



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN GEOGRAFÍA

**INDICADORES HÍDRICO-EDÁFICOS DE CALIDAD PARA AMBIENTES
RIBEREÑOS DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA “LOS VOLCANES”**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
DOCTORA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

ELOISA ADRIANA GUERRA HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Gerardo Cruz Flores

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

Comité tutor: **Dr. Ana Lillian Martin del Pozzo**

Instituto de Geofísica

Dr. Arturo García Romero

Instituto de Geografía

Sinodales: **Dr. José Manuel Crespo Guerrero**

Instituto de Geografía

Dr. Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

Dr. Justo Salvador Hernández Avilés

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“Por mi raza hablará el espíritu”



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*La ciencia no sólo es una disciplina
de la razón, sino también del
romance y la pasión"*

Stephen Hawking

*Queda prohibido no sonreír a los
problemas, no luchar por lo que
quieres, abandonarlo todo por miedo,
no convertir en realidad tus sueños*

Pablo Neruda

Agradecimientos

En primer lugar, a la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme la oportunidad de formación y transformación a lo largo de dos terceras partes de mi vida, esperando poder retribuir, aunque sea un poco de lo mucho recibido. Porque es un orgullo ser miembro de la comunidad de la Máxima Casa de Estudios de este país.

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, por el apoyo en el Programa PASPA, para poder llevar a cabo diferentes etapas de esta formación, que siempre continuará.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por sembrar en mí, la necesidad de siempre seguir adelante y contar con el apoyo necesario para hacerlo.

Al Posgrado en Geografía, por el apoyo logístico y académico, que me permitió consolidar mi visión ecológica, desde el ámbito geográfico

Al Dr. Gerardo Cruz Flores, quién es el director de este trabajo y me incitó a explorar el estudio del suelo, para poder revelar la intensa relación que se presenta entre los sistemas acuático y terrestre en los ambientes ribereños. Por su apoyo incondicional en el trabajo de campo y laboratorio y sobre todo por su amistad, a lo largo de tantos años.

A los miembros del Comité tutor:

La Dra. Ana Lillian Martin del Pozzo, qué con su conocimiento y amplia experiencia, siempre ha estado ahí para hacerme las observaciones necesarias y de la que he aprendido mucho, en el trabajo académico y con las comunidades y desde luego por su invaluable amistad.

Al Dr. Arturo García Romero, por sus valiosos comentarios en las diferentes etapas de esta investigación y por su calidad humana, para entender en los momentos difíciles.

A los miembros del Síno

Dr. José Manuel Crespo Guerrero, por su invaluable apoyo y detallada revisión, que sin duda fue fundamental para ir mejorando la calidad del trabajo, por comprender cuándo los tiempos no fueron los esperados.

Dr. Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte, por sus valiosas aportaciones y cuestionamientos sobre los análisis estadísticos aplicados en esta investigación, por su insistencia y apoyo para la conclusión de esta última etapa y siempre por su amistad.

Dr. Justo Salvador Hernández Avilés, por sus atinadas sugerencias para la presentación de gráficos, sus valiosas observaciones en los aspectos limnológicos y ecológicos. Y por la amistad, que perdura.

A la Diseñadora Tania Alejandra Campos Lince y Guerra, por la realización de algunas de las figuras que ilustran el documento.

A todos y cada uno de los estudiantes y tesisas que han formado parte del equipo de trabajo del Laboratorio de Calidad del Agua y Ecohidrología y del Laboratorio de Edafología y Nutrición vegetal, de la FES Zaragoza, y de los cuáles no menciono nombres, ya que no me perdonaría olvidar a alguno. Por su ayuda en el trabajo de campo y laboratorio, pero sobre todo por qué de cada uno de ustedes aprendí algo, que ha enriquecido mi vida.

Dedicatoria

A Luis, el amor de mi vida, porque sin tí nada es igual.

Por tu apoyo incondicional a través de los años, para alcanzar una a una las metas propuestas, por difíciles que estás fueran. Sé que deseabas compartir este momento conmigo. Siempre estás en mi mente y en mi corazón.

