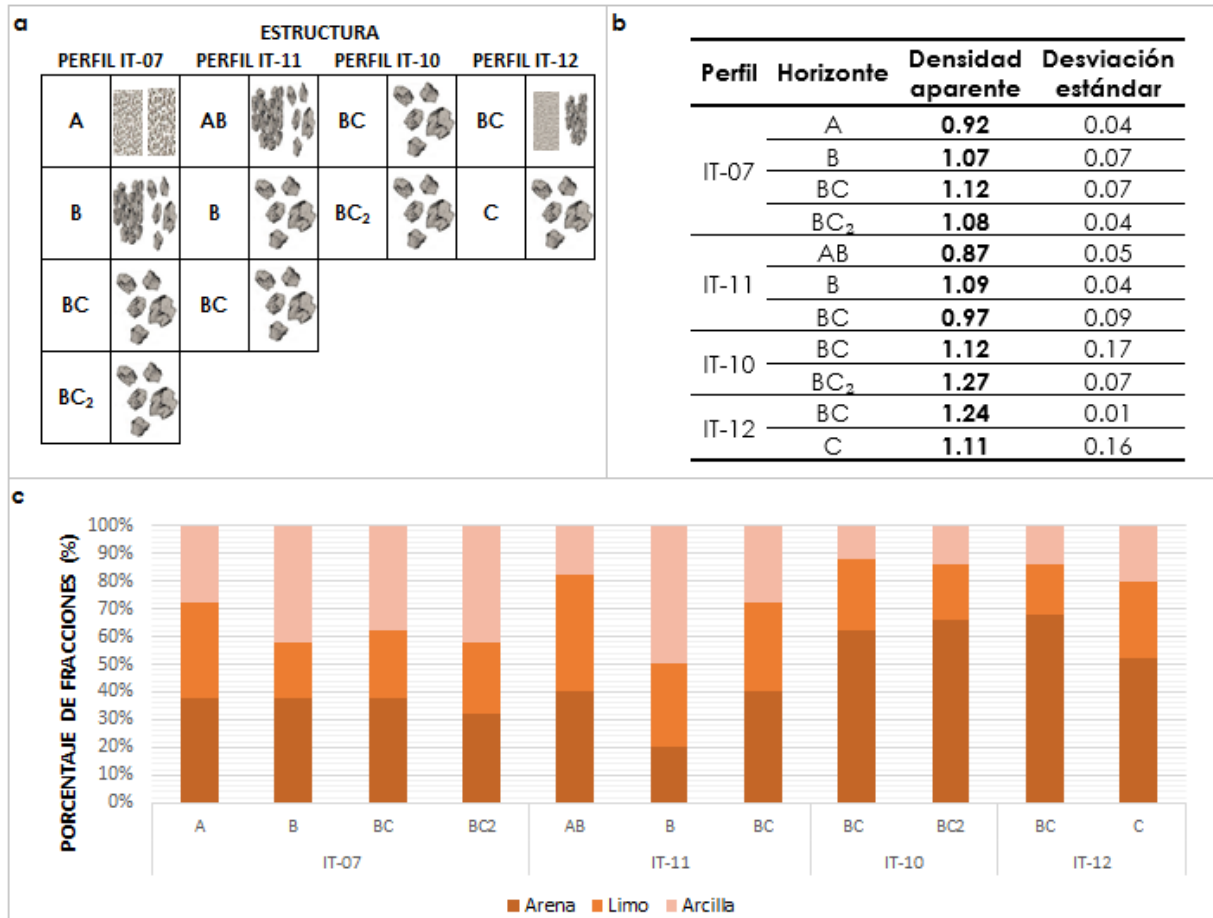


Figura 3.44. Propiedades físicas de los perfiles del contorno 1.

(a)Estructura. El número de perfil se muestra en la parte superior del cuadro, las letras mayúsculas en sentido vertical son los horizontes de los perfiles (Ver **Tabla 3.6**). **(b)**Densidad aparente \pm desviación estándar de los horizontes de cada perfil. **(c)**Textura. En el eje x se muestran los perfiles con sus respectivos horizontes, en el eje y se muestra el porcentaje de fracciones, las fracciones de arena, limo y arcilla se muestran con colores diferenciados.

De acuerdo con Porta *et al.*, (2004) la vida es posible en el suelo debido a que las partículas no forman una masa continua; la estructura influye en el tamaño y continuidad de poros y en la capacidad de retener y transmitir fluidos (Navarrete *et al.*, 2011), los horizontes más profundos de los perfiles de este contorno presentan una estructura subangular de agregados medianos y grandes, misma situación sucede con los horizontes superficiales de los perfiles más erosionados; por otro lado, en el horizonte

superficial del Perfil IT-07 la estructura es granular de agregados pequeños y medianos, lo que coincide con el bajo grado de erosión que presenta. Hincapié y Salazar, 2011, encontraron que la estructura dura y de terrones grandes está relacionada con suelos más erosionados como se puede observar en el Perfil IT-10 (**Figura 3.44a**). En el caso del horizonte BC del Perfil IT-12 presenta una estructura particular, debido también a la erosión ya que esta produce una inestabilidad de la estructura.

La DA se muestra más alta en perfiles erosionados (**Figura 3.44b**), mientras que en el horizonte superficial de los perfiles más conservados es baja, esto es debido al contenido de MO. La DA refleja el contenido total de porosidad en el suelo y flujo de circulación de agua y aire (Domínguez, 2015), cuanto menor es la DA, estas características se ven favorecidas. En el caso de la textura se puede observar en la **Figura 3.44c** como conforme se avanza a los perfiles más erosionados IT-10 e IT-12, el porcentaje de las fracciones de arcilla disminuye debido a que el agua de escurrimiento transporta primero las fracciones más finas que se encuentran en la superficie; la situación se observa también en cuanto avanza la profundidad, como en el caso del Perfil IT-07, en donde su horizonte A presenta un porcentaje de arcillas menor al horizonte BC₂, esto se debe al arrastre de las arcillas a través de los poros del perfil, depositándolas en los horizontes más profundos.

La MO se ve disminuida por el aumento de la erosión, los primeros horizontes de los perfiles presentan la principal reserva de MO como se puede observar en el Perfil IT-07 e IT-11, (**Figura 3.45a**) en donde sus horizontes superficiales muestran un alto contenido de MO a diferencia de sus horizontes sub-superficiales B y BC, del mismo modo, los perfiles IT-10 e IT-12 tienen un contenido de MO similar al de los horizontes más profundos de los perfiles menos erosionados, lo que significa que al perderse los horizontes superiores, el lugar de estos ha sido ocupado por los horizontes inferiores. También se puede observar una situación similar en cuanto al contenido de N total (**Figura 3.45b**), ya que el Perfil IT-07 presenta alrededor del 50% de todo el contenido de N de los perfiles del contorno 1, mientras que los perfiles IT-10 e IT-12 con mayor grado de erosión presentan menos del 25% del contenido de N.

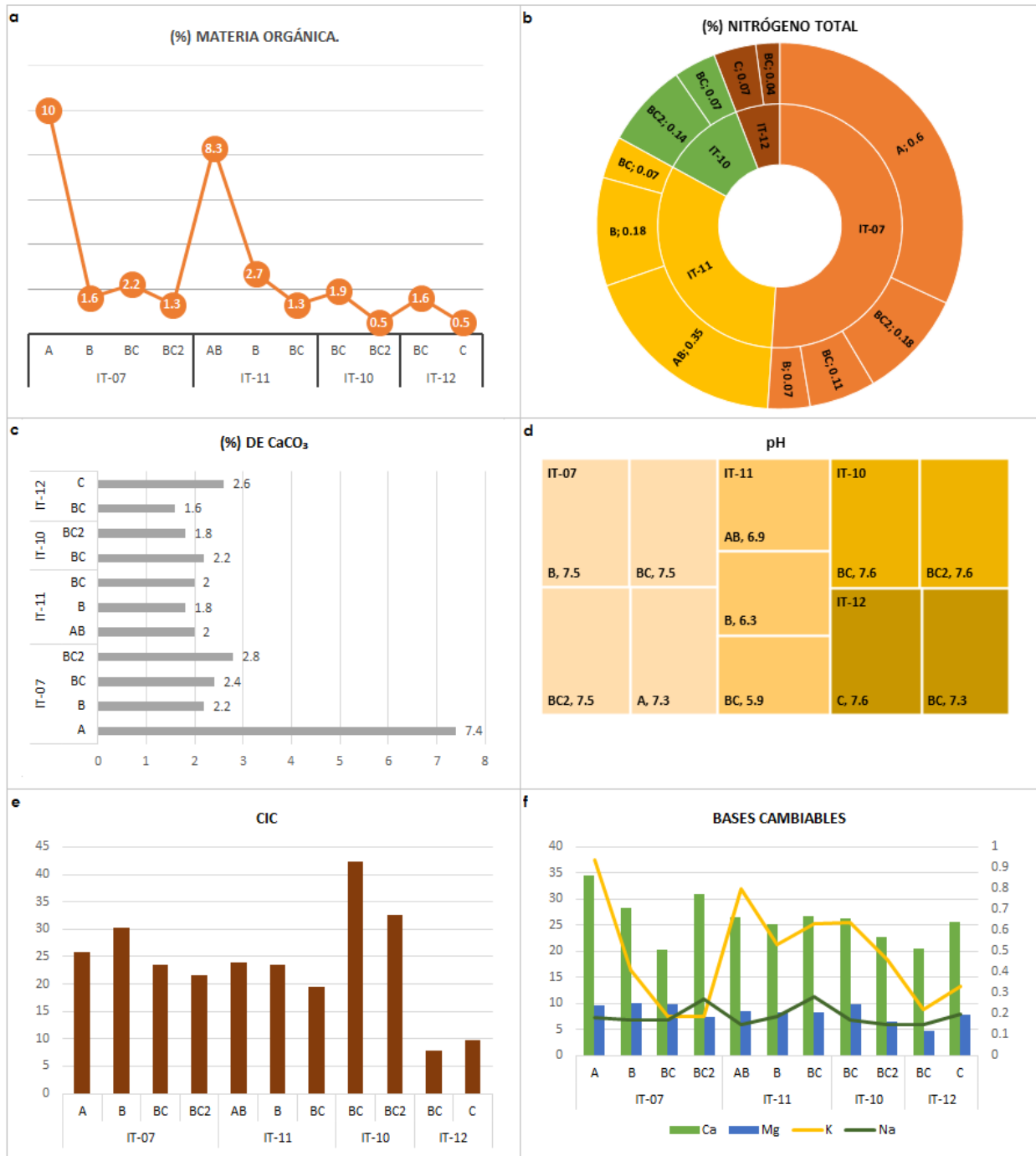


Figura 3.45. Propiedades químicas de los perfiles del contorno 1

(a)Materia orgánica. En el eje x se muestra los perfiles con sus respectivos horizontes, en el eje y se muestra el porcentaje de MO. **(b)**Nitrógeno total. En las zonas externas del círculo se muestran los horizontes y el valor del contenido en N expresado en porcentaje, en la zona interna del círculo se muestran los perfiles los cuales se diferencian por color. **(c)**Carbonatos. En el eje x se muestra el porcentaje, en el eje y se muestran los números de perfil con sus respectivos horizontes y junto a las barras se muestra el valor del porcentaje de carbonatos. **(d)**pH. Cada color representa a un perfil y cada rectángulo representa un horizonte de ese perfil el cual muestra el valor obtenido de pH. **(e)**CIC. En el eje x se muestran los perfiles y horizontes, en el eje y se muestra la unidad de Cmol (+) Kg. **(f)**Bases cambiables. en el eje x están los perfiles y horizontes, en barras se muestra el Ca y el Mg, mientras que en líneas se muestra el K y el Na.

Parámetros como el contenido en carbonatos (**Figura 3.45c**) y el pH (**Figura 3.45d**) no presentan grandes diferencias en los perfiles de este contorno, sin embargo, en el caso del horizonte A del perfil más conservado muestra un porcentaje alto de carbonatos comparado con los demás horizontes, esto probablemente se deba al agua de escorrentía que deposita a su paso carbonatos sobre la superficie de este perfil que han sido arrastrados de zonas más altas.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) controla los nutrientes que se encuentran disponibles para las plantas y está ligada con el porcentaje de arcillas de un suelo (Porta *et al.*, 2004), esto concuerda con los valores altos de CIC que muestra el Perfil IT-07 (**Figura 3.45e**), el cual presenta un mayor porcentaje de arcillas comparado con la baja CIC del Perfil IT-12 que tiene un bajo porcentaje de arcillas. La CIC disminuye conforme aumenta la profundidad y del mismo modo lo hace como aumentan los grados de erosión de los perfiles, sin embargo, se observa un pico en el Perfil IT-10 el cual presenta un grado de erosión considerado como severo, esto podría deberse a la deposición de nutrientes arrastrados por el agua de escorrentía. En lo referente a las bases cambiables (**Figura 3.45f**) de este contorno se encontró que el contenido de calcio (Ca) y magnesio (Mg) no presenta grandes diferencias entre los horizontes de los perfiles, sin embargo, se observa un ligero detrimento conforme aumentan los grados de erosión. En el caso del contenido del potasio (K) disminuye notablemente conforme aumenta la profundidad, así como conforme a los grados de erosión. El contenido de sodio (Na) por su parte permanece generalmente estable conforme aumentan los grados de erosión, sin embargo, se observa un ligero aumento en los horizontes más profundos de los perfiles. En general se puede observar una disminución de las bases conforme aumentan los grados de erosión como lo encontrado por Hincapié y Salazar en 2011.

De acuerdo al conteo de microorganismos se obtiene que el Perfil IT-10 con un grado de erosión fuerte presenta un mayor número de unidades formadoras de colonias (UFC) en todos los grupos de microorganismos, en comparación con el Perfil IT-07 con un grado de erosión menor (**Figura 3.46a**), esto probablemente se explique a que la relación carbono/nitrógeno (C/N) es menor en el perfil más conservado (9.7) en comparación con el perfil menos conservado (15.6), ya que, al reducirse, también lo hace el N provocando una disminución drástica en la tasa de descomposición de la MO, mientras que la tasa de mineralización de carbono orgánico dependerá de la adición de fuentes

nitrogenadas (Ferrera y Alarcón, 2001). Por otro lado, la actividad enzimática de la deshidrogenasa (DHA) (**Figura 3.46b**) se muestra mayor en el perfil menos erosionado, sin embargo, esta aumenta notoriamente cuando se le agrega sustrato de fácil degradación y altamente energético como la glucosa (GDHA) siendo un indicativo de la pérdida de MO (Martínez *et al.*, 2001).

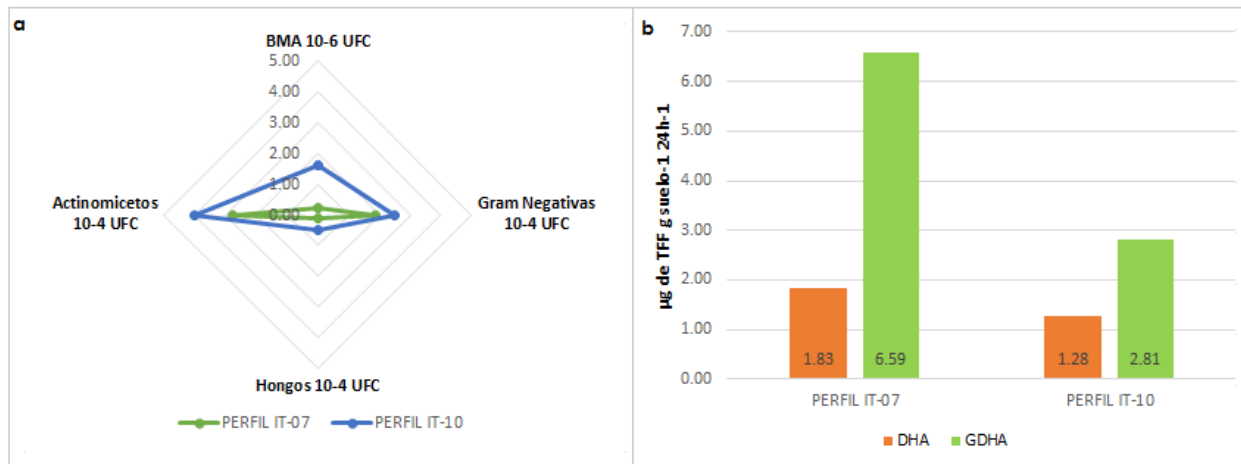


Figura 3.46. Propiedades biológicas de los perfiles IT-07 e IT-10 del contorno 1.

(a) El resultado se muestra en unidades formadoras de colonias (UFC) en cuanto a los diferentes grupos de microorganismos en cada esquina, los perfiles se diferencian por color. (b) En el eje y unidades expresadas en $\mu\text{g de TFF g suelo}^{-1} 24\text{h}^{-1}$, en el eje x número de perfiles, los valores de la actividad de la enzima deshidrogenasa (DHA) y Glucosa deshidrogenasa (GDHA) se encuentran diferenciadas por color y sus valores dentro de las barras.

En cuanto a la pérdida de suelo actual del contorno 1 (**Tabla 3.51**) es mayor en los perfiles IT-10 e IT-12 en donde se pierden 39.69 y 58.59 toneladas por hectárea al año respectivamente, en menor medida se encuentra el Perfil IT-11 con pérdidas de 32.75 toneladas de suelo por hectárea al año.

Tabla 3.51. Cálculo de pérdidas de suelo del contorno 1

Perfil	Grado de erosión	Factor erosividad R	Factor erosionabilidad K	Factor Topográfico LS	Factor cobertura vegetal C	Pérdida ton/ha año
IT-07	Leve	2426.40	0.021	4.021	0.001	0.20
IT-11	Moderada	2426.40	0.029	4.655	0.1	32.75
IT-10	Fuerte a muy fuerte	2426.40	0.024	3.097	0.22	39.68
IT-12	Muy fuerte	2426.40	0.024	4.573	0.22	58.59

Fuente: Elaboración propia (2016)

El perfil mejor conservado (IT-07) presenta únicamente pérdidas de menos de media tonelada por hectárea al año, esto gracias a la cobertura vegetal que le brinda el suelo y su contenido en MO. Las tasas de pérdida de suelo en los perfiles IT-11, IT-10 e IT-12 son mayores a las de transformación de este, la cual es de 10 toneladas por hectárea al año. En resumen, los perfiles del contorno 1 tienen grados de erosión que van de leve hasta muy fuerte, los cuales presentan porcentajes de cobertura vegetal que varían de perfil a perfil. En primer término, la erosión es notoria en las características morfológicas como la pérdida de horizontes y consecuente disminución de la profundidad, como es el caso del Perfil IT-10 que presenta un horizonte BC, contrario al horizonte AB del Perfil IT-11 el cual es un perfil regenerado gracias a la cobertura que le da el sotobosque; el Perfil IT-12 presenta un horizonte superficial BC el cual ha sido lavado presentando un bajo contenido en MO y una CIC también baja, ha perdido gran parte de sus arcillas y no presenta estructura granular ni color oscuro, aunado a una densidad aparente alta; sin embargo, presenta un menor contenido de materiales en comparación con el Perfil IT-10.

3.3.2.2 Contorno 2

En este contorno los perfiles se clasificaron con los siguientes grados de erosión:

Perfil IT-04: Leve

Perfil IT-06: Muy fuerte

Perfil IT-05: Severa.

La profundidad del perfil IT-05 es mínima, de tan solo 3 cm en su único horizonte C, comparada con los más de 75 cm de profundidad del Perfil IT-04, el cual exhibe un horizonte AB ausente en los demás perfiles (**Figura 3.47a**), por otro lado, el porcentaje de afloramientos rocosos también es mayor en los perfiles IT-06 e IT-05 a causa de las aguas de escorrentía que arrastra las fracciones más finas, dejando en la superficie los materiales más gruesos (**Figura 3.47b**). En el caso del sistema radicular, el Perfil IT-04 presenta un desarrollo radicular mayor en su horizonte superficial y este va disminuyendo conforme aumenta la profundidad, de la misma forma que lo hace conforme aumentan los grados de erosión en los perfiles del contorno (**Figura 3.47c**), sin embargo, en el caso del tamaño de las raíces del horizonte BC del Perfil IT-04, es menor comparado con el tamaño de las raíces del horizonte más profundo, esto puede deberse a la presencia de

raíces de árboles cercanos al perfil como *Crataegus monogyna* cuyas raíces exploran el suelo hacia la profundidad (Calaza, 2007).