A mi padre, porque me enseñaste, que antes que nada hay que confiar en uno mismo, para dar a los demás. Te extraño siempre.

A Anahí, Tania y Amaury, porque son el motivo para seguir adelante, por que espero que entiendan la razón de los muchos momentos que dejamos de compartir y que nunca olviden lo importante que es disfrutar y ser feliz con lo que uno hace día a día.

A mi madre, por su fortaleza y ejemplo, por siempre estar ahí, impulsándome a concluir lo iniciado.

A mi familia

A Jorge, Laura, Ivonne y Arturo, porque en los momentos difíciles, estar juntos es nuestra fortaleza, los quiero.

A Carmen Reyna, Mago, Guille y Aurelio, la vida cambia de un momento a otro, pero sé que siempre están ahí, gracias, los quiero.

A todos mis sobrinos Pamela, Alexis, Jorge, Daniel, Mariana, Oscar, Ely, Magalí, Ian, Eduard, Marisol, Bruno, Aldo, Mely, Elían, Yanin y Cintli, porque a medida que crecen rompen sus propias barreras, recuerden que los límites solo existen en su imaginación.

A mi tía Lucrecia y a Pepe, porque siempre me echaron porras y lamento mucho que no estén con nosotros, su ausencia duele.

A mis amigos

A todos y cada uno de ellos que han estado en diferentes momentos de este proceso, a los cuáles no voy a nombrar, porque sería lamentable omitir a alguno de ellos involuntariamente, por su cariño, por sus palabras, por sus regaños, por sus sonrisas, por ser amigos en toda la extensión de la palabra.

Contenido

<i>Prólogo</i>	1
<i>Resumen</i>	3
<i>Abstract</i>	5
<i>Capítulo 1</i>	7
<i>Marco teórico y metodológico</i>	7
INTRODUCCIÓN	7
MARCO TEÓRICO.	13
Ecosistemas de montaña.....	13
Sistemas ribereños	16
Agua.....	18
Suelo	20
DISEÑO DEL MUESTREO.....	21
Muestras de agua	21
Muestras de suelo	23
ANÁLISIS DE MUESTRAS.....	24
DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS In situ	24
Parámetros físicos:	24
Parámetros químicos:.....	24
DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS EN LABORATORIO	25
Análisis de agua	25
Parámetros químicos:.....	25
Análisis de suelo	25
Propiedades físicas	25
Propiedades químicas:.....	26
GALERÍA FOTOGRÁFICA.	26
PROCESAMIENTO DE DATOS	27
<i>Capítulo 2</i>	28
<i>Reserva de la Biosfera Los Volcanes. Caracterización biofísica y ecológica</i>	28
GENERALIDADES	28
CLIMA.....	31
GEOLOGÍA	34
DIVERSIDAD BIOLÓGICA	35

DESCRIPCIÓN DE LAS COBERTURAS DE SUELO IDENTIFICADAS	36
DESCRIPCIÓN DE LOS USOS DE SUELO IDENTIFICADOS	40
CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LOS SITIOS DE ESTUDIO	43
<i>Capítulo 3</i>	<i>120</i>
<i>Caracterización limnológica de sistemas lóticos</i>	<i>120</i>
INTRODUCCIÓN	120
El agua en el ámbito mundial	121
El agua en el ámbito nacional	122
La dinámica fluvial y el ambiente de ribera	123
Calidad del agua y monitoreo	125
OBJETIVOS.....	126
MÉTODOS	127
Parámetros físicos	127
Parámetros químicos.....	129
Parámetros hidrológicos.....	129
TOMA DE MUESTRAS DE AGUA.....	130
FASE DE LABORATORIO	130
RESULTADOS	133
pH	135
Conductividad.....	136
Alcalinidad, dureza total y dureza de calcio	138
Fósforo.....	139
Nitrógeno.....	141
Azufre	142
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	144
Demanda química de oxígeno (DQO)	145
Velocidad de corriente y caudal	147
COMPARACIÓN POR COBERTURA DEL SUELO	148
COMPARACIÓN POR USO DE SUELO	151
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	164
CONCLUSIONES.....	169
<i>Capítulo 4</i>	<i>170</i>
<i>Caracterización edáfica de ambientes ribereños de montaña.....</i>	<i>170</i>
INTRODUCCIÓN	170
El suelo.....	170

Regulación del clima	174
Ciclo de nutrientes.....	174
Hábitat de organismos	174
Agua, purificación infiltración y reducción de contaminantes del suelo	176
Retención de carbono	176
Fuente de productos farmacéuticos y recursos genéticos.....	177
Regulación de inundaciones.....	177
Herencia cultural	178
Suelo y degradación.....	178
Los suelos en las montañas	181
OBJETIVOS.....	182
MÉTODOS.	183
Toma de muestras de suelo.....	183
Fase de laboratorio	184
Propiedades físicas	184
Propiedades químicas.....	185
Procesamiento de datos edáficos	186
RESULTADOS.....	187
Textura.....	187
pH	194
Conductividad eléctrica	195
Densidad aparente	196
Espacio poroso.....	196
Materia y carbono orgánicos.....	196
Nitrógeno total	197
Fósforo.....	198
COBERTURA DEL SUELO.....	199
USO DEL SUELO.....	203
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	215
CONCLUSIONES.....	219
<i>Capítulo 5</i>	<i>220</i>
<i>Indicadores hídrico-edáficos de calidad para ambientes ribereños de montaña</i>	<i>220</i>
INTRODUCCIÓN.	220
MARCO TEÓRICO	221
INDICADORES.....	221

TIPOS DE INDICADORES	225
INDICADORES EDÁFICOS.....	226
INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA.....	227
INDICADORES HÍDRICO –EDÁFICOS	229
OBJETIVOS.....	229
MÉTODOS	230
Datos.....	230
Procesamiento de Datos.....	231
Análisis de Correlación múltiple (ACM).....	231
Análisis de Componentes Principales (ACP)	231
Correlaciones canónicas.....	232
Comprobación de la clasificación de Tipo de cobertura y Uso del suelo a través de Red Neuronal	233
Cálculo de indicadores hídrico-edáficos y comparación en función de la cobertura y uso del suelo.....	233
Representación espacial y zonificación con base en los indicadores sintéticos	234
RESULTADOS.....	235
Análisis de Correlación múltiple	235
Análisis de Componentes Principales (ACP)	236
Análisis de Correlaciones Canónicas (ACC).....	239
Análisis de Redes Neuronales (ARN)	242
Cálculo de Indicadores Hídrico-Edáficos y comparación en función de la Cobertura y Uso del suelo.	243
Representación espacial y zonificación con base en los indicadores Hídrico-Edáficos.....	249
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	254
Selección de variables.....	256
Comprobación de categorías propuestas para Uso y Cobertura del Suelo (ARN)	259
Cálculo y comparación de Indicadores Hídrico-Edáficos en función del Uso y Cobertura del suelo.	259
Representación espacial y zonificación con base en los indicadores Hídrico-Edáficos.....	263
CONCLUSIONES.....	268
<i>Referencias</i>	270