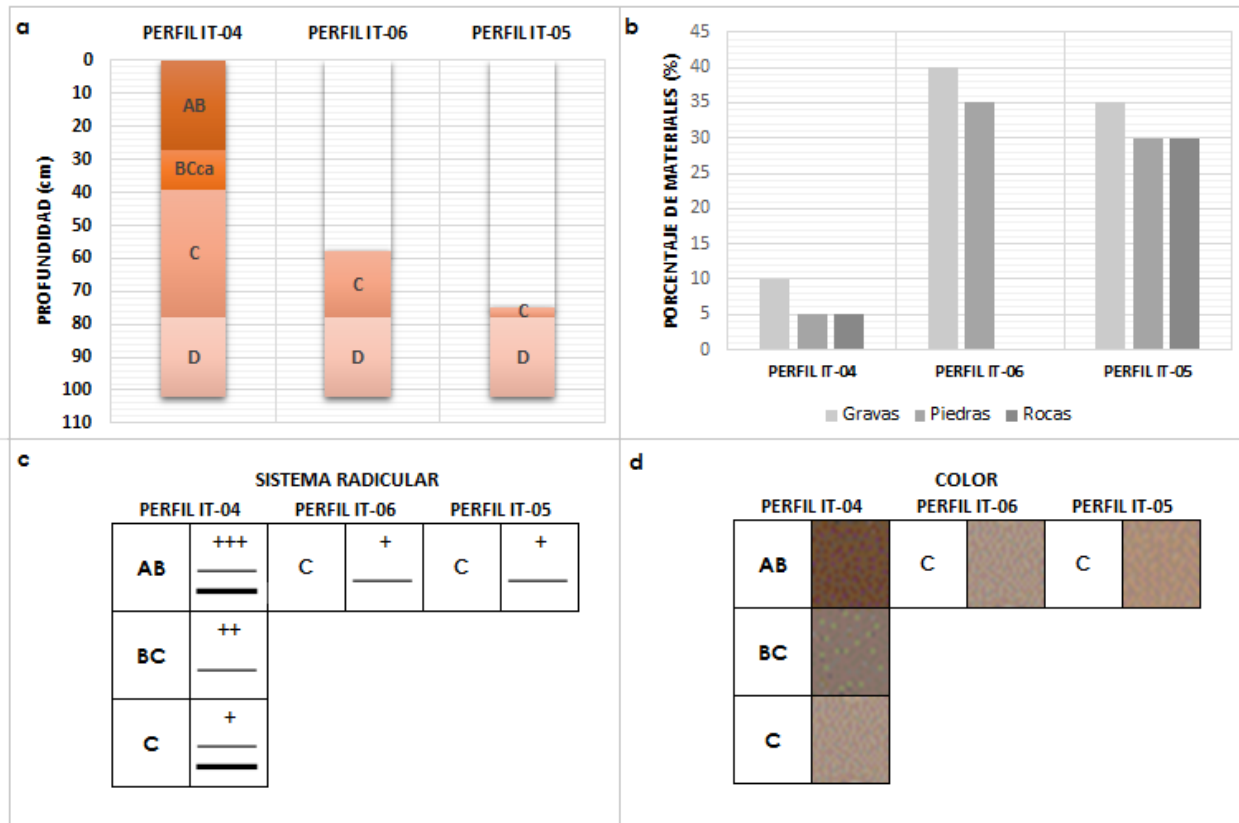


Figura 3.47. Características morfológicas de los perfiles del contorno 2.

(a) Profundidad de los perfiles. En el eje x se muestra el número de los perfiles, en el eje y se muestra la profundidad en cm de los perfiles del suelo, el horizonte de cada perfil se indica dentro de las barras y con colores diferenciados para cada tipo de horizonte. En transparente se muestra el suelo que se ha perdido con respecto al perfil patrón. **(b)** Afloramientos rocosos. En el eje x se muestra el número de los perfiles, en el eje y se muestra el porcentaje del contenido en materiales (gravas, piedras y rocas) presentes en la superficie del suelo, cada tipo de material se muestra de un color distinto. **(c)** Sistema radicular. El número de perfil se muestra en la parte superior del cuadro, las letras mayúsculas en sentido vertical son los horizontes de los perfiles. El desarrollo radicular presenta la siguiente simbología: (+) poco desarrollado, (++) medianamente desarrollado, (+++) desarrollado, (++++) muy desarrollado. Tamaño de las raíces: — finas, — medias, — gruesas, — muy gruesas (Ver **Tabla 3.6**). **(d)** Color. Las mayúsculas en sentido vertical se refieren a los horizontes de los perfiles, en la parte superior del cuadro se encuentran el número de los perfiles, el color es el correspondiente al código determinado en la tabla Munsell.

La intensidad del color es más fuerte en el horizonte AB del Perfil IT-04 y va disminuyendo conforme aumenta la profundidad y conforme aumentan los grados de erosión (**Figura 3.47d**), teniendo un color más parecido al del material parental, situación similar a lo encontrado por Brunel y Seguel (2011) quienes describieron diferencias notorias en el

color de los horizontes afectados por la disminución de su espesor, los cuales implican colores visiblemente más claros en horizontes que presentan remoción de suelo.

En el caso de la estructura en este contorno (**Figura 3.48a**), el cambio es visible sólo conforme aumenta la profundidad del Perfil IT-04 ya que los agregados en todos los casos son subangulares, únicamente en el horizonte C de este perfil no presenta agregados subangulares pequeños. Por el contrario, la DA (**Figura 3.48b**) sí se ve afectada conforme aumentan los grados de erosión ya que los perfiles IT-06 e IT-05, presentan una densidad mayor en comparación con el horizonte superficial del perfil más conservado ya que la pérdida de MO por erosión altera la DA (Hincapié y Salazar, 2011).

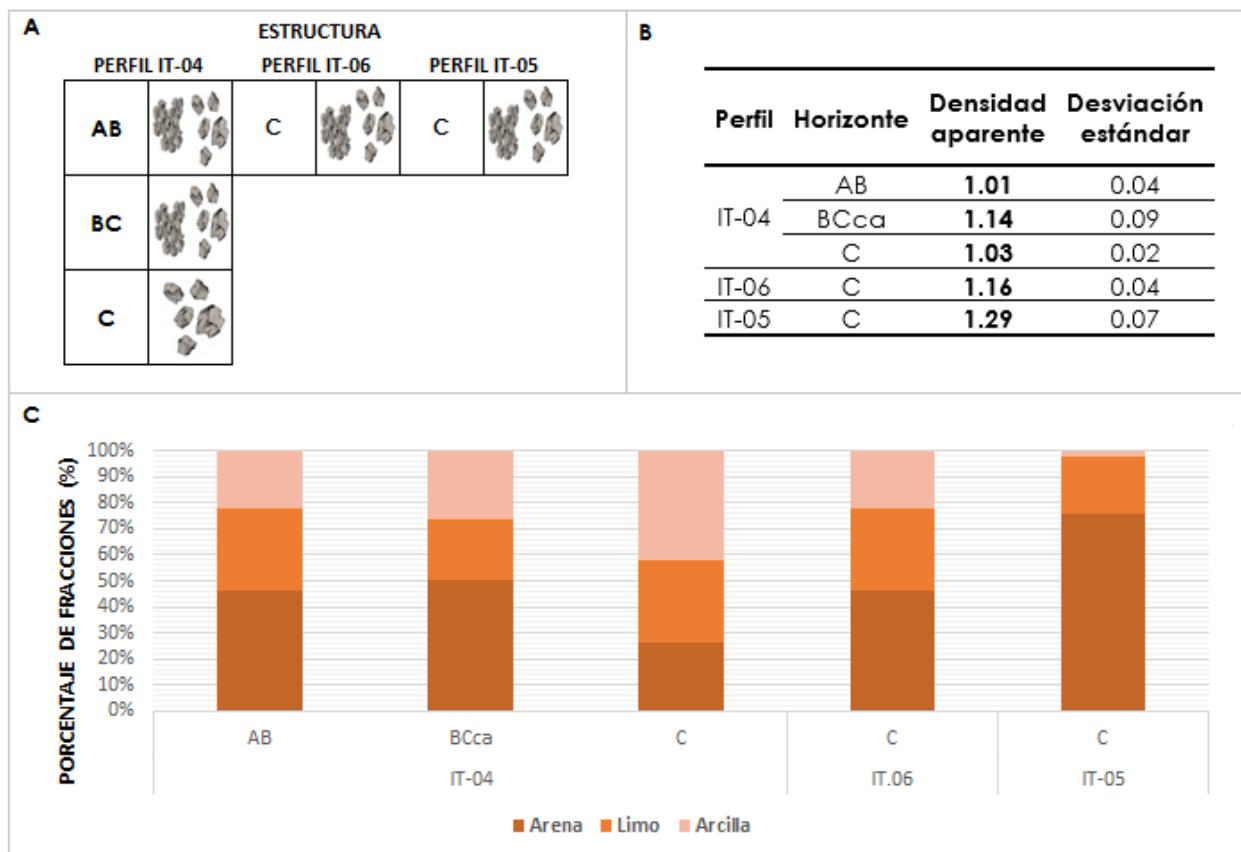


Figura 3.48. Propiedades físicas de los perfiles del contorno 2.

- (a) Estructura. El número de perfil se muestra en la parte superior del cuadro, las letras mayúsculas en sentido vertical son los horizontes de los perfiles (**Ver Tabla 3.6**). (b) Densidad aparente \pm desviación estándar de los horizontes de cada perfil (c) Textura. En el eje x se muestran los perfiles con sus respectivos horizontes, en el eje y se muestra el porcentaje de fracciones, las fracciones de arena, limo y arcilla se muestran con colores diferenciados.

Con relación a las fracciones, las arcillas se presentan en menor contenido a nivel superficial y van aumentando con la profundidad (Lozano *et al.*, 2002) a su vez, este contenido, disminuye conforme aumentan los grados de erosión como en los horizontes C de los perfiles más erosionados (**Figura 3.48c**).

La remoción del suelo a causa del agua de escorrentía disminuye el contenido de carbono orgánico en las capas superficiales (Malhi *et al.*, 1994), el horizonte AB del Perfil IT-04 presenta un contenido de MO mayor al de sus horizontes subsuperficiales (**Figura 3.49a**), en el caso del horizonte C de este perfil, el contenido es similar al de los perfiles más erosionados. De la misma forma, el contenido de N total de los perfiles IT-05 e IT-06 es alrededor de tres veces menor al contenido total de N del perfil más conservado (**Figura 3.49b**).

El contenido en carbonatos aumenta conforme aumenta la profundidad siendo de 1.6% en el horizonte AB a 5.4% en el horizonte C del Perfil IT-04, estos valores son similares a los descritos por Samaniego *et al.*, 2001, en suelos con distintas profundidades, encontrando que, el alto contenido en carbonatos se asocia con una baja disponibilidad de nutrientes y bajos rendimientos de cultivo; de igual forma, el Perfil IT-05 presenta un contenido en carbonatos mucho mayor comparado con los demás perfiles (**Figura 3.49c**). En el caso del pH, no se observan diferencias entre los distintos horizontes, a excepción del horizonte AB del Perfil IT-04 el cual presenta un pH menor y es considerado como moderadamente ácido (**Figura 3.49d**). La CIC se ve diezmada conforme aumentan los grados de erosión (**Figura 3.49e**), ya que esta depende del contenido de MO y de arcillas, las partículas finas como la arcilla y MO son las primeras en ser arrastradas por el agua, dejando una menor CIC como la observada en el Perfil IT-05, por lo tanto la pérdida de nutrientes es mayor; en este caso las bases cambiables como el K y el Na también son arrastradas de los horizontes del perfil, en el caso del K su mayor arrastre se da por el drenaje subsuperficial (Prado y Veiga, 1994). Las bases cambiables como Ca y Mg no presentan una diferencia evidente de acuerdo con los grados de erosión (**Figura 3.49f**).

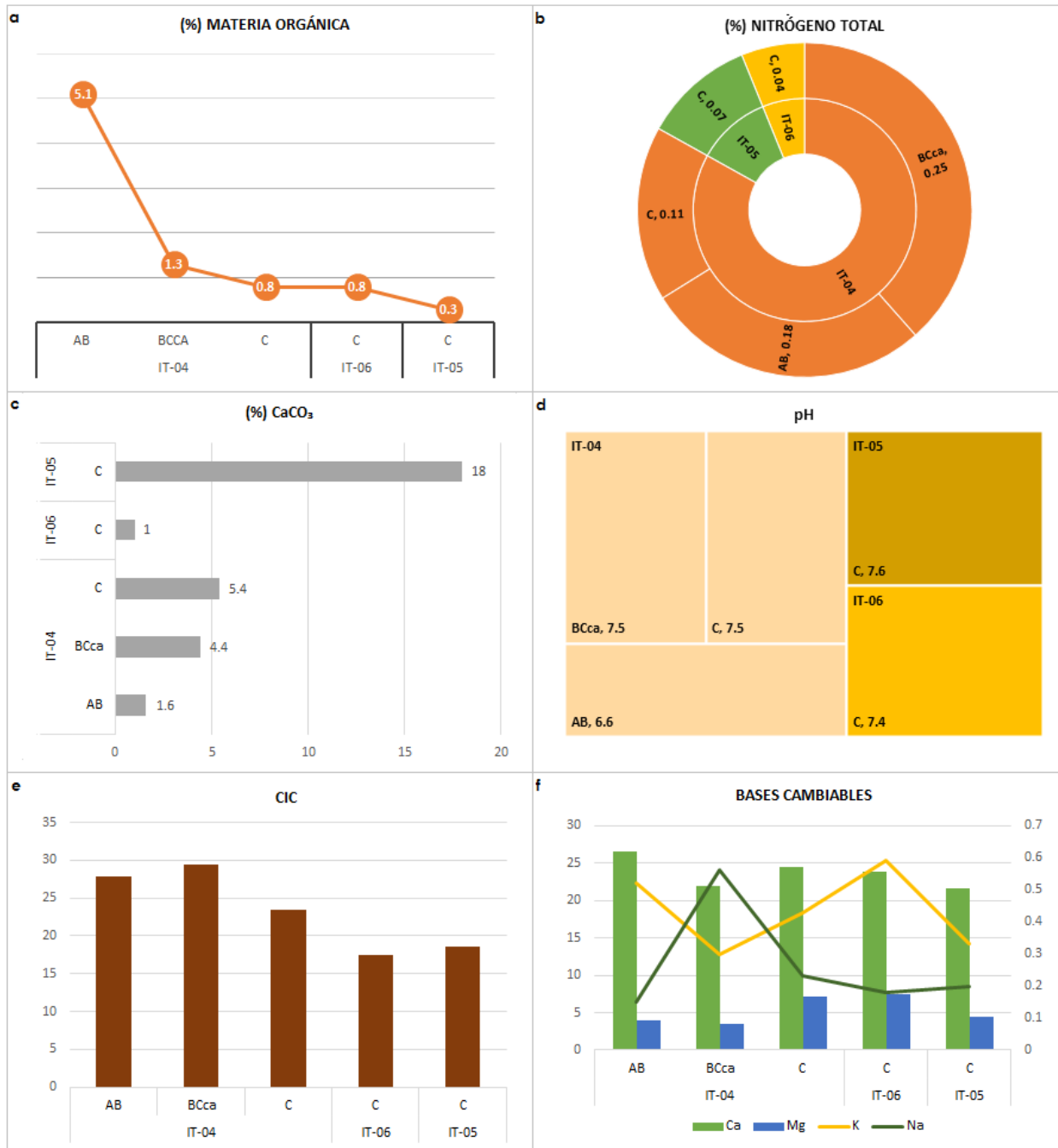


Figura 3.49. Propiedades químicas de los perfiles del contorno 2

(a) Materia orgánica. En el eje x se muestra los perfiles con sus respectivos horizontes, en el eje y se muestra el porcentaje de MO. **(b)** Nitrógeno total. En las zonas externas del círculo se muestran los horizontes y el valor del contenido en N expresado en porcentaje, en la zona interna del círculo se muestran los perfiles los cuales se diferencian por color. **(c)** Carbonatos. En el eje x se muestra el porcentaje, en el eje y se muestran los números del porcentaje de carbonatos. **(d)** pH. Cada color representa a un perfil y cada rectángulo representa un horizonte de ese perfil el cual muestra el valor obtenido de pH. **(e)** CIC. En el eje x se muestran los perfiles y horizontes, en el eje y se muestra la unidad de Cmol (+) Kg. **(f)** Bases cambiables. en el eje x están los perfiles y horizontes, en barras se muestra el Ca y el Mg, mientras que en líneas se muestra el K y el Na.

En este contorno las UFC de los microorganismos determinados son variables (**Figura 3.50a**), sin embargo, se observa una mayor cantidad de UFC de actinomicetos conforme aumentan los grados de erosión, resultados similares a los encontrados por Domínguez (2015) en suelos erosionados.

La DHA es mayor en el Perfil IT-04 y menor en el Perfil IT-05 (**Figura 3.50b**), sin embargo, al agregarse un sustrato de fácil degradación y altamente energético se produce un incremento notable de la actividad deshidrogenasa (Actividad biológica potencial) que, de acuerdo con Martínez-Cruz *et al.*, (2001), es un indicativo de la pérdida de MO biodegradable.

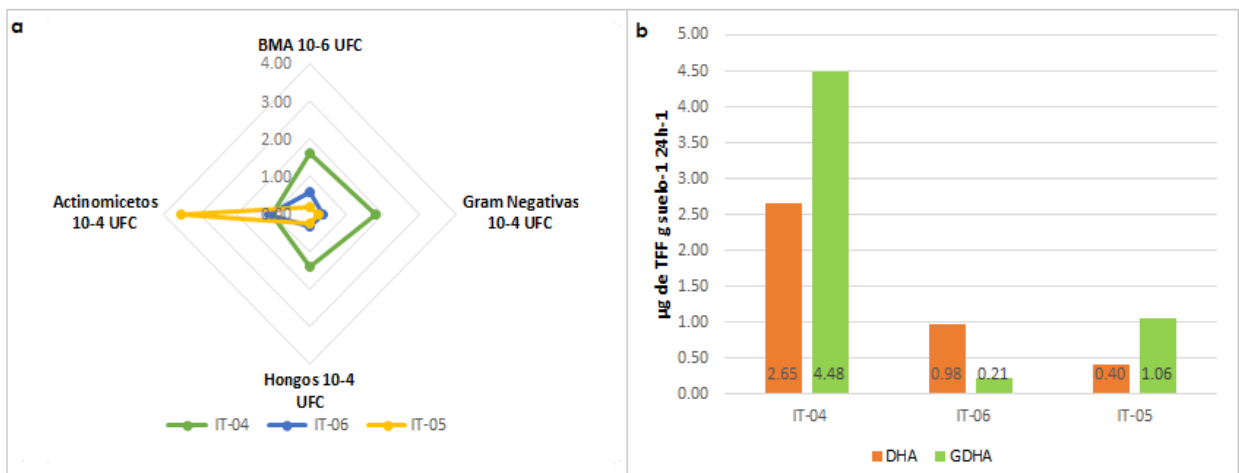


Figura 3.50. Propiedades biológicas de los perfiles del contorno 2.

(a) El resultado se muestra en unidades formadoras de colonias (UFC) en cuanto a los diferentes grupos de microorganismos en cada esquina, los perfiles se diferencian por color. (b) En el eje y unidades expresadas en $\mu\text{g de TFF g suelo}^{-1} 24\text{h}^{-1}$, en el eje x número de perfiles, los valores de la actividad de la enzima deshidrogenasa (DHA) y Glucosa deshidrogenasa (GDHA) se encuentran diferenciadas por color y sus valores dentro de las barras.

Los perfiles IT-05 e IT-06 del contorno 2 presentan una pérdida de suelo mayor a la tasa de formación de este (**Tabla 3.52**), en el caso del Perfil IT-04, el factor erosionabilidad (K) es alto, ya que toma en cuenta el contenido de MO y la textura, sin embargo, lo que disminuye la pérdida de suelo es el factor de cobertura vegetal (C) ya que la cobertura es entre el 80 y 100%. Por otro lado, es este mismo factor el que afecta el resultado de la pérdida de suelo en el Perfil IT-05 ya que presenta una cobertura vegetal menor al 10%.

Tabla 3.52. Cálculo de pérdidas de suelo del contorno 2

Perfil	Grado de erosión	Factor erosividad R	Factor erosionabilidad K	Factor Topográfico LS	Factor cobertura vegetal C	Pérdida ton/ha año
IT-04	Leve a moderada	2426.40	0.042	4.148	0.01	4.23
IT-06	Muy fuerte	2426.40	0.06	4.148	0.1	60.38
IT-05	Severa	2426.40	0.024	4.148	1	241.53

Fuente: Elaboración propia (2016)

En resumen, el Perfil IT-04 se encuentra con menor grado de erosión presentando una mayor cobertura vegetal respecto a los demás perfiles los cuales se encuentran desprotegidos, a pesar de esto la cobertura de este perfil es únicamente de pasto y ya presenta erosión en cárcavas. En este perfil el suelo era arcilloso, pero ha perdido esta fracción a causa de la porosidad del suelo, ya que es por los poros por donde la arcilla y la MO han sido arrastradas a causa del agua de escorrentía provocando una erosión subsuperficial. El Perfil IT-05 ha perdido toda la arcilla, se encuentra desprovisto de vegetación, su mayor fracción es de arena presentando un alto grado de erosión laminar, tiene una profundidad menor a la de los demás perfiles y un mayor contenido de materiales, al igual que el Perfil IT-06 que, a causa del intenso cultivo, se ha modificado su estructura dejando a la arena como fracción predominante con un alto contenido en carbonatos y un bajo desarrollo radicular.