Índice de Figuras

<i>Figura 1.1 Multifuncionalidad de los Bosques de montaña</i>	15
<i>Figura 1.2 Paisaje de ribera-Río Apatlaco, en un ecosistema de montaña</i>	16
<i>Figura 1.3 Disponibilidad de agua de acuerdo con el Programa Nacional Hídrico 2014</i>	19
<i>Figura 1.4 Degradación de suelos según su uso en México</i>	21
<i>Figura 1.5 Representación espacial de los 78 Sitios de muestreo en la Reserva de la Biósfera Los Volcanes y su zona de influencia</i>	22
<i>Figura 1.6 Diagrama de toma de muestras hídricas y edáficas</i>	23
<i>Figura 2.1 Proporción correspondiente a cada estado del área total de la RBLV</i>	29
<i>Figura 2.2 Climograma (1981-2010) Estación Hueyapan</i>	33
<i>Figura 2.3 Climograma (1981-2010) Estación San Pedro Nexapa, México</i>	33
<i>Figura 2.4 Climograma (1981-2010) Estación Alpanocan, Morelos</i>	33
<i>Figura 2.5 Climograma (1981-2010) Estación Chalco-San Lucas</i>	33
<i>Figura 2.6 Coberturas de suelo identificadas</i>	39
<i>Figura 2.7 Usos de suelo identificados</i>	42
<i>Figura 2.8 Vista Noroeste del arroyo en Pilares</i>	44
<i>Figura 2.9 Vista suroeste del arroyo Apatlaco</i>	45
<i>Figura 2.10 Corriente superficial naciente en el área Volkswagen</i>	46
<i>Figura 2.11 Vista noroeste del arroyo Apatlaco</i>	47
<i>Figura 2.12 Vista de la oquedad donde se localiza el manantial Volkswagen y su flujo inicial</i>	48
<i>Figura 2.13 Paisaje del Bosque donde se encuentra un manantial entubado</i>	49
<i>Figura 2.14 Vista del manantial en la zona de Bosque paraje Rincón del Cocoyuco</i>	50
<i>Figura 2.15 Vista descendente del Río Apatlaco que da origen a la Cascada</i>	51
<i>Figura 2.16 Vista del Río en el paraje denominado el Corral, por su uso ganadero</i>	52
<i>Figura 2.17 Río Apatlaco en la zona del Parque ecoturístico Apatlaco</i>	53
<i>Figura 2.18 Vista del Río Apatlaco a la altura del Fraccionamiento de campo Buenavista</i>	54
<i>Figura 2.19 Vista del Río Apol y cajas de agua que alimenta</i>	55
<i>Figura 2.20 Vista del río en Atzompa, en dos épocas del año</i>	56
<i>Figura 2.21 Vista del manantial Palo obispo</i>	57
<i>Figura 2.22 Vista del Río Palo obispo y su vegetación ribereña</i>	58
<i>Figura 2.23 Río Cotzala y represa inhabilitada</i>	59
<i>Figura 2.24 Manantial y efluente en la zona alta de Xoquititla</i>	60
<i>Figura 2.25 Manantial entubado en la zona de Bosque mixto de San Juan</i>	61
<i>Figura 2.26 Río Cotzala en el paraje Atzomaco, vista superior y desembocadura</i>	62
<i>Figura 2.27 Efluente que emana del manantial de Santa Rita Tlahuapan para abastecer al poblado</i>	63
<i>Figura 2.28. Afluente en Santa Rita Tlahuapan antes de llegar a la zona agrícola</i>	64
<i>Figura 2.29 Río Cotzala en la zona de la hidroeléctrica y el canal de derivación</i>	65
<i>Figura 2.30 Canal que conduce el agua desviada del arroyo para el cultivo de truchas</i>	66
<i>Figura 2.31 Caudal que sale después de haber sido utilizado en el cultivo trutícola</i>	67
<i>Figura 2.32 Afluente en la localidad de Ixoalco antes del cultivo de trucha establecido en el lugar</i>	68
<i>Figura 2.33 Cauce del arroyo en Ixoalco, después de las instalaciones del cultivo trutícola</i>	69
<i>Figura 2.34 Río Alseseca al salir de Calpan con apariencia muy contaminada</i>	70
<i>Figura 2.35 Manantial de gran dimensión en la zona Agrícola-Urbana de San Felipe Teotlalcingo</i>	71
<i>Figura 2.36 Río que fluye por un canal semirústico entre las parcelas agrícolas en San Felipe</i>	72
<i>Figura 2.37 Vista del río contaminado que sale de San Felipe Teotlalcingo y pasa junto al asilo</i>	73
<i>Figura 2.38 Manantial en la Cañada de la Amargura</i>	74
<i>Figura 2.39 Vista del río contaminado en San Simón y lavado de productos</i>	75
<i>Figura 2.40 Vista del arroyo muy contaminado de San Rafael Tlanalapa</i>	76
<i>Figura 2.41 Manantial a un costado del centro de San Rafael</i>	77
<i>Figura 2.42 Río a dos cuadras del Centro de San Rafael Tlanalapa</i>	78
<i>Figura 2.43 Vista del río y el canal en la zona de confluencia y tratamiento Atoyac-Zahuapan</i>	79
<i>Figura 2.44. Río de San Baltazar Atlimeyaya con uso agropecuario</i>	80
<i>Figura 2.45 Vista del Manantial y su efluente en Atlimeyaya</i>	81
<i>Figura 2.46 Cascada y caudal del Río en San Pedro Atlixco</i>	82
<i>Figura 2.47 Vista del manantial protegido y canal que conduce el agua al pueblo de Tochmilco</i>	83
<i>Figura 2.48 Arroyo en la zona conocida como el Calvario en Tochmilco</i>	84
<i>Figura 2.49 Agua del arroyo y ojos de agua que inundan la ciénega</i>	85
<i>Figura 2.50 Vista del río en Barrio de San Juan, Tochmilco</i>	86
<i>Figura 2.51 Vista del descenso a Doña Blanca y el nacimiento de agua</i>	87
<i>Figura 2.52 Vista del descenso a la Joya y el arroyo en invierno con hielo</i>	88
<i>Figura 2.53 Vista descendente del área y arroyo proveniente de Doña Blanca</i>	89
<i>Figura 2.54 Vista del arroyo que alimenta la zona de captación de agua en la Cañada Palo Rechino</i>	90
<i>Figura 2.55 Vista del área y del arroyo Amalacaxco</i>	91
<i>Figura 2.56 Vista del arroyo que corre por la cañada Palo Rechino</i>	92
<i>Figura 2.57 Vista de la cañada y el arroyo Amalacaxco</i>	93