3.3.2.3 Contorno 3

Los grados de erosión determinados en estos perfiles son:

Perfil IT-13: Moderada a fuerte

Perfil IT-09: Fuerte

Perfil IT-08: Muy fuerte

Los perfiles IT-09 e IT-08 tienen un menor número de horizontes en comparación con el perfil menos erosionado (IT-13) (**Figura 3.51a**). La situación con el afloramiento rocoso en la superficie es similar a la de los contornos 1 y 2, donde en el Perfil IT-08 es del 95%, mientras que el perfil mejor conservado no presenta afloramientos rocosos en su superficie (**Figura 3.51b**), la pérdida de suelo hace que las gravas, piedras y rocas se reagrupen al perderse el suelo que las mantenía separadas (Domínguez, 2015) dejando

en la superficie un alto porcentaje de estos materiales. El sistema radicular (**Figura 3.51c**), es más desarrollado en el horizonte superficial del Perfil IT-09 y menos desarrollado en los horizontes subsuperficiales, así como con menor grado de desarrollo en los perfiles con grados de erosión más altos.

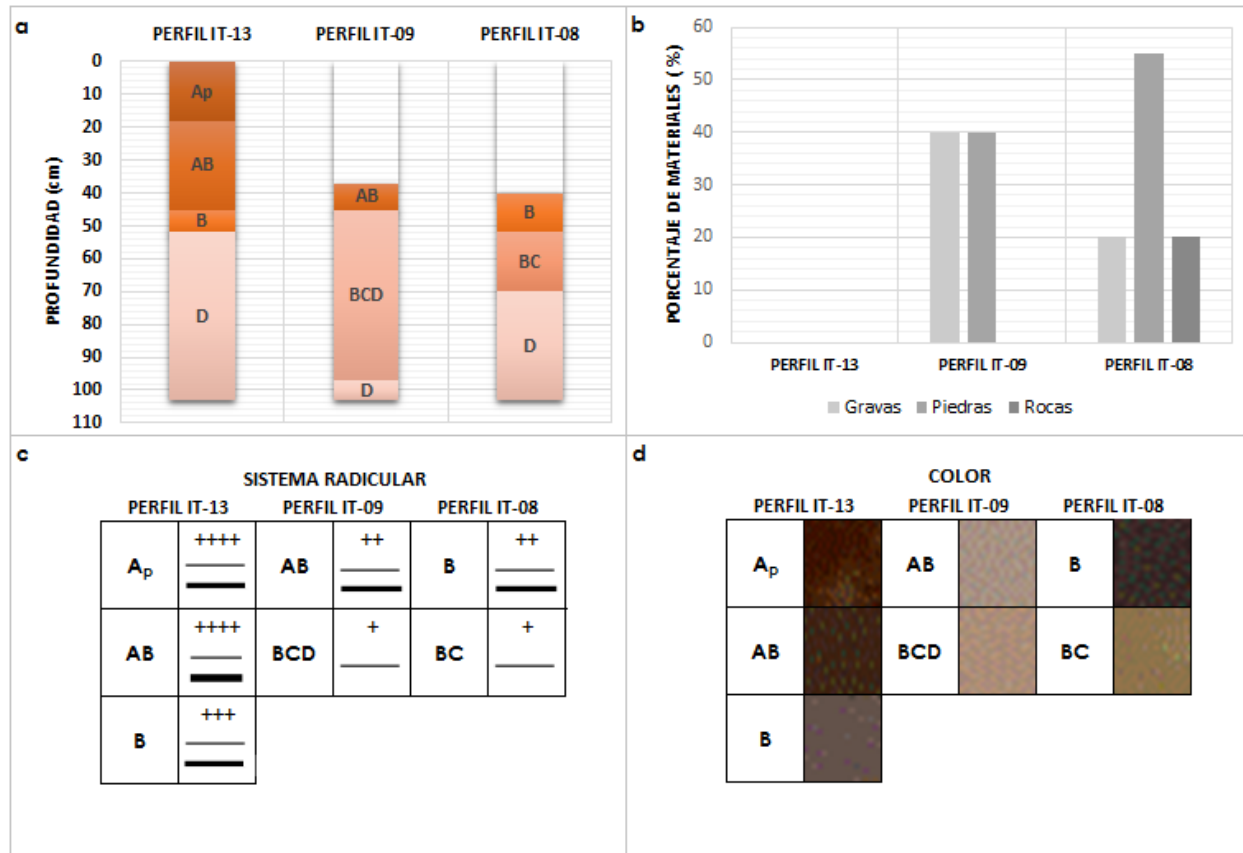


Figura 3.51. Características morfológicas de los perfiles del contorno 3.

(a) Profundidad de los perfiles. En el eje x se muestra el número de los perfiles, en el eje y se muestra la profundidad en cm de los perfiles del suelo, el horizonte de cada perfil se indica dentro de las barras y con colores diferenciados para cada tipo de horizonte. En transparente se muestra el suelo que se ha perdido con respecto al perfil patrón. **(b)** Afloramientos rocosos. En el eje x se muestra el número de los perfiles, en el eje y se muestra el porcentaje del contenido en materiales (gravas, piedras y rocas) presentes en la superficie del suelo, cada tipo de material se muestra de un color distinto. **(c)** Sistema radicular. El número de perfil se muestra en la parte superior del cuadro, las letras mayúsculas en sentido vertical son los horizontes de los perfiles. El desarrollo radicular presenta la siguiente simbología: (+) poco desarrollado, (++) medianamente desarrollado, (+++) desarrollado, (++++) muy desarrollado. Tamaño de las raíces: — finas, ——— medias, ————— gruesas, ————— muy gruesas (Ver **Tabla 3.6**). **(d)** Color. Las mayúsculas en sentido vertical se refieren a los horizontes de los perfiles, en la parte superior del cuadro se encuentran el número de los perfiles, el color es el correspondiente al código determinado en la tabla Munsell.

En el caso del color, el horizonte B del perfil más erosionado presenta un color más oscuro que el resto de los horizontes (**Figura 3.51d**), esto podría deberse a que en el caso del Perfil IT-13, el horizonte superficial es un Ap, el cual es un horizonte perturbado, sometido

constantemente a la agricultura, presentando un color pardo oscuro descrito también por Mosquera *et al.*, (2007) quienes caracterizan este tipo de horizonte, como un horizonte empobrecido en arcilla y más rico en arena con color pardo o pardo fuerte.

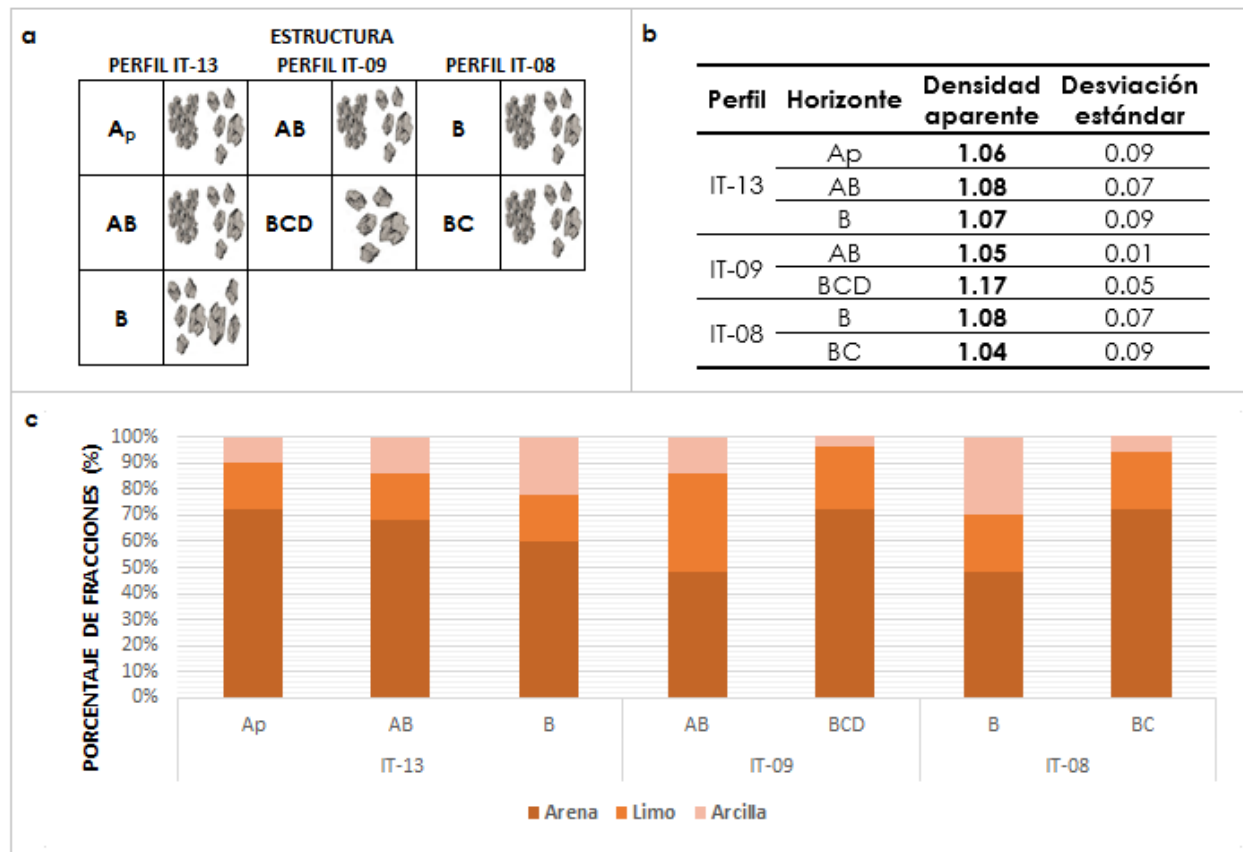


Figura 3.52. Propiedades físicas de los perfiles del contorno 3.

- (a) Estructura. El número de perfil se muestra en la parte superior del cuadro, las letras mayúsculas en sentido vertical son los horizontes de los perfiles (**Ver Tabla 3.6**). (b) Densidad aparente \pm desviación estándar de los horizontes de cada perfil (c) Textura. En el eje x se muestran los perfiles con sus respectivos horizontes, en el eje y se muestra el porcentaje de fracciones, las fracciones de arena, limo y arcilla se muestran con colores diferenciados.

La estructura en los horizontes de los perfiles es subangular de agregados pequeños y medianos, solo en el horizonte más profundo del perfil más conservado se observa agregados subangulares grandes (**Figura 3.52a**), de la misma forma no se observan diferencias en la DA de los horizontes presentes en este contorno (**Figura 3.52b**), a excepción del horizonte BCD del Perfil IT-09 la cual es ligeramente mayor a la de los demás horizontes. El porcentaje de la fracción arcillas, varía conforme aumenta la profundidad y los grados de erosión, únicamente en el caso del Perfil IT-13, mientras que en los otros perfiles de este contorno es distinto, ya que presentan un mayor porcentaje

en los horizontes superficiales de los perfiles (**Figura 3.52c**). Prado y Veiga (1994) mencionan que el comportamiento de este factor puede variar principalmente de acuerdo al tipo de suelo, por otro lado, Schertz (1985) observó un aumento de la cantidad de arcilla en la capa superficial del suelo cuando la erosión paso de leve a severa.

En cuanto al contenido de MO el horizonte Ap del perfil más conservado presenta el mismo porcentaje que el horizonte B del perfil más erosionado (**Figura 3.53a**), mientras que el Perfil IT-09 presenta un horizonte superficial con menor contenido en MO, esto concuerda con el color determinado en los horizontes de este contorno, en donde la intensidad del color es menor en el perfil con menor porcentaje de MO, hallazgos similares encontraron Bautista-Zuñiga *et al.*, (2002), quienes reportan en horizontes superficiales, una disminución de la intensidad de color, respecto al contenido de MO. En el caso del N total, se puede observar un mayor contenido en el perfil determinado como el de menor grado de erosión (**Figura 3.53b**), Izaurralde *et al.*, (2006), encontraron un cambio en las propiedades del suelo en parcelas sometidas a erosión simulada, en donde el N total descendió respecto al testigo sin erosión. El contenido en carbonatos es notablemente más alto en el perfil más erosionado de este contorno (**Figura 3.53c**), lo cual refleja la pérdida de los horizontes superficiales (Domínguez, 2015). En cuanto al pH, los horizontes Ap y AB del Perfil IT-13 presentan un pH más ácido en comparación con el resto de los horizontes (**Figura 3.53d**), lo cual probablemente se deba a el efecto acidificante de los abonos (González-Fernández *et al.*, 2003). Sanzano *et al.*, (2005), encontraron diferencias significativas en CIC determinada en pastizal y CIC determinada en parcelas con labranza convencional, siendo mayor en el primer caso, esto probablemente podría explicar por qué, a pesar de presentar un grado de erosión más elevado en los perfiles IT-09 e IT-08 respecto al perfil patrón, estos muestran una mayor CIC (**Figura 3.53e**); cabe resaltar que el uso de suelo de este perfil es el de agricultura de temporal, mientras que el de los perfiles más erosionados de este contorno es de pastizal. La situación se repite en las bases cambiables (**Figura 3.53f**), ya que aumentan conforme lo hacen los grados de erosión, situación muy distinta a la encontrada en los contornos 1 y 2; de acuerdo con Prado y Veiga (1994) la dinámica de las propiedades varía de perfil a perfil, cada situación es específica y no siempre se pueden extrapolar.



Figura 3.53. Propiedades químicas de los perfiles del contorno 3

- (a)** Materia orgánica. En el eje x se muestra los perfiles con sus respectivos horizontes, en el eje y se muestra el porcentaje de MO. **(b)** Nitrógeno total. En las zonas externas del círculo se muestran los horizontes y el valor del contenido en N expresado en porcentaje, en la zona interna del círculo se muestran los perfiles los cuales se diferencian por color. **(c)** Carbonatos. En el eje x se muestran los perfiles con sus respectivos horizontes y junto a las barras se muestra el valor del porcentaje de carbonatos. **(d)** pH. Cada color representa a un perfil y cada rectángulo representa un horizonte de ese perfil el cual muestra el valor obtenido de pH. **(e)** CIC. En el eje x se muestran los perfiles y horizontes, en el eje y se muestra la unidad de Cmol (+) Kg. **(f)** Bases cambiables. En el eje x están los perfiles y horizontes, en barras se muestra el Ca y el Mg, mientras que en líneas se muestra el K y el Na.

A pesar de no presentar un bajo porcentaje de cobertura vegetal y tener un contenido medio de MO, las unidades formadoras de colonias (UFC) son mucho menores en el perfil con mayor grado de erosión (**Figura 3.54a**), esto probablemente se deba al contenido de carbonatos que limita el desarrollo de la mayoría de los microorganismos (Domínguez, 2015). Por otro lado, los microorganismos con mayor presencia en todos los casos son las bacterias mesófilas aerobias las cuales tiene mayor capacidad de adaptación a distintos ambientes. En concordancia con las UFC, la actividad deshidrogenasa es mayor en los perfiles con menor grado de erosión (**Figura 3.54b**), con similar resultado para la actividad biológica potencial con la adición de glucosa (GDHA).

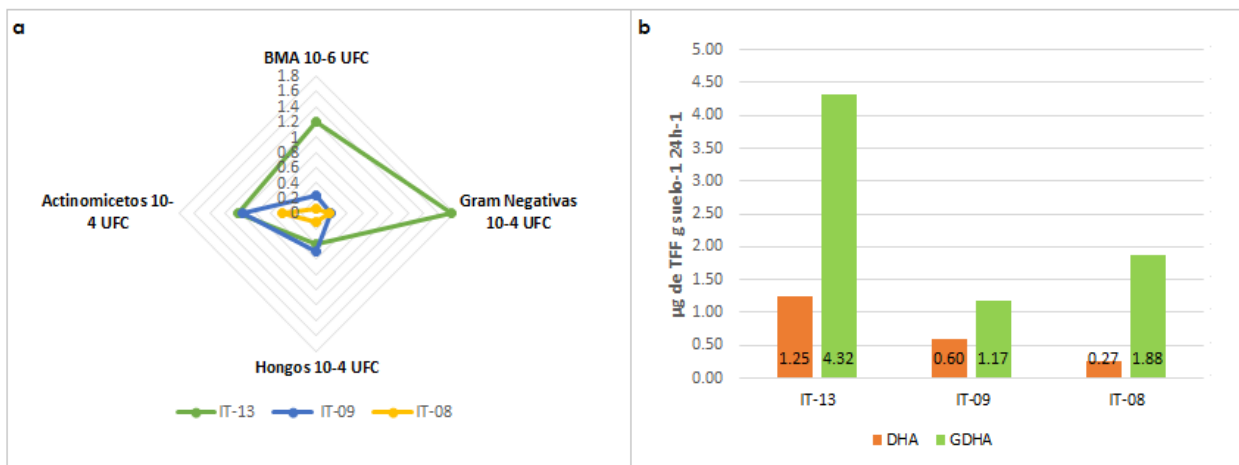


Figura 3.54. Propiedades biológicas de los perfiles del contorno 3.

(a) El resultado se muestra en unidades formadoras de colonias (UFC) en cuanto a los diferentes grupos de microorganismos en cada esquina, los perfiles se diferencian por color. (b) En el eje y unidades expresadas en $\mu\text{g de TFF g suelo}^{-1} 24\text{h}^{-1}$, en el eje x número de perfiles, los valores de la actividad de la enzima deshidrogenasa (DHA) y Glucosa deshidrogenasa (GDHA) se encuentran diferenciadas por color y sus valores dentro de las barras.

La pérdida de suelo en el contorno 3 va desde 2.09 ton/ha al año en el perfil con erosión moderada, a 68.56 ton/ha al año en el perfil con erosión muy fuerte, el cual presenta mayor pérdida a causa del factor erosionabilidad, siendo el más alto comparado con los demás perfiles de este contorno (**Tabla 3.53**). A pesar de esto, las pérdidas de suelo no son mayores gracias a la cobertura que les brinda el pasto.

Tabla 3.53. Cálculo de pérdidas de suelo del contorno 3

Perfil	Grado de erosión	Factor erosividad R	Factor erosionabilidad K	Factor Topográfico LS	Factor cobertura vegetal C	Pérdida ton/ha año
IT-13	Moderada a fuerte	2426.40	0.019	4.537	0.01	2.09
IT-09	Fuerte	2426.40	0.042	3.899	0.1	39.73
IT-08	Muy fuerte	2426.40	0.021	6.116	0.1	68.56

Fuente: Elaboración propia (2016)

En resumen, el Perfil IT-13 presenta menor grado de erosión respecto a los demás perfiles, sin embargo, presenta una erosión moderada a fuerte presentando una estructura subangular mediana representativa de horizontes erosionados, aunque presente color pardo oscuro, este podría ser provocado por la aplicación de fertilizante lo que respondería al pH ácido que presenta el perfil. En comparación, el Perfil IT-08 ha perdido completamente su horizonte A, de cualquier forma, presenta una mayor cantidad de MO que el horizonte AB del Perfil IT-09 el cual probablemente esté en proceso de regeneración teniendo menores pérdidas de suelo que el horizonte más erosionado.

3.3.2.4 Contorno 4

Los grados de erosión determinados en los perfiles de este contorno son:

Perfil IT-03: Moderada a fuerte

Perfil IT-01: Fuerte

Perfil IT-02: Severa

La mayor cantidad de erosión que actualmente se produce es propiciada por la modificación de la estructura del suelo en la temporada lluviosa (Amézquita, 1999), los horizontes superficiales de los perfiles de este contorno se han visto afectados por la escorrentía ya que los perfiles IT-03 e IT-01 sólo presentan un horizonte AB de 5 cm y el perfil con grado de erosión severa (IT-02) presenta tan solo un horizonte CD (**Figura 3.55a**). En este mismo sentido, la pérdida de los elementos finos de los horizontes superficiales a causa del arrastre a través de aguas de escorrentía provoca la destrucción total o parcial de los horizontes hasta llegar a la roca madre dejando a su paso materiales rocosos (Blanco y Perles, 1998), esta situación se observa en el Perfil IT-02 (**Figura 3.55b**),

el cual ha perdido completamente las fracciones finas aflorando sobre la superficie el material parental.

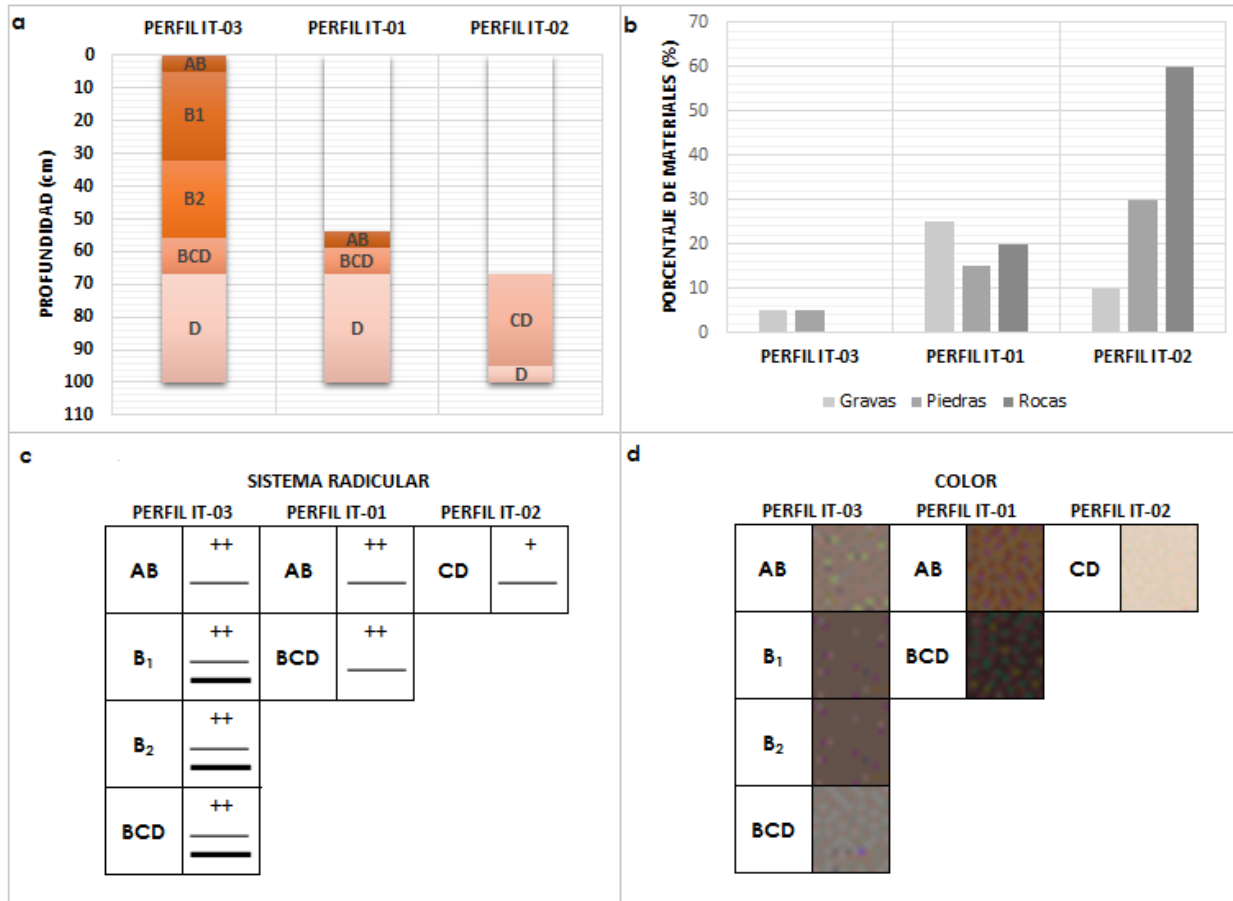


Figura 3.55. Características morfológicas de los perfiles del contorno 4.

(a) Profundidad de los perfiles. En el eje x se muestra el número de los perfiles, en el eje y se muestra la profundidad en cm de los perfiles del suelo, el horizonte de cada perfil se indica dentro de las barras y con colores diferenciados para cada tipo de horizonte. En transparente se muestra el suelo que se ha perdido con respecto al perfil patrón. **(b)** Afloramientos rocosos. En el eje x se muestra el número de los perfiles, en el eje y se muestra el porcentaje del contenido en materiales (gravas, piedras y rocas) presentes en la superficie del suelo, cada tipo de material se muestra de un color distinto. **(c)** Sistema radicular. El número de perfil se muestra en la parte superior del cuadro, las letras mayúsculas en sentido vertical son los horizontes de los perfiles. El desarrollo radicular presenta la siguiente simbología: (+) poco desarrollado, (++) medianamente desarrollado, (+++) desarrollado, (++++) muy desarrollado. Tamaño de las raíces: — finas, ——— medias, ————— gruesas, ————— muy gruesas (Ver **Tabla 3.6**). **(d)** Color. Las mayúsculas en sentido vertical se refieren a los horizontes de los perfiles, en la parte superior del cuadro se encuentran el número de los perfiles, el color es el correspondiente al código determinado en la tabla Munsell.

Este perfil presenta además un sistema radicular poco desarrollado de raíces finas provenientes de pasto cercano al perfil. Cabe resaltar que el desarrollo del sistema radicular en todos los perfiles del contorno apenas es medianamente desarrollado

(Figura 3.55c) debido al tipo de vegetación presente en la zona. Sin embargo, existe la presencia de raíces finas, que, de acuerdo con Porta *et al.*, (2004) son las más funcionales, por lo que su presencia se traduce en mejores condiciones para el suelo.

El horizonte superficial del Perfil IT-01 presenta un color más oscuro comparado con los demás horizontes (Figura 3.55d), probablemente debido al contenido de MO que presenta este perfil, es importante destacar que, a través del color se pueden inferir otras propiedades del suelo, aunque existen colores heredados del material originario, algunos se van adquiriendo a través de la edafogénesis y gran medida es determinado por el tipo de vegetación y cobertura que soporta el suelo (Porta *et al.*, 2004), siendo en este caso una vegetación abundante de pastizal la que prevalece sobre este perfil.

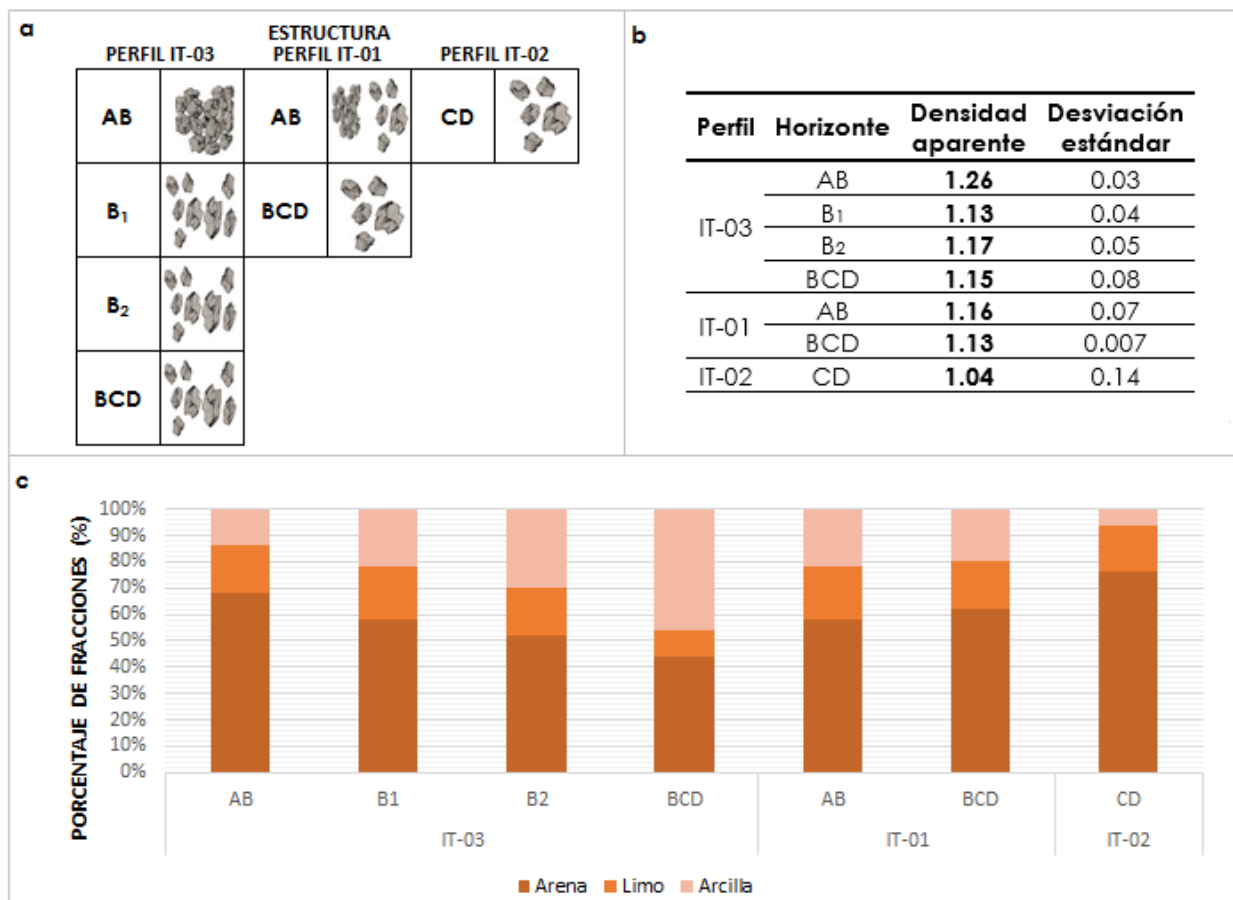


Figura 3.56. Propiedades físicas de los perfiles del contorno 4.

(a) Estructura. El número de perfil se muestra en la parte superior del cuadro, las letras mayúsculas en sentido vertical son los horizontes de los perfiles (Ver Tabla 3.6). (b) Densidad aparente ± desviación estándar de los horizontes de cada perfil. (c) Textura. En el eje x se muestran los perfiles con sus respectivos horizontes, en el eje y se muestra el porcentaje de fracciones, las fracciones de arena, limo y arcilla se muestran con colores diferenciados.

La estructura en los horizontes más profundos es más grande comparada con la de los horizontes superficiales (**Figura 3.56a**), esto se debe, en gran medida a que los procesos edáficos aún no han actuado con la misma intensidad que en la superficie (Domínguez, 2005), además el tamaño estructural es mayor en los horizontes superficiales de los perfiles degradados en comparación con los perfiles mejor conservados, situación similar encontrada en los contornos 1 y 2. Por su parte, la DA se muestra mayor en el horizonte superficial del perfil mejor conservado (**Figura 3.56b**), probablemente a causa del sobrepastoreo de ganado mayor y menor presente en la zona; la degradación de suelos asociada con el sobrepastoreo reduce en gran medida la capacidad del suelo para almacenar el agua, exponiendo a el suelo a los agentes erosivos debido a la disminución de la cubierta vegetal por el pastoreo y a la remoción y compactación del suelo por el pisoteo (Alatorre, 2010).

En este contorno es clara la pérdida de las fracciones finas como la arcilla, la cual aumenta conforme aumenta la profundidad (**Figura 3.56c**), debido a arrastre por agua hacia el subsuelo, en contraste esta fracción disminuye conforme aumentan los grados de erosión siendo menor en el Perfil IT-02 clasificado con un grado de erosión severa. A pesar de esto el porcentaje de estas fracciones es mayor en el horizonte superficial del Perfil IT-01 en comparación con el horizonte superficial del perfil mejor conservado.

El contenido de MO (**Figura 3.57a**) y N total (**Figura 3.57b**) es mayor en el Perfil IT-01, el cual se clasificó con un grado de erosión fuerte, probablemente debido a que, a pesar de tener un menor número de horizontes comparado con el perfil patrón, el Perfil IT-01 es un perfil en regeneración gracias a la cobertura que le brinda el pasto, mientras que el Perfil IT-03 es un perfil que está en proceso de erosión ya que alrededor a él se encuentran cárcavas de aproximadamente un metro de profundidad provocadas por la intensidad de arrastre del agua de escorrentía en periodos largos de tiempo, esto también modifica la estructura y textura del perfil produciendo la pérdida de MO (Prado y Veiga, 1994). Como era de esperarse, el contenido de carbonatos es mayor en el perfil con erosión severa (**Figura 3.57c**), debido a la pérdida de horizontes superiores que dejan en descubierto a los horizontes inferiores ricos en carbonatos (Domínguez, 2015).

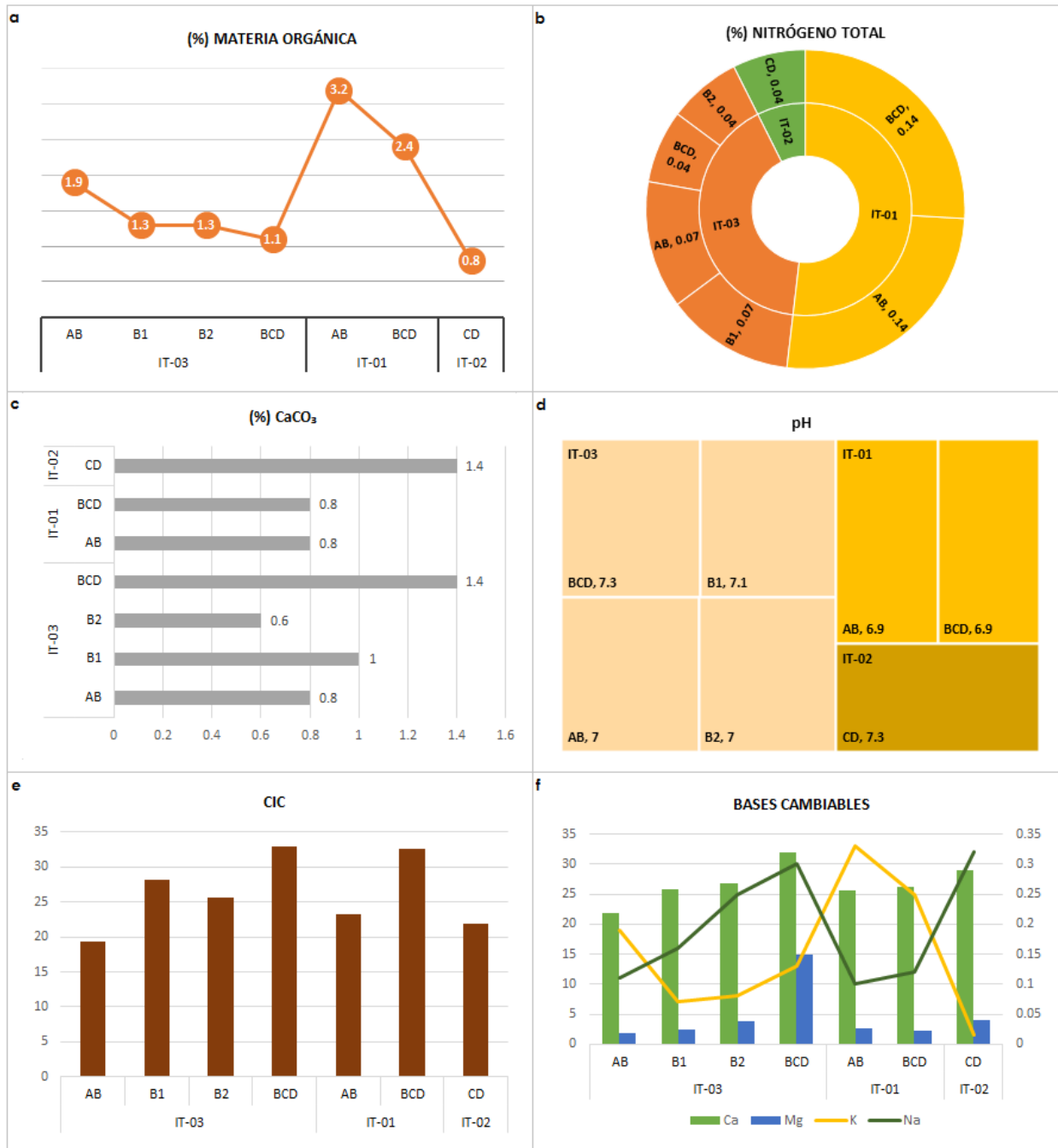


Figura 3.57. Propiedades químicas de los perfiles del contorno 4

- (a)** Materia orgánica. En el eje x se muestra los perfiles con sus respectivos horizontes, en el eje y se muestra el porcentaje de MO. **(b)** Nitrógeno total. En las zonas externas del círculo se muestran los horizontes y el valor del contenido en N expresado en porcentaje, en la zona interna del círculo se muestran los perfiles los cuales se diferencian por color. **(c)** Carbonatos. En el eje x se muestra el porcentaje, en el eje y se muestran los números de perfil con sus respectivos horizontes y junto a las barras se muestra el valor del porcentaje de carbonatos. **(d)** pH. Cada color representa a un perfil y cada rectángulo representa un horizonte de ese perfil el cual muestra el valor obtenido de pH. **(e)** CIC. En el eje x se muestran los perfiles y horizontes, en el eje y se muestra la unidad de Cmol (+) Kg. **(f)** Bases cambiables. En el eje x están los perfiles y horizontes, en barras se muestra el Ca y el Mg, mientras que en líneas se muestra el K y el Na.

Por su parte, el pH de los horizontes presenta valores cercanos a la neutralidad (**Figura 3.57d**), en estas condiciones los elementos nutritivos están más fácilmente disponibles y son valores aptos para cultivo (Garrido, 1994), no obstante, algunas propiedades físicas afectadas por la erosión, probablemente no podrían sustentar el cultivo.

La CIC por su parte es mayor en los horizontes subsuperficiales de los perfiles (**Figura 3.57e**), debido al contenido de arcillas que a su vez explica el aumento de Ca y Mg en estos horizontes (Brunel y Seguel, 2011). Los nutrientes como el K se pierden en su mayoría por el drenaje subsuperficial (Prado y Veiga, 1994) como se puede observar en la **Figura 3.57f** donde el K va disminuyendo conforme aumenta la profundidad, en sentido contrario, el Na se pierde por el arrastre de sedimentos, teniendo un contenido mayor en los perfiles más profundos.

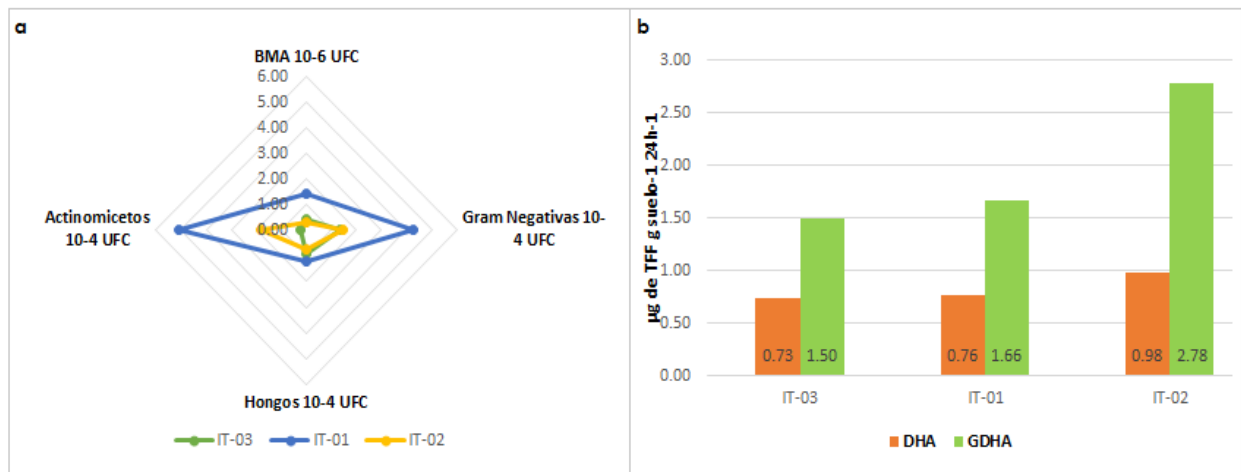


Figura 3.58. Propiedades biológicas de los perfiles del contorno 4.

(a) El resultado se muestra en unidades formadoras de colonias (UFC) en cuanto a los diferentes grupos de microorganismos en cada esquina, los perfiles se diferencian por color. **(b)** En el eje y unidades expresadas en $\mu\text{g de TFF g suelo}^{-1} 24\text{h}^{-1}$, en el eje x número de perfiles, los valores de la actividad de la enzima deshidrogenasa (DHA) y Glucosa deshidrogenasa (GDHA) se encuentran diferenciadas por color y sus valores dentro de las barras.

Los microorganismos del suelo utilizan una fracción de carbono como fuente de energía para su actividad metabólica, alterando la disponibilidad de nutrientes y la estructura del suelo; el mayor contenido de MO de este contorno se encuentra en el Perfil IT-01, lo que responde al mayor contenido de UFC de bacterias mesófilas aerobias (BMA) (**Figura 3.58a**), actinomicetos, hongos y gram negativas. Llama la atención que la cantidad de UFC en los perfiles IT-03 e IT-02 son similares, a pesar de que el presentan un grado de erosión de moderada y severa, respectivamente; a pesar de esto, las UFC de los

actinomicetos se reportan mayores para el perfil con erosión severa, ya que, como se había mencionado anteriormente, en el contorno 2, este grupo abunda en suelos con mayor grado de erosión posiblemente por el potencial que tienen estos microorganismos como agentes de control biológico contra hongos y bacterias (Domínguez, 2015). La GDHA en el Perfil IT-02 aumentó considerablemente, indicando la pérdida de MO fácilmente biodegradable por el arrastre superficial (Martínez, 2001), en el caso de la DHA, es mayor en este perfil, a pesar de ser el más erosionado, no obstante, no presenta grandes diferencias con el resto de los perfiles (**Figura 3.58b**).

Las pérdidas de suelo en el contorno 4 llegan hasta las 165.50 ton/ha al año, el factor que incide en mayor medida es el de cobertura vegetal, que, en el caso del Perfil IT-02 es cero por lo que la pérdida de suelo supera por mucho la tasa de formación de este (**Tabla 3.54**). En el caso del Perfil IT-03 la pérdida de suelo es mayor a la del Perfil IT-01, esto se debe al factor de erosionabilidad el cual toma en cuenta el contenido en MO y la textura del suelo.

Tabla 3.54. Cálculo de pérdidas de suelo del contorno 4

Perfil	Grado de erosión	Factor erosividad R	Factor erosionabilidad K	Factor Topográfico LS	Factor cobertura vegetal C	Pérdida ton/ha año
IT-03	Moderada	2426.40	0.024	2.842	0.1	16.55
IT-01	Fuerte	2426.40	0.021	2.842	0.1	14.48
IT-02	Severa	2426.40	0.024	2.842	1	165.50

Fuente: Elaboración propia (2016)

En resumen, el Perfil IT-03 es el que presenta un menor grado de erosión respecto a los demás perfiles, sin embargo, podría modificarse ya que sus características y propiedades se están viendo afectadas por la erosión actual, el horizonte AB que presenta es un horizonte que ha tenido influencia humana fuerte, tiene una estructura mullida y menor contenido de MO que el Perfil IT-01; en contraste, este perfil a pesar de tener un horizonte AB de baja profundidad presenta una mejor estructura gracias a la cobertura que le brinda el pasto provocando su regeneración. Por otro lado, el Perfil IT-02 tiene bajo porcentaje de MO, pero muestra una actividad biológica potencial alta.

3.3.2.5 Contorno 5

Los grados de erosión determinados en los perfiles de este contorno son:

Perfil IT-16: Moderada

Perfil IT-14: Fuerte

Perfil IT-15: Muy fuerte

Los perfiles IT-14 e IT-15 presentan una profundidad y un número de horizontes menor comparados con el Perfil IT-16 (**Figura 3.59a**), Rubio (1989) reporta que entre los efectos directos de la erosión hídrica sobre el suelo se encuentran la pérdida de horizontes y disminución del espesor efectivo, es decir aquellos horizontes que son productivos y que permiten el desarrollo de las plantas; en este caso, el Perfil IT-15 presenta aproximadamente 55 centímetros perdidos y un horizonte superficial BC. En el mismo sentido, los elementos gruesos del suelo son mayores en los perfiles más erosionados (**Figura 3.59b**) ya que cuando los suelos no cuentan con una cobertura protectora eficiente, la erosión impacta directamente en el suelo, provocando que las gravas, piedras y rocas se reagrupen al perderse el suelo que las mantenía separadas (Domínguez, 2015), situación similar a los contornos discutidos anteriormente. Las raíces permiten a las plantas sujetarse al suelo y adquirir el agua y nutrientes necesarios para realizar sus funciones vitales mediante la formación de una especie de malla que protege el suelo evitando que se desprenda ante los factores que inciden en él, (Valdés, 2010), por lo tanto, al presentar un bajo desarrollo radicular, la erosión es mayor como en el caso del Perfil IT-15 (**Figura 3.59c**) cuyo desarrollo radicular se clasifica como poco desarrollado, sin embargo, aún presenta raíces finas que resisten a la erosión. Por su parte, el color (**Figura 3.59d**) presenta un patrón similar a los contornos discutidos anteriormente, donde a mayor profundidad y mayor grado de erosión, disminuye la intensidad de color debido, probablemente, a la pérdida de MO.

La estructura subangular presente en los horizontes (**Figura 3.60a**) es típica de zonas semiáridas con suelos pobres en MO (Porta *et al.*, 2004), esta degradación de la estructura convierte a las tierras gradualmente menos productivas (Bertoni y Lombardi, 1985. Tomado de Prado y Veiga, 1994), aunado a esto, Azaurralde *et al.*, (2006) determinó que la DA aumenta conforme aumentan los grados de erosión, esto en experimentos sobre parcelas sometidas a erosión controlada, tal como se puede

observar en los horizontes superficiales de los perfiles, siendo la menor densidad en el horizonte B del perfil mejor conservado (**Figura 3.60b**).

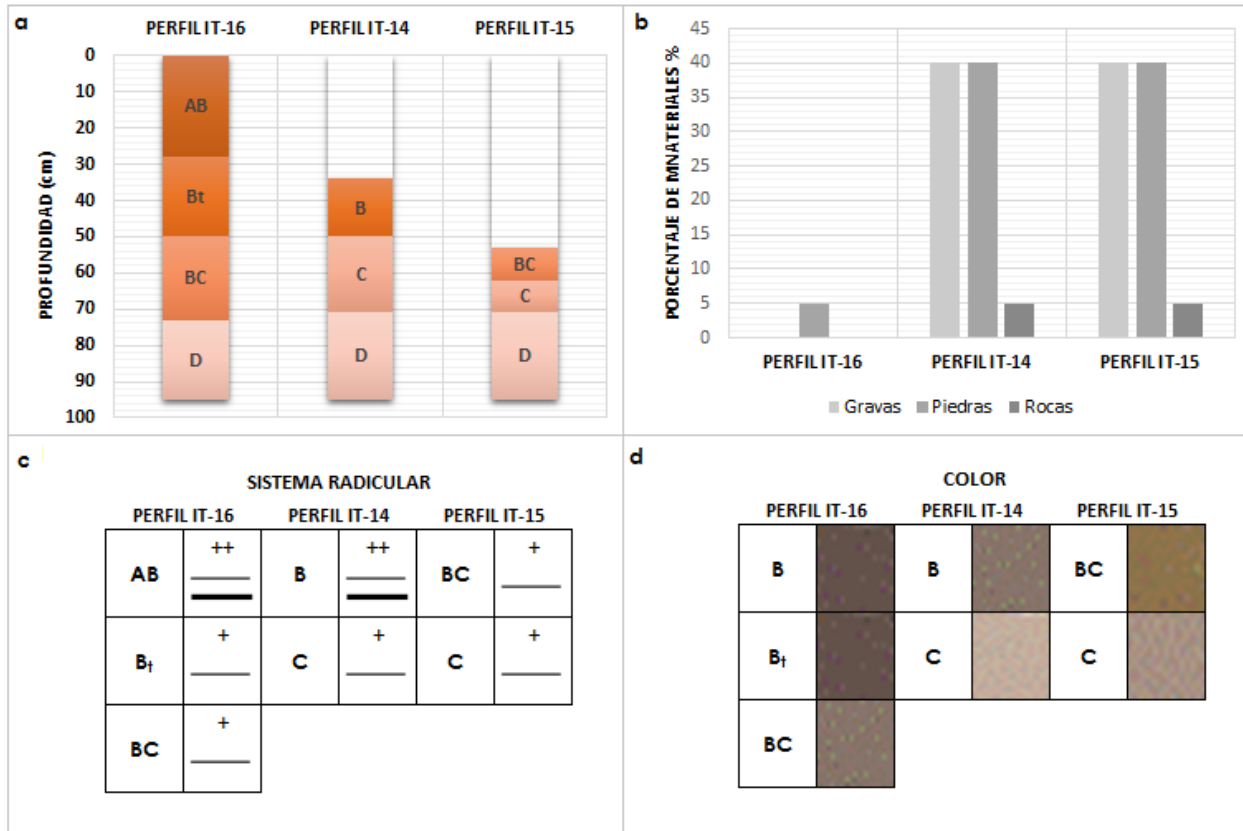


Figura 3.59. Características morfológicas de los perfiles del contorno 5.

(a) Profundidad de los perfiles. En el eje x se muestra el número de los perfiles, en el eje y se muestra la profundidad en cm de los perfiles del suelo, el horizonte de cada perfil se indica dentro de las barras y con colores diferenciados para cada tipo de horizonte. En transparente se muestra el suelo que se ha perdido con respecto al perfil patrón. **(b)** Afloramientos rocosos. En el eje x se muestra el número de los perfiles, en el eje y se muestra el porcentaje del contenido en materiales (gravas, piedras y rocas) presentes en la superficie del suelo, cada tipo de material se muestra de un color distinto. **(c)** Sistema radicular. El número de perfil se muestra en la parte superior del cuadro, las letras mayúsculas en sentido vertical son los horizontes de los perfiles. El desarrollo radicular presenta la siguiente simbología: (+) poco desarrollado, (++) medianamente desarrollado, (+++) desarrollado, (++++) muy desarrollado. Tamaño de las raíces: — finas, — medias, — gruesas, — muy gruesas (Ver **Tabla 3.6**). **(d)** Color. Las mayúsculas en sentido vertical se refieren a los horizontes de los perfiles, en la parte superior del cuadro se encuentran el número de los perfiles, el color es el correspondiente al código determinado en la tabla Munsell.

Por otro lado, en este contorno se puede observar cómo, conforme aumenta la profundidad, el porcentaje de arcillas aumenta y el de arenas disminuye en el Perfil IT-16 (**Figura 3.60c**), mientras que en el Perfil IT-14 el patrón es distinto, presentando un porcentaje de arcillas mayor en el horizonte superficial, probablemente debido a que este perfil se encuentra en una parte baja de la zona con una pendiente del 21% donde

a causa del agua de escorrentía los sedimentos son transportados y depositados en las partes más bajas de la pendiente (Blanco y Perles, 1998); en contraste el Perfil IT-15 no presenta diferencias entre sus horizontes en cuanto al porcentaje de arcillas.

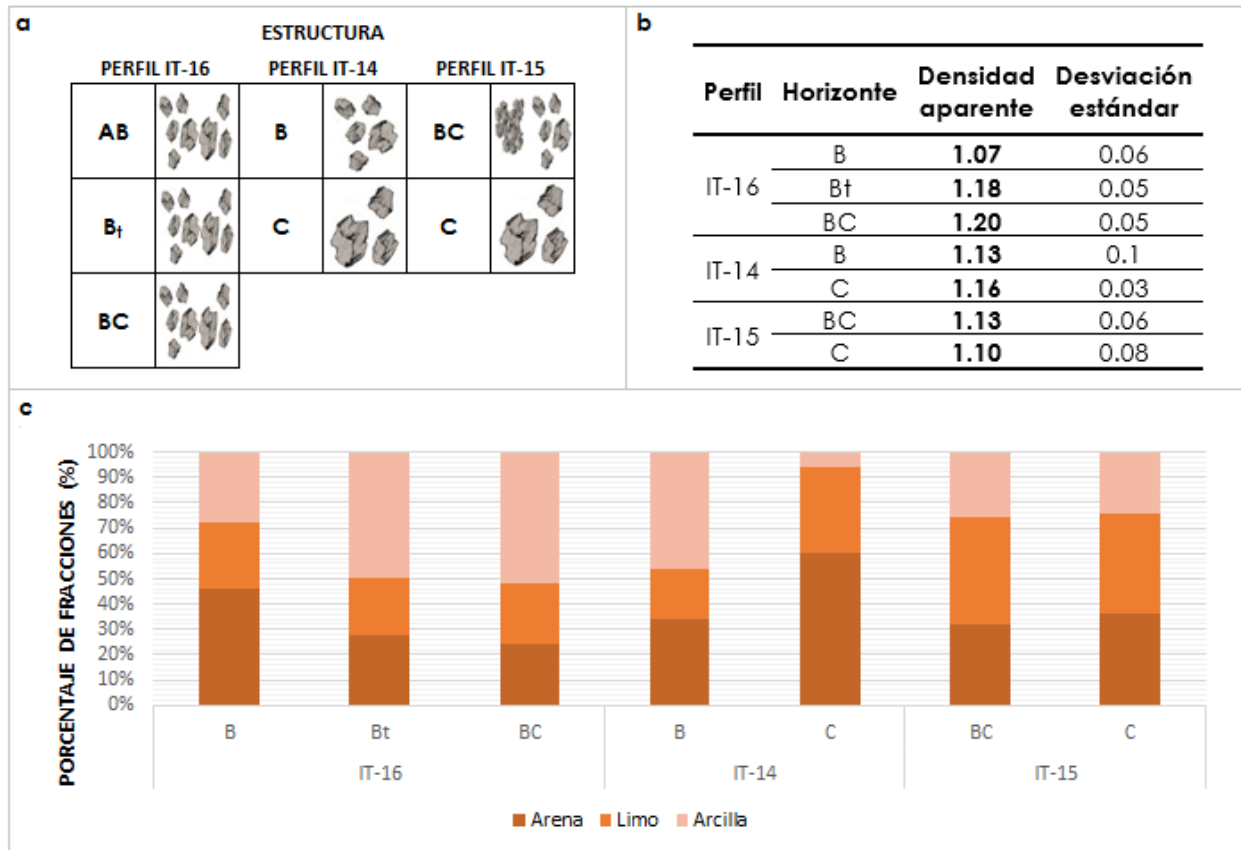


Figura 3.60. Propiedades físicas de los perfiles del contorno 5.

(a) Estructura. El número de perfil se muestra en la parte superior del cuadro, las letras mayúsculas en sentido vertical son los horizontes de los perfiles (Ver **Tabla 3.6**). (b) Densidad aparente \pm desviación estándar de los horizontes de cada perfil. (c) Textura. En el eje x se muestran los perfiles con sus respectivos horizontes, en el eje y se muestra el porcentaje de fracciones, las fracciones de arena, limo y arcilla se muestran con colores diferenciados.

Las propiedades químicas como la MO (**Figura 3.61a**) y N total (**Figura 3.61b**) -las cuales disminuyen conforme aumentan los grados de erosión-; y el contenido en carbonatos (**Figura 3.61c**) -que aumentan conforme aumentan los grados de erosión- se comportan de manera similar a lo descrito en los contornos 1 y 2. El pH por su lado (**Figura 3.61d**) es considerado moderadamente alcalino en el perfil más erosionado, resultados similares encontró Domínguez (2015) en perfiles determinados en parcelas con cultivos tradicionales y con grados de erosión fuerte.



Figura 3.61. Propiedades químicas de los perfiles del contorno 5

- (a)** Materia orgánica. En el eje x se muestra los perfiles con sus respectivos horizontes, en el eje y se muestra el porcentaje de MO. **(b)** Nitrógeno total. En las zonas externas del círculo se muestran los horizontes y el valor del contenido en N expresado en porcentaje, en la zona interna del círculo se muestran los perfiles los cuales se diferencian por color. **(c)** Carbonatos. En el eje x se muestra el porcentaje, en el eje y se muestran los números de perfil con sus respectivos horizontes y junto a las barras se muestra el valor del porcentaje de carbonatos. **(d)** pH. Cada color representa a un perfil y cada rectángulo representa un horizonte de ese perfil el cual muestra el valor obtenido de pH. **(e)** CIC. En el eje x se muestran los perfiles y horizontes, en el eje y se muestra la unidad de Cmol (+) Kg. **(f)** Bases cambiables. en el eje x están los perfiles y horizontes, en barras se muestra el Ca y el Mg, mientras que en líneas se muestra el K y el Na.

Con relación a la CIC, no se muestra una diferencia entre los horizontes superficiales de los perfiles (**Figura 3.61e**), no obstante, en el horizonte más profundo del perfil mejor conservado, la CIC es mayor que en el resto de los horizontes, posiblemente debido al arrastre de las fracciones químicamente activas (Rubio, 1989) hacia los horizontes más profundos; Martínez *et al.*, (2008) mencionan que existen dos tipos de CIC, la permanente proveniente del porcentaje de arcillas y la variable, la cual depende de sustancias húmicas. Por su parte, el K disminuye conforme aumenta la profundidad, mientras que el Na aumenta conforme esta aumenta (**Figura 3.61f**), situación descrita en los contornos anteriores. En este contorno, el Ca no muestra clara dependencia de la erosión, aunque se ha reportado que esté aumenta conforme aumenta la profundidad (Rodríguez *et al.*, 1999); es importante mencionar que las mediciones de Ca realizadas en este estudio se muestran más altas que los parámetros considerados como normales, esto probablemente se deba a que el método para determinar la CIC utilizado (Acetato de amonio) no es el indicado en suelos con pH ligeramente alcalinos (Black, 1965) ya que la solución saturante utilizada en el método puede disolver los carbonatos, yeso y silicatos presentes en el suelo, creando una situación de competencia entre el catión índice y los cationes solubilizados para ocupar sitios de intercambio, situación que se presenta en suelos calcáreos; de acuerdo con Kelley (1951) la determinación cuantitativa de bases cambiables en suelos de clima árido, solo es aproximada y por lo general excede el valor de la capacidad de cambio. Ramírez (1952, tomado de Atuesta, s.f.) también menciona que la suposición de que en la extracción con solución de acetato de amonio remueve solamente cationes intercambiables y solubles no es necesariamente válida, puesto que la solución tiene un efecto solvente sobre minerales que contienen Na, K, Ca y Mg lo que podría explicar los altos valores encontrados en la CIC.

Los actinomicetos edáficos son un grupo nutricionalmente adaptable, Corzo (2011) encontró un mejor desarrollo y multiplicación de este grupo en zonas con disturbios superficiales del suelo; en el presente contorno se encontró un mayor número de UFC de actinomicetos en el perfil con erosión fuerte y en menor medida en el perfil con erosión moderada (**Figura 3.62a**), en contraposición, los hongos son el menor grupo encontrado en este contorno, empero, son frecuentemente el mayor componente microbiano en los suelos, no obstante su frecuencia y abundancia están relacionadas con la cantidad

y calidad de la MO aportada y los métodos de manejo del suelo empleados (Morell *et al.*, 2009).

Con relación a la actividad biológica a través de la DHA, la menor actividad se dio en el perfil con mayor UFC (**Figura 3.62b**), esto probablemente se explique a que, de acuerdo con Nannipieri (1994), la DHA podría estar representando el tamaño y la actividad de la comunidad microbiana viable, es decir, las UFC de BMA, gram negativas, actinomicetos y hongos encontrados en el Perfil IT-14 se pusieron de manifiesto gracias al cultivo empleado, sin embargo, la actividad biológica real no se comporta de la misma forma. A pesar de esto, el conteo por placa es un buen indicador de las propiedades biológicas del suelo en los contornos ya que su expresión se dio en todos los casos bajo las mismas condiciones dándonos una idea general del panorama del estado del suelo en la zona de estudio

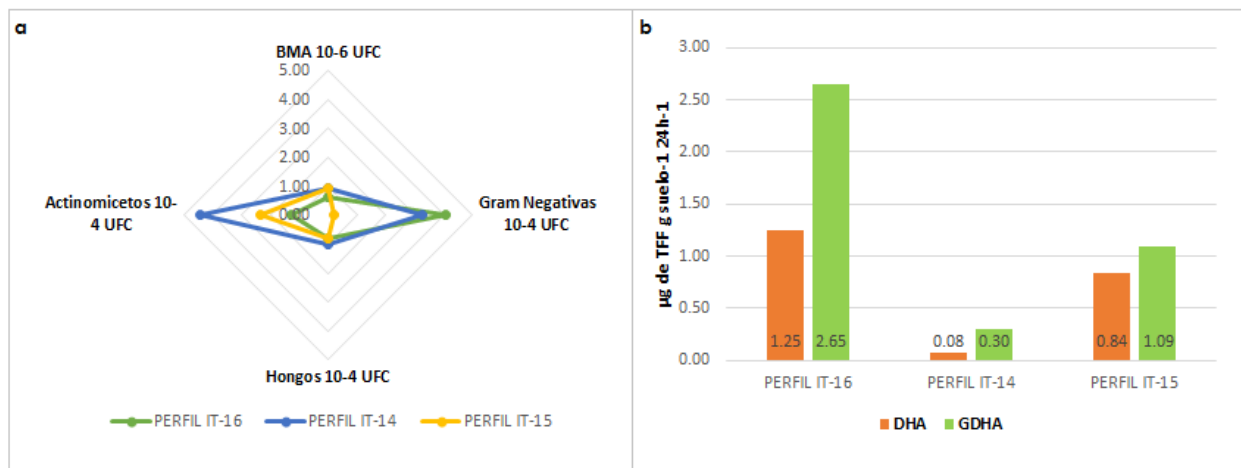


Figura 3.62. Propiedades biológicas de los perfiles del contorno 5.

(a) El resultado se muestra en unidades formadoras de colonias (UFC) en cuanto a los diferentes grupos de microorganismos en cada esquina, los perfiles se diferencian por color. (b) En el eje y unidades expresadas en $\mu\text{g de TFF g suelo}^{-1} 24\text{h}^{-1}$, en el eje x número de perfiles, los valores de la actividad de la enzima deshidrogenasa (DHA) y Glucosa deshidrogenasa (GDHA) se encuentran diferenciadas por color y sus valores dentro de las barras.

Finalmente, las pérdidas de suelo en el contorno 5 van desde menos de 10 ton/ha al año en el perfil con erosión moderada, hasta más de 300 ton/ha al año (**Tabla 3.55**), el factor que difiere en mayor medida entre ellos es el de erosionabilidad a causa de las distintas texturas que presenta el suelo, lo mismo sucede con el factor de cobertura vegetal que se modifica por el tipo y porcentaje de cobertura que presentan cada perfil, siendo menor para el perfil más erosionado de este contorno.

Tabla 3.55. Cálculo de pérdidas de suelo del contorno 5

Perfil	Grado de erosión	Factor erosividad R	Factor erosionabilidad K	Factor Topográfico LS	Factor cobertura vegetal C	Pérdida ton/ha año
IT-16	Moderada	2426.40	0.021	10.945	0.004	2.23
IT-14	Fuerte	2426.40	0.029	10.945	0.01	77.02
IT-15	Muy fuerte	2426.40	0.052	10.945	0.22	303.82

Fuente: Elaboración propia (2016)

En conclusión, el Perfil IT-16 presenta menor grado de erosión respecto a los demás perfiles, el alto contenido de arena es relativo, es más bien la pérdida de arcilla que se desplaza por el sistema de poros, en el cual la arena no puede pasar, de cualquier forma, aun presenta un alto contenido en MO. El Perfil IT-15 presenta un alto contenido en carbonatos el cual concuerda con su pH alcalino provocado por el agua de escorrentía que lo ha ido erosionando. Finalmente, el Perfil IT-14 tiene un mayor porcentaje de cobertura vegetal que previene que se erosione de la misma forma que el Perfil IT-15, dando oportunidad a la regeneración.

3.3.3 Pérdida de la cobertura vegetal

La cobertura vegetal influye directamente sobre propiedades del suelo ya que mejora su estructura, produce un aumento de materia orgánica, nitrógeno y nutrientes, favorece su estabilidad (Pineda *et al.*, 2016), le brinda protección frente al impacto directo de las gotas de lluvia y disminuye su degradación; por esta razón, cuando se presenta un cambio en la cobertura vegetal se produce una afectación al equilibrio ambiental y a los procesos biogeoquímicos (Penner, 1994; Quichimbo *et al.*, 2012) siendo además una de las causas reconocidas que provoca cambios al ambiente en todas las escalas (Sancho *et al.*, 2016). Tan solo, a nivel local y regional, induce al aumento de la tasa de erosión, cambios en el microclima, disminución de la biodiversidad y modificación de los ciclos hídricos (Bocco *et al.*, 2001; Castelán, 2009; Sancho *et al.*, 2016), sin embargo, las tasas de deforestación en México han aumentado a un ritmo alarmante en los últimos 30 años (Bravo *et al.*, 2010; Palomeque-De la Cruz, *et al.*, 2017)

debido principalmente al aumento de la frontera agrícola, urbana y periurbana (Mas *et al.*, 2017). En este sentido, los estudios enfocados al reconocimiento de los cambios de cobertura vegetal en el tiempo resultan de gran importancia para estimar las reservas de recursos hidrológicos, forestales, la pérdida de hábitat, así como pronosticar la erosión de los suelos (Seingier *et al.*, 2009).

La cobertura vegetal en la zona de estudio con mayor presencia en todos los años es la de agricultura de temporal, seguida por la de pastizal inducido; en el tercer sitio se encuentran las áreas desprovistas de vegetación y en menor medida la cobertura vegetal del tipo Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva. Sin embargo, la cobertura vegetal en la zona de estudio ha sufrido una diversidad de cambios a lo largo de 30 años. La vegetación natural ha sido eliminada casi en su totalidad ya que el bosque de encino asociado a vegetación secundaria arbustiva sufrió una considerable disminución del 63.5% entre el año 1986 y 2016 lo que se traduce en la pérdida de 60 ha de bosque quedando únicamente una superficie de 34 ha; asimismo, el pastizal inducido presenta una disminución del 22.4%; mientras que la agricultura de temporal sufrió una disminución del 11.9%. En contraposición, las áreas desprovistas de vegetación tuvieron un considerable aumento del 222.9% al incrementar su superficie en 300 ha (**Tabla 3.56**).

Tipo de cobertura	1986		2001		2016	
	ha	%	ha	%	ha	%
Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva	94	5.2	48	2.6	34	1.9
Pastizal inducido	673	37.1	592	32.6	541	29.8
Agricultura de temporal	913	50.4	817	45.1	805	44.4
Áreas desprovistas de vegetación	134	7.4	357	19.7	434	23.9

Específicamente, el periodo que comprende los años de 1986 y 2001 fue el de mayor cambio, ya que se perdieron 46 ha de tipo Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva, mientras que 80.1 ha de pastizal inducido y 42 ha de áreas con agricultura de temporal han sufrido conversiones o pérdida, esto da un total de 168 ha de cobertura vegetal que ha experimentado cambios, en contraste, las áreas

desprovistas de vegetación aumentaron considerablemente entre estos años ya que tuvieron un crecimiento de 223 ha.

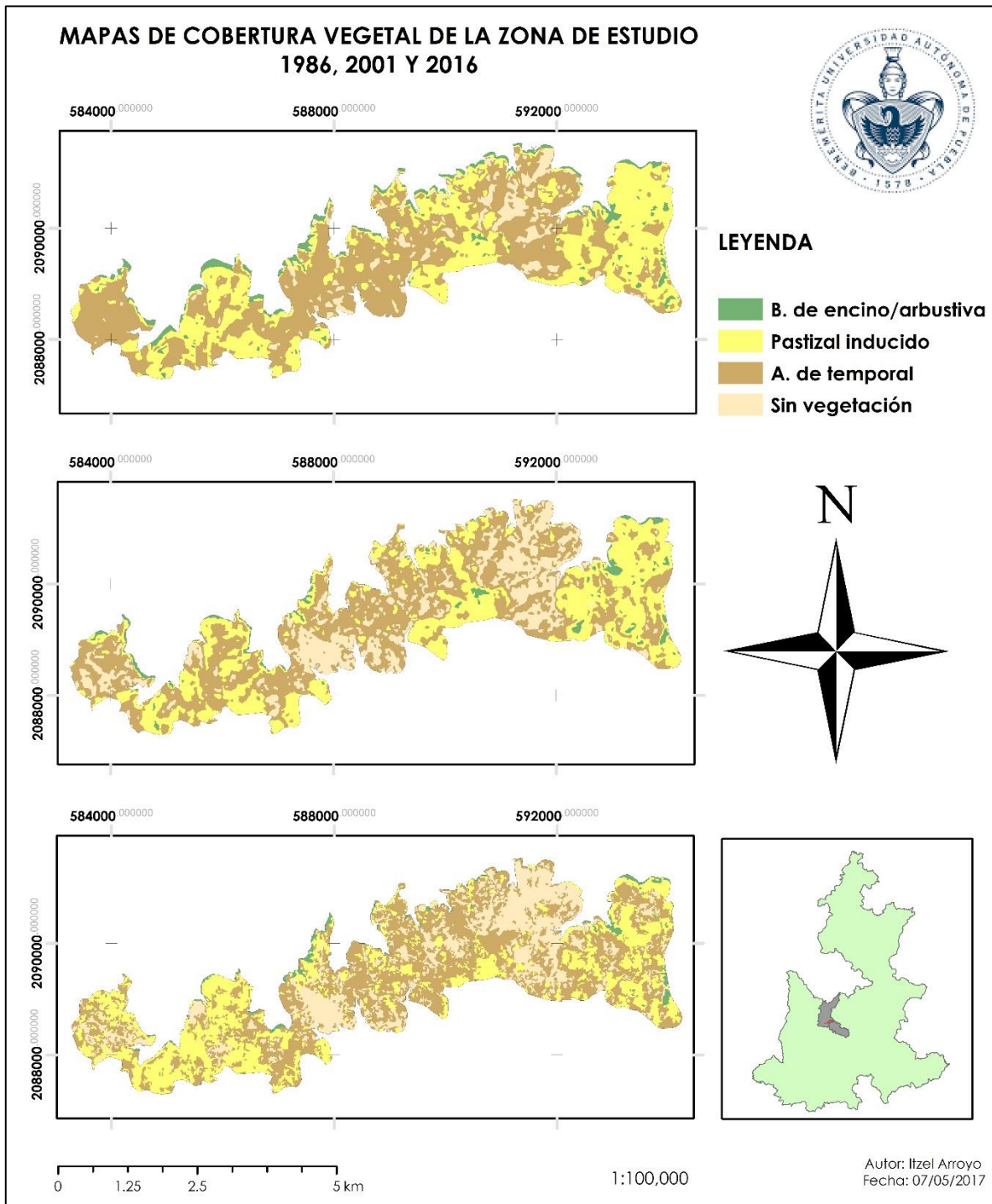


Figura 3.63. Cambios espaciales en la cobertura vegetal de la zona de estudio

Por otro lado, en el caso del periodo que va de 2001 a 2016, el bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva perdió 14 ha más de vegetación, dejando un porcentaje mínimo del 1.9 del total de la superficie de la zona. En cuanto a los tipos de cobertura vegetal de pastizal inducido y agricultura de temporal, 51 y 70 ha respectivamente, se han perdido o han sido convertidas, teniendo un aumento en este periodo de áreas degradadas o carentes de vegetación de 77 ha.

Los cambios en el espacio de la cobertura vegetal (**Figura 3.63**) también han sido variables ya que como se puede observar sobre todo en los años 1986 a 2001 áreas con pastizal inducido se han convertido a agricultura de temporal y viceversa, esto probablemente se deba a la búsqueda de áreas que presenten mejores rendimientos para la agricultura y al abandono de tierras provocado por la disminución de estos. Bravo *et al.*, 2010 mencionan que una de las causas del aumento de pastizales son las necesidades propias de la ganadería como el abasto de forraje aunado al abandono de tierras por falta de mano de obra para el cultivo e incluso los problemas asociados a la tenencia de la tierra. También se observa un aumento de las áreas desprovistas de vegetación, ya sea por el crecimiento de la frontera de las localidades o por la pérdida de los suelos en la zona.

3.4 DIAGNÓSTICO SOCIAL

A continuación, se presenta un análisis de los resultados de la encuesta realizada.

3.4.1 Obtención de ingresos

De acuerdo con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP por sus siglas, (2016) en los años 2012-2014 el sector agrícola en Puebla tuvo un déficit productivo (MDP) del 296% comparado con la media nacional, esto se da en un contexto en el que la erosión del suelo en el mundo rural, se manifiesta en desigualdad social, pobreza, abandono del campo y deterioro del medio ambiente lo que repercute directamente y sobretodo, en la población que habita en zonas de menos de 2500 habitantes (Rodríguez, 2011). Esta escasez de recursos económicos para el acceso a bienes y servicios constituyen una restricción para permitir un nivel de vida adecuado (Mérida, 2015), aunado a la falta de políticas públicas sin impacto en la reactivación del campo mexicano (Zamora, 2011), provoca cambios en la forma en la que los campesinos llevan el sustento a sus familias. En la zona de estudio, hace 30 años, solo el 9% de los padres de familia -cuya principal actividad era la agricultura- se dedicaba a actividades no agrícolas, de los cuales el 56% se dedicaba al sector secundario de albañilería, el 22% al sector primario de ganadería, un 11% al sector terciario de comercio y el 11% se desempeñaba como profesor. Por lo contrario, actualmente, el 52% expresó tener otra actividad laboral aparte de la agricultura, de los cuales el 44% se dedica a la albañilería, el 40% al comercio, el 4% es empleado y el resto tiene actividades como ganadería, mecánica, carpintería, jardinería, electricidad, manufactura y explotación forestal. Finalmente, un 5% de los encuestados expresó haber dejado completamente la agricultura por diversas razones como la venta o abandono del terreno. Apendini y Torres-Mazuera (2008) menciona una transformación de la estructura económica, ya que la participación de la población rural económicamente activa entre los años 1970 y 2000 disminuyó, encontrando una tendencia hacia actividades en el sector secundario y terciario con un claro aumento en el sector terciario con mejores beneficios, en donde la agricultura ha dejado de ser la actividad principal de sustento. Aunado a esto, en la economía local poblana se muestra una disminución del porcentaje de participación en el sector primario significando en un aumento de los cinturones de miseria en el campo (Patiño, 2004).

3.4.2 Formas de tenencia de la tierra

Aunque más de la mitad del valor de la producción agrícola de Puebla se genera durante el ciclo primavera-verano, es decir, la agricultura de temporal, es el sector productivo con menor apoyo gubernamental, cuyo cultivo es de productos básicos, con carencia de recursos para incentivar la producción y se dan sobre terrenos sociales (ejidos) (Rodríguez, 2011); el 62% de los encuestados expresó realizar su siembra en ejidos (**Figura 3.64**), mientras que el 35% comentó que la tierra donde siembran es propia; en este caso, algunos de los encuestados explicaron que su tierra era de tipo ejidal, pero gracias al Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares Urbanos (Procede) obtuvieron los papeles y ahora se convirtió en propia dándole derechos de renta o asociación y el cambio de uso a turístico, forestal y de desarrollo urbano, lo cual, en muchos casos puede resultar contraproducente ya que los campesinos terminan por disponer de sus terrenos para usos distintos a los de la agricultura.

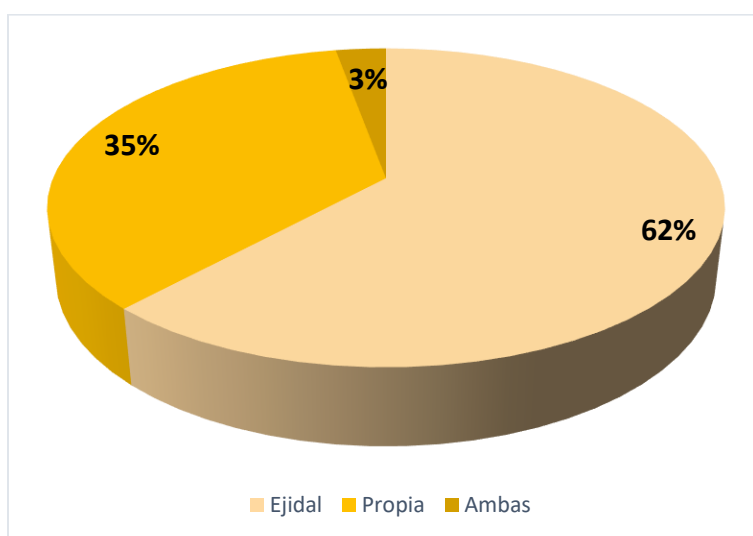


Figura 3.64. Formas de tenencia de la tierra.
Elaboración propia (2016).

En este sentido, se hace hincapié que, desde los años 20 y en la época cardenista se dio el reparto agrario, consiguiendo estatutos de ejido a la tierra, volviendo al suelo en el principal recurso productivo de los habitantes de zonas rurales; posteriormente en los años 60 con la revolución verde, se volvió casi obligatoria la intervención del estado en la producción agraria lo que provocó un aumento en el desarrollo de diversas

comunidades que finalmente decayó a causa de las políticas neoliberales de los años 90, en las que el principal objetivo era la inversión empresarial (Apendini y Torres-Mazuera, 2008) . Por esta razón, los apoyos al campo se volvieron escasos y poco integrales, repercutiendo en el aumento de interés de los campesinos en volver sus tierras a privadas para darles un uso distinto al de la agricultura.

3.4.3 Prácticas agrícolas

En cuanto a los tipos de cultivos realizados en la zona, el 86% expresó que, hace 30 años, cultivaban otras especies además del maíz, entre las que destacan frijol, calabaza, haba, trigo y ayocotes; actualmente, el 51% de los encuestados menciona cultivar otras especies además del maíz, los cuales se reducen únicamente a frijol y la calabaza. De acuerdo con datos de Apendini y Torres-Mazuera, (2008), el cultivo del maíz se volvió en una actividad de subsistencia complementaria a las actividades no agrícolas en la población rural.

Entre las diversas razones por las que el 49% de los encuestados únicamente se dedica al cultivo del maíz destacan la plaga de chapulines, la pérdida de cultivos a causa de las lluvias torrenciales y los bajos rendimientos agrícolas, comentando que en algunas ocasiones obtienen menores pérdidas sino cultivan la tierra o si la cultivan sólo con maíz. De acuerdo con el Censo Agrícola, Ganadero y Forestal (INEGI, 2007), las tres problemáticas más frecuentes que limitan el desarrollo de la agricultura en el municipio de Puebla son, la falta de dinero o de apoyos, falta de mano de obra y pérdidas por fertilidad del suelo, mientras que en Tzicatlacoyan se presentan las primeras dos problemáticas y en el tercer sitio se encuentra el mal temporal. En este contexto, el 44% de los encuestados ha tenido que disminuir o abandonar la tierra en la que cultivaba por falta de mano de obra, bajos rendimientos, venta o construcción; sólo el 2% ha aumentado la tierra de siembra; como se mencionó anteriormente, a causa del programa Procede, los derechos de propiedad en los ejidos y comunidades favorecieron la disminución de los terrenos de siembra. El abandono de tierras es una clara tendencia de la falta de políticas públicas en México para pequeños productores (Macías, 2010; Zamora, 2011) las cuales tengan como finalidad incentivar la producción agrícola a través de apoyos enfocados a la recuperación de suelos, manejo sustentable de tierras, medidas de conservación y prácticas agrícolas adecuadas, ya que el

abandono de tierras no solo afecta la estructura social rural, sino que también afecta directamente al ambiente. Diversos estudios (Lasanta *et al.*, 1996, 2010; Sustaita *et al.*, 2000; Zamora, 2011) dan cuenta de que la generación de escorrentía, producción de sedimento y la consecuente erosión por la falta de cobertura vegetal en el inicio del abandono es superior al de zonas de cultivo o pastizal.

Aunado a esto, de acuerdo con Amézquita (1998) también grandes problemas de escorrentía y de erosión se producen por el uso inadecuado de maquinaria agrícola en las labores de preparación de suelo; en lo referente a las formas de cultivo el 22% realiza la limpieza de su terreno con quema, el restante lo hace manual; el 41% utiliza tractor para el barbecho y el surcado, resaltado que la obtención del tractor es mediante la renta. De acuerdo con INEGI (2007) en las unidades de producción la mayor tracción utilizada para la siembra es la mecánica, en muchos de los casos, los campesinos no utilizan a los animales por la dificultad que implica su manutención. En estudios realizados por Susaita *et al.*, (2000) y López (2007) se determinó que las propiedades físicas del suelo más favorables se dan en zonas con vegetación natural y uso de tracción animal para el cultivo, por el contrario, los suelos con manejo de tracción mecánica mostraron mayor inestabilidad estructural (Boersma y Kooistra, 1994) y una limitación en la profundidad de exploración de la raíz a causa de la compactación, afectando negativamente los procesos del suelo.

Para el deshierbe del cultivo el 8% utiliza herbicida químico, el 1% orgánico y el restante lo hace de forma manual. Respecto al control de plagas y enfermedades el 54% utiliza plaguicida químico, el 7% orgánico y el resto no realiza ningún tipo de control. De forma similar, para la nutrición del cultivo el 42% utiliza fertilizante químico, 26% orgánico y un 13% una combinación de ambos, el resto no utiliza ningún tipo de abono. Estos datos concuerdan a los encontrados por INEGI (2007), en donde en la superficie agraria de Puebla y Tzicatlacoyan se utiliza un 53% de fertilizantes químicos y sólo un 13% abonos orgánicos. Con respecto a los que utilizan herbicidas, el 95% utiliza herbicidas químicos y sólo un 5% orgánicos y de la misma forma el control de plagas se hace mediante plaguicidas químicos en un 98%. El deterioro del ambiente se expresa en el agotamiento de recursos locales y regionales, los rendimientos de los cultivos comienzan a disminuir a causa del uso de agroquímicos que generan erosión a mediano plazo (Zamora, 2011),

los cuales, además, son transportados por la escorrentía hacia los ríos, lagos o lagunas, generando la contaminación de las aguas.

Apendini y Torres-Mazuera (2008) mencionan que las políticas que se orientaban a sostener la producción agrícola en zonas rurales han sido sustituidas por políticas asistenciales como "Combate a la pobreza" (SEDESOL), estas políticas sobreponen la atención a los efectos de la pobreza por encima del impulso a la producción (Zamora, 2011), es decir, los apoyos al campo se encuentran limitados, tan sólo en la zona de estudio, el 42% expresó haber recibido ayuda del gobierno, específicamente del programa PROCAMPO el cual les ha proporcionado en mayor medida fertilizantes químicos y en menor medida dinero en efectivo para la siembra, así mismo comentan que muchas veces los apoyos como tractores o dinero en efectivo llegan a manos de personas que no tienen tierras para siembra o que las rentan a otros productores, por lo que el destino final de los recursos es desconocido y, en el caso específico de los tractores son utilizados por los dueños para rentarlos a los campesinos que cada año cultivan su tierra. Cabe resaltar que se menciona la inexistencia de apoyo por parte del gobierno para la restauración de suelos o reforestación de la zona.

En México existen miles de pequeños productores que cuentan con una superficie cultivable menor a las 3 hectáreas los cuales producen a pequeña escala para su autoconsumo ya que sus cultivos escapan a los estándares de exportación (Rodríguez, 2011), en la zona de estudio el 70% de los encuestados se alimentan de lo que producen, expresando que sólo es temporal, ya que en algunos casos la cosecha les llega a durar menos de un mes en familias de cinco personas en promedio, el resto lo utiliza para la alimentación de sus animales porque la cantidad y calidad de la cosecha no es suficiente para su alimentación y/o venta. Zamora (2010) menciona que entre los años 2008 y 2010 el precio de los alimentos en México creció en un 21.2%, para el 2010 uno de cada 10 hogares rurales se quedó sin comer por falta de recursos económicos para acceder a los alimentos.

3.4.4 Estado de los suelos

En México, la pobreza y marginación constituye un factor esencial en la degradación de los suelos en el medio rural (Ceja, 2008). En otras palabras, los efectos sociales y ambientales del abandono del campo, las inadecuadas prácticas agrícolas y los

cambios en las formas de tenencia de la tierra son causas de la falta de políticas públicas en el sector agrícola, sobre todo a pequeños productores que buscan el sustento en lo que les aporta el campo, esto ha producido la degradación del suelo que afecta en mayor medida a las zonas rurales, lo cual se ve reflejado en los rendimientos de producción; el 65% de los campesinos expresaron tener una disminución significativa sobre los rendimientos del suelo ya que la producción ha ido disminuyendo en cuanto a tamaño por unidad y cantidad total. Por otro lado, sólo el 12% de la población encuestada tiene idea de lo que es la erosión, posterior a la explicación de este fenómeno el 31% cree que en su tierra hay algún grado de erosión y el 56% percibe una disminución de la profundidad del suelo donde siembra.

Las transformaciones edáficas vinculadas con la deforestación promueven la destrucción del suelo original el cual queda susceptible a los factores climáticos aumentando la intensidad de los procesos erosivos, en la zona el 77% percibe una disminución considerable de la cobertura vegetal; es preciso mencionar que, en México, el 64% de los suelos presenta problemas de degradación a causa de prácticas inadecuadas de producción (Rodríguez, 2011).

3.4.5 Migración

Se ha señalado a la escasez de recursos naturales y la degradación ambiental como causas directas de la migración (García *et al.*, 2007). Referente a la zona de estudio, el 41% de la población indicó tener al menos un familiar en el extranjero, ya sea hermanos, hijos o nietos, es decir al menos 43 personas nacidas en la zona de estudio habitan en el extranjero desde hace más de 10 años, resultado contrario a los datos obtenidos en el Censo de población y vivienda (INEGI, 2010) en el que sólo se indica que 4 personas mayores a 5 años habitan en otra entidad o país. La migración actual del campo debilita el tejido social comunitario, este fenómeno se intensificó a partir de los años 90, elevándose en el 2005 (Zamora, 2010), esta migración se da en mayor medida entre jóvenes, lo que está provocando el abandono del campo y el envejecimiento de quienes lo siembran.

3.5 RELACIÓN SOCIOECONÓMICA-AMBIENTAL

La construcción de un índice da lugar a la creación de una medida única que resume la información que brindan los indicadores, por eso se le considera como medida resumen, y su objetivo es concentrar en un único valor las magnitudes y variaciones de los indicadores, así como sus relaciones entre ellos (CONAPO, 2013) y responden a un orden en el contexto o estructura de todo un conjunto.

Los resultados del Índice de Factores Sociales (IFS) obtenidos por localidad, así como el de cada uno de los indicadores se muestran en la **Tabla 3.57**.

Sobre los indicadores, los cambios en la actividad laboral, afectan en mayor medida la localidad de Los Ángeles Tetela, es decir, hay un mayor porcentaje de personas que han tenido que modificar la forma en la que se sustentan. El indicador de Migración también es mayor en esta localidad, esto puede ser porque, aunque el índice representa un porcentaje de la población en todos los casos, la localidad de los Ángeles Tetela es la que presenta un mayor número de personas.

Los indicadores de cambios en los cultivos y estado de los suelos, son mayores en la localidad de San José Texaluca, cabe señalar que esta localidad es la única que no pertenece al municipio de Puebla. Sin embargo, el mayor IFS se observa en la localidad de San José El Rincón mientras que el menor lo presenta la localidad de La Libertad Tecola.

Tabla 3.57. Resultados de IFS por localidad.				
Indicador	San José Texaluca	Los Ángeles Tetela	La Libertad Tecola	San José El Rincón
Actividad laboral	11.88	14.17	13.13	12.59
Migración	8.44	11.88	9.38	11.16
Cambios en los cultivos	12.50	10.27	10.23	12.24
Estado de los suelos	15.00	11.13	14.23	14.09
Total índice	47.81	47.44	46.96	50.08

Fuente: Elaboración propia (2017)

El índice de marginación por localidad es mayor -desde el punto de vista de su grado- en la localidad de San José El Rincón y menor en los Ángeles Tetela. Por otro lado, los promedios de la estimación de pérdida de suelo por contorno son mayores en el

contorno 5, asociado con la localidad de San José El Rincón; y es menor en el contorno 3, asociado a la localidad de Los Ángeles Tetela.

Los datos obtenidos se muestran en la **Tabla 3.58**. Cabe resaltar que el contorno 1 por su ubicación, no fue asociado a ninguna localidad, ya que la parte del ejido presente en este contorno es del ejido de Tepenene, localidad que no es parte de la zona de estudio por lo que este contorno no fue tomado en cuenta para el análisis de correlación.

Tabla 3.58. Índices utilizados para la determinación de la relación socioeconómica-ambiental de la zona de estudio.

Localidad	Número de contorno	Promedio Pérdida de suelos	IFS	Índice de Marginación
San José Texaluca	2	102.05	47.81	-0.218
Los Ángeles Tetela	3	36.79	47.44	-0.668
La Libertad Tecola	4	65.51	46.96	-0.343
San José El Rincón	5	127.69	50.08	-0.067

Fuente: Elaboración propia (2016)

De acuerdo con la matriz de correlación (**Figura 3.65**), existe una correlación muy alta y positiva (0.804) entre el índice de factores sociales que influyen en los cambios en la productividad agrícola y la pérdida de suelos en la zona, es decir, la agricultura dejó de ser el primer soporte alimentario para las familias, a causa de la erosión de los suelos, provocando la búsqueda de otras formas de obtención de recursos económicos para su adecuado sustento.

```
> cor(Datos[,c("IFS", "Marginación", "Pérdida.de.suelo")], use="complete")
                IFS Marginación Perdida.de.suelo
IFS              1.0000000  0.6854703  0.8037916
Marginación      0.6854703  1.0000000  0.9692840
Pérdida.de.suelo 0.8037916  0.9692840  1.0000000
```

Figura 3.65. Correlación entre Índice de marginación, pérdida de suelo y IFS.

Fuente: Elaboración propia (2017)

Asimismo, existe una relación muy alta positiva (0.969) entre el índice de marginación de las localidades y la pérdida de suelo, indicándonos, por un lado, que la falta de acceso a bienes y servicios de primera necesidad produce la explotación de los recursos que

son necesarios para lograr el sustento de las familias, provocando la degradación de estos recursos, en este caso, el suelo; y por otro lado, la degradación del suelo disminuye su capacidad de producción, provocando que el recurso económico o alimenticio sea menor lo que dificulta el acceso a bienes y servicios de primera necesidad, como lo explica CONAPO (2013): "esta situación pone de manifiesto la profunda desigualdad que existe en la participación del proceso de desarrollo y el disfrute de sus beneficios en la sociedad mexicana".

Finalmente, se determina una relación alta (0.685) entre el índice de marginación y el índice de factores sociales que influyen en los cambios en la productividad agrícola, por consiguiente, la falta de acceso a bienes y servicios provoca la búsqueda de nuevas formas de sustento, relegando a la producción agrícola a un segundo plano.

Distintos estudios han dado cuenta de la relación que existe entre la degradación de las tierras, específicamente el suelo y la pobreza, incluso lo decía el Vicepresidente de Desarrollo Sostenible del Banco Mundial, Ian Jonson: "dado que siete de cada diez pobres del mundo viven en áreas secas y/o degradadas, hemos llegado al convencimiento de que existe una estrecha vinculación entre la degradación de la tierra, la desertificación y la pobreza" (Tomado de Morales, 2005).

CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES

De acuerdo con la información determinada en el presente estudio y en contraste con la hipótesis planteada, se puede concluir que, las consecuencias de los procesos erosivos afectan de manera negativa y en diferente medida a las características y propiedades de los suelos en la región sur de Valsequillo, Puebla, lo cual está relacionado e influye directamente a las condiciones socio-económicas de las poblaciones rurales que habitan en esta región. Con base en esto se desprenden las siguientes conclusiones:

Condiciones ambientales

- Se determina a partir de perfiles patrones o conservados, cómo, el manejo inadecuado de los suelos favorece la pérdida parcial o total de los horizontes, la disminución de la capacidad productiva y en muchos casos la pérdida total de los suelos.
- Los suelos de la zona de estudio muestran distintos niveles de erosión los cuales van desde leve en zonas con porcentajes altos de cobertura vegetal hasta muy severa en suelos que no presentan ningún tipo de cobertura vegetal, teniendo pérdidas de suelo que sobrepasan su capacidad de formación.
- La erosión afecta a las características morfológicas ya que existe una disminución de la profundidad, del desarrollo radicular y la intensidad de color, así como un aumento de la concentración superficial de gravas, rocas y piedras conforme aumentan los grados de erosión en los suelos.
- En cuanto a las propiedades físicas, la disminución de la fracción de arcillas y consecuente aumento de la fracción de arenas son resultado de la afectación que han sufrido a causa los procesos erosivos sobre el suelo, provocando también la modificación de su estructura y un aumento de su densidad aparente.
- Las propiedades químicas se ven afectadas en diferente medida, ya que disminuye el contenido de MO y N, aumenta el contenido de carbonatos y finalmente el suelo pierde su capacidad para la retener nutrientes.
- Referente a las propiedades biológicas existe en general, una disminución de la actividad biológica del suelo, las UFC son menores en suelos erosionados, esto en el caso de los grupos de BMA, hongos y gram negativas, mientras que los actinomicetos muestran un mayor número de UFC conforme aumentan los grados

de erosión, finalmente, la DHA es menor en suelos con mayores grados de erosión provocado por la pérdida de MO.

- Las modificaciones de las características y propiedades de los suelos de la zona de estudio son provocadas por la erosión, durante años de manejo inadecuado de los suelos y en muchos casos el impacto ha sido tal, que los suelos han perdido la capacidad de producir cosechas rentables, comprometiendo la seguridad alimentaria de las familias en el campo.
- En áreas con un porcentaje de cobertura vegetal mayor al 60% se presentan pérdidas menores a 10 toneladas por hectárea al año, mientras que en áreas con bajo o nulo porcentaje de cobertura vegetal puede haber pérdidas de suelo de hasta 300 toneladas por hectárea al año.
- La cobertura vegetal de bosque de encino ha tenido una disminución considerable mayor al 60% entre los años 1986 y 2016. En este sentido la cobertura vegetal de tipo agricultura de temporal y pastizal inducido también han tenido una disminución de su superficie, mientras que las áreas desprovistas de vegetación han tenido un aumento de más del 200% ya sea por el crecimiento de las localidades o que, en muchas ocasiones, se ha perdido completamente el suelo, provocando que ningún tipo de vegetación se pueda sostener. La mayor pérdida de cobertura vegetal se dio en el periodo que comprende los años de 1986 y 2001.
- La distribución de contornos para estudiar las condiciones actuales de la corteza edáfica en la zona de estudio arroja resultados que validan este método como eficaz para conocer el estado de degradación y cambios negativos ocurridos en las variables morfológicas, físicas, químicas y biológicas en los suelos en la zona de estudio.

Condiciones socio-económicas

- La zona de estudio refleja los altos niveles de marginación en los que se encuentra ya que existe un alto porcentaje de viviendas en la zona que no disponen de alguno de los servicios básicos, en las cuales además existe un número de habitantes por vivienda mayor a la media estatal y nacional. Aunado a lo anterior más de la mitad de la población que habita en las localidades no cuenta con ningún tipo de servicio de salud, existe un alto porcentaje de habitantes

analfabetas y un promedio de escolaridad menor en comparación con la media nacional.

- Existe una relación directa entre los cambios en la producción agrícola, la pérdida de suelo y los niveles de marginación en el campo. Los cambios que han sufrido las localidades en cuanto a prácticas agrícolas se refiere, datan de muchos años atrás; en este estudio que abarca solo 30 años se demuestra cómo, producto de la pérdida de la cobertura edáfica, la población actual se vincula cada vez menos con la actividad agrícola provocando la búsqueda en oficios fuera del sector primario y más en el sector secundario y terciario, esto con la finalidad de encontrar el sostén económico que ya no pueden encontrar a través del cultivo de los suelos aunado a un aumento de la migración por esta misma razón.
- La pérdida paulatina de las características morfológicas, físicas, químicas y biológicas de los suelos durante el proceso de explotación agrícola, forestal y pecuario y la falta de políticas públicas de reactivación del campo, así como la conservación, restauración y manejo de los suelos son la causa de que hoy los campesinos no cuenten, como en épocas pasadas con suelos aptos para la agricultura, perdiendo su medio de sustento y afectando de manera negativa los índices de pobreza y marginación en la zona de estudio.

Finalmente, se puede concluir que uno de los problemas ambientales más preocupantes en la actualidad es la pérdida de los suelos por erosión; este estudio representa la primera investigación que se realiza sobre la situación actual de los suelos y la relación que presenta sobre las condiciones socio-económicas en la región sur de Valsequillo, Puebla; por lo que sirve de precedente para posteriores estudios que puedan formular estrategias que permitan el adecuado manejo y conservación del suelo, así como la reactivación del campo con la finalidad de disminuir los altos niveles de marginación en la zona.

ANEXOS

Anexo 1: Encuesta

ENCUESTA SOBRE LA SITUACIÓN SOCIAL Y DEL CAMPO EN LA ZONA DE ESTUDIO

Municipio:

- Puebla
 Tzicatlacoyan

Localidad:

- San José El Rincón
 La Libertad Tecola
 Los Ángeles Tetela
 San José Texaluca

Fecha: _____ Nombre: _____ Edad: _____

1 ¿A qué se dedicaba su padre?

Sector primario:

- Agricultura
 Explotación forestal
 Ganadería
 Minería

Sector Secundario:

- Albañilería
 Electricidad
 Carpintería
 Plomería
 Manufactura

Sector Terciario

- Comerciante
 Transporte
 Ama de casa
 Otra actividad
¿Cuál?

2 ¿Usted a qué se dedica?

Sector primario:

- Agricultura
 Explotación forestal
 Ganadería
 Minería

Sector Secundario:

- Albañilería
 Electricidad
 Carpintería
 Plomería
 Manufactura

Sector Terciario

- Comerciante
 Transporte
 Ama de casa
 Otra actividad
¿Cuál?

3 ¿Tiene familiares en el extranjero? (¿Si la respuesta es afirmativa colocar parentesco, edad y número de años en el extranjero?)

	Parentesco	Edad	Número de años en el extranjero
1			
2			
3			
4			
5			

4 ¿Su tierra es de tipo?

- Ejidal
 Comunal
 Propia

5 ¿Alrededor de cuánta extensión de tierra cultivaba hace 30 años?

- Menos de media hectárea
 De media a 1 hectárea
 De 1 a 3 hectáreas
 Más de 3 hectáreas

6 ¿Qué cultivaba:

- Maíz.
 Frijol
 Calabaza.
 Pasto
 Otra _____

7 ¿Actualmente, cuánta extensión de tierra cultiva?

- Menos de media hectárea
 De media a 1 hectárea
 De 1 a 3 hectáreas
 Más de 3 hectáreas

8 Actualmente, qué cultiva:

- Maíz.
 Frijol
 Calabaza.
 Pasto
 Otros
 Sin cultivar.

9 ¿Qué prácticas agrícolas realizan en su tierra?

Limpieza del terreno

- Manual
- Quema
- Utilización de agroquímicos
- Uso de animales
- Ninguno

Preparación del terreno

- Sin preparación
- Barbecho con arado de tracción animal
- Barbecho mecánico

Surcado

- Sin surcado
- Surcado con tracción animal
- Surcado mecánico

Siembra

- Manual
- Tradicional con animales

- Tractor

Deshierbe de cultivo

- Manual
- Herbicidas químicos
- Herbicidas orgánicos
- Ninguno

Control de plagas y enfermedades

- Plaguicidas químicos
- Plaguicidas orgánicos
- Ninguno
- Otro _____

Nutrición

- Fertilizantes químicos
- Fertilizantes orgánicos
- Ninguno
- Otro _____

10 ¿Siente que su tierra?

- Da mejores rendimientos
- Da menores rendimientos

11 ¿Sabe que es la erosión?

- Si ¿Qué es?

- No

16 ¿Qué cambios de uso de suelo ha realizado en sus parcelas de siembra?

¿Por qué?

- Construcción
- Reforestación
- Venta del terreno
- Abandono

12 ¿Cree que su tierra está erosionada?

- Si ¿Por qué?

- No

13 ¿La profundidad del suelo donde siembra ha disminuido?

- Sí
- Es la misma

17 ¿Su alimentación se basa en lo que usted produce?

- Si
- No

14 ¿Cree que hay menos vegetación ahora que hace 20 años?

- Si
- Es la misma

15 ¿Ha tenido que cambiar el lugar donde sembraba?

- Si ¿Por qué?

- No

18 ¿El gobierno los ha ayudado a reforestar la zona, restaurar el suelo, apoyo en siembra?

- Si ¿Qué tipo de ayuda?

- No

Anexo 2: Descripción de los indicadores

1. Área de trabajo: Actividad laboral

Indicador: Cambios en la actividad laboral

Definición: Indica el número de personas que presentan cambios en su actividad laboral inicial de 30 años a la fecha.

Medición: Número de respuestas

Variación de respuestas:

- Sí presenta cambios
- No presenta cambios
- No respondió

Fuente: Encuesta sobre la situación social y del campo en la zona de estudio

Observaciones: Indicador necesario para determinar los cambios en la actividad laboral de los campesinos en la zona de estudio, el cual se determina con la variación de las respuestas entre la actividad laboral hace 30 años y la actual.

2. Área de trabajo: Migración

Indicador: Familiares en el extranjero

Definición: Indica el número de personas que presentan al menos un familiar en el extranjero desde hace 10 años o más

Medición: Número de respuestas

Variación de respuestas

- Al menos un familiar en el extranjero
- Sin familiares en el extranjero
- No respondió

Fuente: Encuesta sobre la situación social y del campo en la zona de estudio

3. Área de trabajo: Cambios en los cultivos

Indicador: Cambios en la extensión de tierra cultivada

Definición: Indica los cambios en la extensión de tierra cultivada por los campesinos de hace 30 años a la actualidad

Medición: Número de respuestas

Variación de respuestas

- Disminución
- Aumentó
- Sin cambios
- No respondió

Fuente: Encuesta sobre la situación social y del campo en la zona de estudio

Observaciones: Indicador para conocer el aumento o disminución de la extensión de tierra cultivable, el cual se determina mediante la extensión de tierra cultivada hace 30 años y la cultivada en la actualidad.

4. Área de trabajo: Cambios en los cultivos

Indicador: Cambios en la diversidad de cultivo

Definición: Indica los cambios en la diversidad de cultivo de 30 años a la actualidad

Medición: Número de respuestas

Variación de respuestas

- Disminución de la diversidad
- Aumento de la diversidad
- Sin cambios
- No respondió

Fuente: Encuesta sobre la situación social y del campo en la zona de estudio

Observaciones: Indicador para conocer el aumento o disminución de la diversidad de cultivos, el cual se determina mediante el número de especies vegetales cultivados hace 30 años y los cultivados en la actualidad.

5. Área de trabajo: Estado de los suelos

Indicador: Rendimiento de cultivo

Definición: Indica la concepción de los campesinos sobre los rendimientos de sus cultivos

Medición: Número de respuestas

Variación de respuestas

- Da mejores rendimientos
- Da menores rendimientos
- No hay cambios
- No respondió

Fuente: Encuesta sobre la situación social y del campo en la zona de estudio

Observaciones: Sin observaciones

6. Área de trabajo: Estado de los suelos

Indicador: Conocimiento del concepto de erosión

Definición: Indica si los campesinos conocen el concepto de erosión

Medición: Número de respuestas

Variación de respuestas

- Sí
- No
- No respondió

Fuente: Encuesta sobre la situación social y del campo en la zona de estudio

Observaciones: Sin observaciones

7. Área de trabajo: Estado de los suelos

Indicador: Apreciación de la erosión

Definición: Indica la percepción de los campesinos sobre la erosión en su tierra.

Medición: Número de respuestas

Variación de respuestas

- Si aprecia erosión
- No aprecia erosión
- No respondió

Fuente: Encuesta sobre la situación social y del campo en la zona de estudio

8. Área de trabajo: Estado de los suelos

Indicador: Profundidad del suelo del área de siembra

Definición: Indica la percepción de los campesinos sobre la disminución de la profundidad de sus tierras

Medición: Número de respuestas

Variación de respuestas

- Disminución
- Sin cambios
- No respondió

Fuente: Encuesta sobre la situación social y del campo en la zona de estudio

Área de trabajo: Estado de los suelos

Indicador: Cobertura vegetal en el área

Definición: Indica la percepción de los campesinos sobre la disminución de la cobertura vegetal en el área

Medición: Número de respuestas

Variación de respuestas

- Disminución
- Sin cambios
- No respondió

Fuente: Encuesta sobre la situación social y del campo en la zona de estudio

9. Área de trabajo: Estado de los suelos

Indicador: Abandono del área de siembra

Definición: Indica la presencia de tierras pertenecientes a los campesinos que han sido abandonadas

Medición: Número de respuestas

Variación de respuestas

- Si
- No
- No respondió

Fuente: Encuesta sobre la situación social y del campo en la zona de estudio. Elaboración propia (2016)

BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, M., Pauchard, A., Azócar, G., Parra, O. (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX: Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista chilena de historia natural*, 82(3), 361-374.
- Amézquita, E. (1999). Propiedades físicas de los suelos de los Llanos Orientales y sus requerimientos de labranza. *Palmas*. 20 (1), 73-86.
- Ampofo E., Muni R. K., Bonsu, M. (2002). Estimation of soil losses within plots as affected by different agricultural land management. *Hydrological Sciences Journal*, 47(6), 957-967.
- Apendini K., Torres-Mazuera, G. (2008). ¿Ruralidad sin agricultura?: perspectivas multidisciplinares de una realidad fragmentada" 1ª edición. El Colegio de México, Centro de estudios Económicos, México DF.
- Atuesta, C. H. (Sin fecha). "Comparación de cinco métodos para determinar Capacidad de Intercambio Catiónico en suelos alcalinos" Tesis Doctoral.
- Barrios, I. (2006). *La Edafología: Origen, desarrollo y conceptos*, INGEBA. Ciriquiaín Y Gaiztarro, M.
- Bautista, S., Mayor, A. G., Bourakhouadar, J., Bellot, J. (2007). Plant spatial pattern predicts hillslope runoff and erosion in a semiarid Mediterranean landscape. *Ecosystems*, 10(6), 987-998.
- Bautista-Zuñiga, F., Jiménez-Osornio, J., Navarro-Alberto, J., Manu, A., Lozano, R. (2002). Microrelieve y color del suelo como propiedades de Diagnostico en Leptosoles Cársticos. *Terra*. 21, 1-11.
- Bennett, H. H. (1947). *Elements of soil conservation*. LWW. 63(5), 418 pp.
- Black, C. A. (ed). (1965). *Methods of soil analysis, part 2; chemical and microbiological properties*. Madison, American Society of Agronomy. 1572 pp.
- Blaikie, P. (2016). *The political economy of soil erosion in developing countries*. Routledge.
- Blanco S., Perles, M. J. (1998). Degradación física de suelos como consecuencia de la erosión en laderas sometidas a distintos usos agropecuarios. *Bioética, estudios de Arte, Geografía e Historia, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Málaga*. 20, 21-34.
- Bocco, G., Mendoza, M., Maser, O. R. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán: Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas*, (44), 18-36.
- Boersma, O. H., M. J. Kooistra. (1994). Differences in soil structure of silt loam Typic Fluvaquents under various agricultural management practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 51, 21-42.

- Bolaños, M. Paz, F., Cruz, C., Argumedo, J., Romero, V., De la Cruz, J., (2016). Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *Terra Latinoamericana* 34: 271-288.
- Bravo, L., Doode, O., Castellanos, A., Espejel, I. (2010). Políticas rurales y pérdida de cobertura vegetal: Elementos para reformular instrumentos de fomento agropecuario relacionados con la apertura de praderas ganaderas en el noroeste de México. *Región y sociedad*, 22(48), 3-35.
- Brunel, N. y Seguel, O. (2011). Efectos de la erosión en las propiedades del suelo. *Agro Sur*. 39 1, 1-12.
- Buckles D., Triomphe, B., Sain, G. (1999). Los cultivos de cobertura en la agricultura de laderas. *Innovación de los Agricultores con Mucuna*. Centro internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.
- Calaza, P. (2007). Revisión bibliográfica y análisis comparativo de métodos de evaluación de riesgo de arbolado urbano. Caso Particular: La Coruña. Tesis Doctoral. Departamento de Producción Vegetal. Escuela Politécnica Superior. Universidad Santiago de Compostela.
- Casas, A., Caballero, J. (1995). Domesticación de plantas y el origen de la agricultura en Mesoamérica. *Ciencias. UNAM*. 40. 36-44.
- Casermeiro, J., De Petre, A. A., Spahn, E., Valenti, R. (2001). Efectos del desmonte sobre la vegetación y el suelo. *Forest Systems*, 10(2), 233-244.
- Castelán, M. C. (2009). Estrategia de manejo integral de los recursos naturales de la Subcuenca del río San Marcos, Puebla: Enfoque para un desarrollo sustentable. Tesis Doctoral, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
- Castro M., I. (2013). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 34(2), 3-16.
- Ceja, M. C. (2008). Degradación de los suelos y pobreza en México. *Pesquisas, Variopinto*, 350, 89-93.
- Cepeda, J. (1991). *Química de los suelos*. Editorial Trillas, 167 pp.
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel Ciencia, Barcelona, 586 pp.
- Comino, J. R., Iserloh, T., Lassu, T., Cerdà, A., Keestra, S. D., Prosdocimi, M., Sinoga, J. R. (2016a). Quantitative comparison of initial soil erosion processes and runoff generation in Spanish and German vineyards. *Science of the Total Environment*, 565, 1165-1174.
- Comino, J. R., Quiquerez, A., Follain, S., Raclot, D., Le Bissonnais, Y., Casalí, J., Pereira, P. (2016b). Soil erosion in sloping vineyards assessed by using botanical indicators and sediment collectors in the Ruwer-Mosel valley. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 233, 158-170.

- CONAFOR. (2007). Manual de obras y prácticas" en Protección, restauración y conservación de suelos forestales. 3ª edición. México.
- CONAPO. (2012). Índice de marginación por localidad. Índices sociodemográficos.
- CONEVAL. (2012). Informe de Pobreza y Evaluación en el estado de Puebla.
- Corzo C. (2011). Disturbio superficial del suelo y mantillo en pastizales degradados: efecto sobre los microorganismos. Tesis de Licenciatura. Departamento de Recursos Naturales Renovables, División de Ciencia Animal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.
- De Regoyos, M. (2003). Metodología para la evaluación de la erosión hídrica con Modelos Informáticos. Aplicación del Modelo Geowepp a dos pequeñas cuencas en Madrid. Madrid.
- Espinosa R. M., Andrade L. E., Rivera O. P., Romero D. A. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. Papeles de Geografía. 53-54, 77-88.
- FAO. (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos. Roma
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. Cuarta edición. Traductor Ronald Vargas Rojas, Proyecto FAOSWALIM, Nairobi, Kenya-Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.
- FAO. (2015). Definiciones Clave. Portal de suelos de la FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Ferrera, R., Alarcón, A. (2001). La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. Ciencia Ergo Sum, 8(2).
- Ferreras, L., Toresani, S., Bonel, B., Magra, G., Romagnoli, V., Canavese, B., Bortolato, M. (2016). Sensibilidad de parámetros microbiológicos como indicadores de Calidad de Suelo: Experiencias en ensayos de Rotaciones y Labranzas.
- Figueroa S. B., Amante A., Cortés H. G., Pimentel J., Osuna E.S., Rodríguez J. M., Morales J. F. (1991). Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. Secretaría de Agricultura y de Recursos Hidráulicos. Colegio de Postgraduados (CREZAS). México,
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. Remote sensing of environment, 80(1), 185-201.
- García, S., Guerrero, M. (2006). Indicadores de sustentabilidad ambiental en la gestión de espacios verdes: Parque urbano Monte Calvario, Tandil, Argentina. Revista de Geografía Norte Grande, (35), 45-57.
- García-Zamora R., Pérez-Veyna, O., Foladori, G., Delgado-Wise, R., Moctezuma-Longoria, M., Reyes-Rivas, E., Márquez-Covarrubias, H., Rivera-Castañeda, R. (2007). Paradojas de la migración internacional y medio ambiente. Economía, Sociedad y Territorio, 6 (24), 975-994.

- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L., Muniz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargas, R. (eds.). (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxemburgo, 176 pp.
- Garrido, M. S. (1994). Interpretación de análisis de suelos. Hojas divulgadoras. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario, Dirección General de Infraestructuras y Cooperación. 5, 40pp.
- GEO-México. (2004). Perspectivas del medio ambiente en México, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 324 pp.
- Gómez, R. C., Fernández, A. T., Flores, J. I. C., Muñoz, M. L., Estrada, A. G., Sánchez, B. V., Iñiguez, P. C. (2016). Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2), 231-243.
- González del Tánago, M. (1991). La ecuación universal de pérdidas de suelo. Pasado, presente y futuro. *Ecología*, 5, 133-150.
- González-Fernández, P., Ordóñez-Fernández, R., Espejo-Serrano, R., Peregrini-Alonso, F. (2003). Cambios en el pH del perfil de un suelo ácido cultivado y enmendado con diversos materiales para incrementar su fertilidad. *Estudios de la zona no saturada del suelo*. 6, 373-378.
- Granada Sostenible. (2001). Los indicadores de sostenibilidad. Agenda 21 Local Granada.
- Hernández L., Dufilho A. (2012). Determinación del riesgo de erosión hídrica de suelos de los departamentos minas y Chos Malal (Neuquén) mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). *Boletín geográfico Departamento Geografía. Universidad Nacional del Comahue. Neuquén*, 33(34), 11-3.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P. (2003). Metodología de la investigación. La Habana: Editorial Félix Varela, 2.
- Herrera. (sin fecha). Fórmula para el cálculo de la muestra de poblaciones finitas.
- Hincapie, E. y Salazar L. (2011). Impacto de la erosión sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y la producción del café. *Revista Cenicafé* 62 (2), 79-89.
- Hirzel, J., Toloza, S., Novoa, F. (2016). Evolución a corto plazo de las propiedades químicas en dos suelos de la zona centro sur de Chile fertilizados con diferentes fuentes de calcio. *Chilean journal of agricultural & animal sciences, (AHEAD)*, 0-0.
- INEGI. (2007). Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007.
- INEGI. (2010). Censo de población y vivienda 2010.

- INEGI. (2015). Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250, 000: serie V / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI, c2014. 195 p.
- INEGI. (2015b). Anuario Estadístico y Geográfico de Puebla 2015. México: INEGI. 827p
- Izaurrealde, R.C., Malhi, S.S., Nyborg, M., Solberg, E.D., Quiroga, M.C. (2006). Crop performance and soil properties in two artificially eroded soil in North-Central Alberta. *Agron. J.* 98(5): 1298-1311
- Jain M. K., Kothiyari U. C. (2000). Estimation of soil erosion and sediment yield using GIS. *Hydrological Sciences Journal*, 45 (5), 771-786.
- Jebari S., Berndtsson R., Lebdi F., Bahri A. (2012). Historical aspects of soil erosion in the Mejerda catchment, Tunisia. *Hydrological Sciences Journal*, 57 (5), 901-912.
- Kappelle, M. (2009). Erosión de Suelos. Fundación Global Democracia y Desarrollo (FUNGLODE)/Global Foundation for Democracy and Development (GFDD). Diccionario Enciclopédico Dominicano de Medio Ambiente.
- Kelley, W.P. (1951). Alkali soils; their formation, properties and reclamation. New York, Reinhold. 176 pp.
- Lasanta, T., Arnáez, J., Ortigosa, L. M., Oserín, M. (1996). Consecuencias geológicas del abandono agrícola en cameros viejo (Sistema Ibérico) *Zubía Monográfico*. Vol. 8 pp. 61-85.
- Lasanta, T., Nadal-Romero, E., Serrano-Muela, P., Vicente-Serrano, S. M. (2010). Escorrentía y erosión tras el abandono de tierras de cultivo en montaña: resultados de la estación experimental Valle de Aisa. *Pirineos. Revista de Ecología de Montaña*, 165, 115-133.
- Ley General De Desarrollo Forestal Sustentable. (2003) Diario Oficial de la Federación. 25 de febrero de 2003.
- López M. (2007). Erosión y redistribución del suelo en agroecosistemas mediterráneos: Modelización predictiva mediante SIG y validación con ¹³⁷Cs (Cuenca de Estaña, Pirineo Central). Departamento de Suelo y Agua, Estación experimental de Aula Dei, Zaragoza-CSIC, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza, Tesis doctoral.
- Lozano, Z., Lobo, D., Pla, I. (2002). Susceptibilidad a la degradación física de Alfisoles de los llanos centrales y occidentales de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía, Maracay*, 28, 41-57.
- Macías, C. (2010). Las causas detrás de la crisis agrícola mexicana. *Kyobo Scholar, UNESCO, Universidad de estudios extranjeros de Corea, Instituto de América Latina*, 28 (2), 165-198.
- Malhi, S., Izaurrealde, R., Nyborg, M., Solberg, E. (1994). Influence of topsoil removal on soil fertility and barbeey growth". *J. Soil and Water Cons.* 49(1), 96-101.

- Martínez-Cruz, A., Carcaño-Montiel, M. G., López-Reyes, L. (2001). Actividad Biológica en un transepto altitudinal de suelos de La Malinche, Tlaxcala. *Terra*. Vol. 20 (2), 141-146.
- Mas, J. F., Rodríguez, R. L., González, R., Sánchez, J. L., Garduño, A. P., Flores, E. H. (2017). Evaluación de las tasas de deforestación en Michoacán a escala detallada mediante un método híbrido de clasificación de imágenes SPOT. *Madera y Bosques*, 23(2), 119-132.
- McNeillm J. (2003). Algo nuevo bajo el sol: Historia medioambiental del mundo en el siglo XX. Ed. Alianza Ensayo. 504.
- Mendoza-Martínez M. (2017). Causas del apagón en México y consecuencias socioambientales. Estudio de caso en la ciudad de Puebla. Tesis de Maestría. BUAP.
- Mérida, M., Acuña, A. (2015). Pobreza en México: Factor de vulnerabilidad para enfrentar los efectos del cambio climático. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1 (2), 1-19.
- Mohammadkhan, S., Ahmadi, H., Jafari, M. (2011). Relationship between soil erosion, slope, parent material, and distance to road (Case study: Latian Watershed, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 4(1-2), 331-338.
- Morales, C. (2005). Pobreza, desertificación y degradación de tierras. Capítulo I, (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). Unidad de Desarrollo Agrícola, División de Desarrollo Productivo y Empresarial.
- Moreira, J. M. (1986). Degradación, susceptibilidad y Tolerancia a la Erosión de los Suelos en Andalucía. *Revista de Estudios Andaluces*, 6, 45-64.
- Morell, C. F., Hernández, C. A., Borges, Y., Marentes, F. L. (2009). La Actividad de los hongos micorrízicos arbusculares en la estructura del suelo. *Cultrop*. 30 (4).
- Moreno J., Aguarón, J., Escobar, M. (2001). Metodología Científica en Valoración y Selección Ambiental. *Pesquisa Operacional*, Facultad de Económicas Universidad de Zaragoza, España, 21(1), 1-16.
- Mosquera, M., Ollé, A., Pérez-González, A., Rodríguez, J. P., Vaquero, M., Verges, J. M., Carbonell, E. (2007). Valle de las orquídeas: Un yacimiento al aire libre del pleistoceno superior en la Sierra de Atapuerca (Burgos). *Trabajos de Prehistórica.*, 64 (2), 143-155.
- Nájera, O., Bojórquez, J., Flores, F., Murray, R. M., González, A. (2016). Riesgo de erosión hídrica y estimación de pérdida de suelo en paisajes geomorfológicos volcánicos en México. *Cultivos Tropicales*, 37(2), 45-55.
- Nie X.J., Zhao T.Q., Qiao X.N. (2013). Impacts of soil erosion on organic carbon and nutrient dynamics in an alpine grassland soil" *Soil Science and Plant Nutrition*, 59 (4), 660-668.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. (2002). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

- Núñez, R. M., Benítez, M. G. O., Rodríguez, G. G., Castellón, L. G. (2016). La materia orgánica restaura las propiedades físicas de los suelos transportados para nivelar una superficie agrícola. *Educateconciencia*, 4(5).
- Oldeman, L.R. (1998). Guidelines for general assessment of the status of human-induced soil degradation. Working paper 88/4. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC). Wageningen.
- Ortiz, D. V., Romero, E. L., Aguilar, E. J. (2017). Caracterización de las propiedades morfológicas, físicas y químicas de los suelos del humedal "La Tembladera", provincia de El Oro, Ecuador. *La Técnica*, (17), 84-95.
- Palomeque-De la Cruz, M. Á., Galindo-Alcántara, A., Escalona-Maurice, M. J., Ruiz-Acosta, S. D. C., Sánchez-Martínez, A. J., Pérez-Sánchez, E. (2017). Analysis of land use change in an urban ecosystem in the drainage area of the Grijalva river, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(1).
- Panagos P., Meusburger K., Van Liedekerke M., Alewell C., Hiederer R., Montanarella L. (2014). Assessing soil erosion in Europe based on data collected through a European network. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60 (1), 15-29.
- Penner, J. E. (1994). Atmospheric chemistry and air quality. Changes in land use and land cover: a global perspective, 175-209.
- Pérez R. (1998). ¿Existe el método científico? Colegio Nacional y Fondo de Cultura Económica. Primera Edición.
- Pineda, M. C., Martínez-Casasnovas, J. A., Vilorio, J. (2016). Relación entre los cambios de cobertura vegetal y la ocurrencia de deslizamientos de tierra en la serranía del interior, Venezuela. *Interciencia*, 41(3).
- Porta, J., López-Acevedo, M., Roquero, C. (2004). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3a edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 960 pp.
- Prado, L., Veiga, M. (1994). Erosión y pérdida de fertilidad del suelo. Deposito de documentos de la FAO. Recuperado de: [http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S06.htm#Tema 2: Erosión y pérdida de fertilidad del Suelo](http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S06.htm#Tema%202:Erosi3n%20y%20p3rdida%20de%20fertilidad%20del%20Suelo).
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., Céleri, R. (2012). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales*, 42(2), 138-153.
- Ramírez, E. (1952). Los suelos salinos y alcalinos. Facultad de Agronomía del Valle Palmira. Colombia 26 pp.
- Rodríguez, D. (2011). Sobreviviendo a la erosión. Oxfam México, CRECE, 1ª edición

- Rubio, J. L. (1989). Erosión del suelo y gestión ambiental en condiciones mediterráneas. Bellot J. (ed.). Jornadas sobre las bases ecológicas para la gestión en ecosistemas terrestres. Zaragoza: CIHEAM, 323-326.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Departamento de suelos y aguas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Ruiz. C. J., Calderón E., Tamariz V. (1999). Manual para la descripción de perfiles de suelos y evaluación del entorno. Textos BUAP. Puebla, México, 65 pp.
- SAGARPA. (2005). Ecuación Universal de Pérdida de Suelos aplicación México
- SAGARPA. (2016). Infografía alimentaria de Puebla.
- Samaniego J., Herrera, T., Pedroza, A., Santamaría, J. (2001). Relación entre Condiciones de Suelo y Manejo de Huertas de Nogal Pecanero *Carya illinoensis* Koch con la Dinámica de la Pudrición Texana, causada por *Phymatotirchum omnivorum* Duggar. Revista Mexicana de Fitopatología. Co. 19 (1), 10-18.
- Sancho, A. G. G., González, O. N., Núñez, R. M. M., Flores, S. M. L. M. (2016). Dinámica espacio-temporal de la cobertura y uso del suelo en una cuenca hídrica/Dynamic spatio-temporal coverage and land use in a water basin. CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias, 5(9), 29-42.
- Santacruz, G. (2011). Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso de suelo en la cuenca del río Cahoacán. Chiapas, México. Aqua-LAC, 3(1), 45-54.
- Schertz, D.L. (1985). Field Evaluation of the Effect of Soil Erosion on Crop Productivity. Tesis Doctoral, Purdue University, USA.
- Seingier, G., Espejel, I., Almada, J. L. F. (2009). Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. Investigación ambiental Ciencia y política pública, 1(1).
- SEMARNAT. (2012). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México.
- Silva M. (2005). Materia orgánica. Su utilización en la evaluación de la calidad del suelo en distintos ambientes del sur de Santa Fe. Estudio Agronómico. Alvear 1244 – 2600 Venado Tuerto.
- Šurda P., Šimonides I., Antal J. (2007). A determination of area of potential erosion by geographic information systems. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 15 (3), 144-152.
- Sustaita, F., Ordaz, V., Ortiz, C., León F. (2000). Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso agrícola. Agrociencia, 34 (4), 379-386.

- Torres E., Cortes J., Mejía E., Exebio A., Santos A., Delgadillo M. (2003). Evaluación de la degradación de los suelos en la cuenca El Josefino, Jesús María, Jalisco. *Terra Latinoamericana*, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. Chapingo, México, 21 (1), 117-126.
- Valdés, A. (2010). Como controlan la erosión las raíces de las plantas. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana*, 23 (2). Recuperado de: <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol23num2/articulos/erosion/>.
- Willington, E., Nolasco, M., Bocco, M. (2013). Clasificación supervisada de suelos de uso agrícola en la zona central de Córdoba (Argentina): comparación de distintos algoritmos sobre imágenes Landsat. In *Proceedings 42JALIO y V Congreso Argentino de Agrolnformática*, 1, 207-216.
- Zamora, C. (2011). Crisis rural, cambio climático y pobreza: Hacia la búsqueda de alternativas para la definición de políticas públicas en México. México, D.F., Oxfam México.
- Zamudio V., Méndez E. (2011). La vulnerabilidad de erosión de suelos agrícolas en la región centro sur del estado de Nayarit, México. *Ambiente y Desarrollo*, Bogotá, Colombia. 15(28).