Figura 2.58 Vista noroeste del arroyo Agua el Marrano	94
Figura 2.59 Vista suroeste del Río en Nexcolango	95
Figura 2.60 Vista del arroyo y entubamiento, en el área de Potrero	96
Figura 2.61 Inicio del río en la zona Tierra amarilla, con abundante vegetación alpina	97
Figura 2.62 Pequeño arroyo del paraje Ranchotitla, que lleva agua a Santa Isabel Chalma	98
Figura 2.63 Vista de descenso del arroyo Tetlacuilco en dirección Noroeste	99
Figura 2.64 Vista del río Alcalica en la zona de Bosque mixto	100
Figura 2.65 Vista del río en el paraje del Cerro Tesanto	101
Figura 2.66 Vista del río en la zona ejidal de Río Frío	102
Figura 2.67 Vista del río y su entorno en el paraje Tepinoco	103
Figura 2.68 Vista en el descenso del río Alcalica, con señales iniciales de perturbación	104
Figura 2.69 Afluente en el área ejidal de Río Frío	105
Figura 2.70 Río de la cañada Nexpayantla en tres épocas diferentes	106
Figura 2.71 Río Alcalica adyacente al vivero de Bienes comunales de Amecameca	107
Figura 2.72 Río Alcalina en zona de bosque con meandro y presencia de vegetación ribereña	108
Figura 2.73 Vista de la alimentación del agua del arroyo a las cajas de agua Santa Isabel Chalma	109
Figura 2.74 Cascada y río en Tepepotl	110
Figura 2.75 Arroyo y cauce en el paraje Cuatonco en diferentes épocas del año	111
Figura 2.76 El afluente principal del río Alcalica, en la zona agropecuaria.	112
Figura 2.77 Río de Tepepotl antes del cultivo de trucha	113
Figura 2.78 Arroyo proveniente de Ranchotitla que alimenta un cultivo de truchas	114
Figura 2.79 Río Alcalica en el paraje Tomacoco	115
Figura 2.80 Arroyo en Tezahuac, zona agropecuaria con descargas de basura	116
Figura 2.81 Vista del Río entre Amecameca y camino a Ayapango por libramiento	117
Figura 2.82 Vista del Río en Ayapango	118
Figura 2.83 Vista del Río en Nepantla, en época de estiaje	119
Figura 3.1 Desafíos en cuanto a calidad del agua de acuerdo a los objetivos del desarrollo sostenible	123
Figura 3.2 Paisaje de ribera, en San Felipe Teotlalcingo, Puebla	126
Figura 3.3 Diagrama de las fases del trabajo en campo para los parámetros de agua	128
Figura 3.4 Ubicación de los sitios de muestreo sobre la Red hidrológica de la RBLV	133
Figura 3.5 Variación altitudinal de la Temperatura ambiente y del agua	134
Figura 3.6 Variación de la Temperatura del agua para las cuencas de México y del alto Balsas	135
Figura 3.7 Variación altitudinal del pH	135
Figura 3.8 Variación del pH del agua para las cuencas de México y el alto Balsas	136
Figura 3.9 Clasificación del agua en los sitios de estudio de acuerdo a su conductividad	136
Figura 3.10 Variación altitudinal de la Conductividad	137
Figura 3.11 Variación de la Conductividad para las cuencas de México y el alto Balsas	137
Figura 3.12 Porcentaje de sitios de acuerdo a la clasificación de la Dureza total	138
Figura 3.13 Porcentaje de sitios de acuerdo a la clasificación de la Alcalinidad	138
Figura 3.14 Variación de la Alcalinidad y Durezas en función de la altitud	139
Figura 3.15 Variación de la Alcalinidad para las cuencas de México y del alto Balsas	139
Figura 3.16 Variación de la Dureza total para las cuencas de México y del alto Balsas	139
Figura 3.17 Variación altitudinal del Fósforo total y los Ortofosfatos	140
Figura 3.18 Variación del Fósforo total para las cuencas de México y de alto Balsas	140
Figura 3.19 Variación de Ortofosfatos para las cuencas de México y de alto Balsas	140
Figura 3.20 Variación altitudinal de Nitratos y Amonio	141
Figura 3.21 Variación de Nitratos para las cuencas de México y del alto Balsas	141
Figura 3.22 Variación del Amonio para las cuencas de México y del alto Balsas	141
Figura 3.23 Variación altitudinal de Sulfatos y Sulfuros	142
Figura 3.24 Variación de Sulfatos para las cuencas de México y del alto Balsas	142
Figura 3.25 Variación altitudinal del Oxígeno disuelto	143
Figura 3.26 Variación del Oxígeno disuelto para las cuencas de México y del alto Balsas	143
Figura 3.27 Porcentaje de sitios en las categorías de calidad del agua de acuerdo a la DBO ₅	144
Figura 4.28 Variación altitudinal de la DBO ₅	144
Figura 3.29 Variación de la DBO ₅ para las cuencas de México y del alto Balsas	145
Figura 3.30 Porcentaje de sitios en las categorías de calidad del agua de acuerdo a la DQO	145
Figura 3.31 Variación altitudinal de la DQO	146
Figura 3.32 Variación de la DQO en las cuencas de México y del alto Balsas	146
Figura 3.33 Variación altitudinal de la Velocidad de corriente y el caudal.	147
Figura 3.34 Variación de la velocidad de corriente para las cuencas de México y alto Balsas	147
Figura 3.35 Variación del caudal para las cuencas de México y alto Balsas	147
Figura 3.36 Variación en función de la Cobertura del suelo	150
Figura 3.37 Variación de cada uno de los parámetros en función del Uso de suelo.	153
Figura 3.38 Representación espacial del Equilibrio salino	155
Figura 3.39 Representación espacial del Comportamiento nutrimental	156
Figura 3.40 Representación espacial de la calidad del agua de acuerdo a la DBO ₅	157

Figura 3.41 Representación espacial de la calidad del agua de acuerdo a la DQO	158
Figura 3.42 Representación gráfica de los componentes principales 1 y 2	160
Figura 3.43 Representación gráfica de los componentes principales 3 y 4	160
Figura 3.44 Representación espacial del primer componente	161
Figura 3.45 Representación espacial del segundo componente	162
Figura 3.46 Representación espacial del tercer componente	163
Figura 4.1 Cantidades porcentuales del contenido de elementos en el suelo	171
Figura 4.2 Diferentes fases del suelo	172
Figura 4.3 El suelo sus espacios y la interacción con aire y agua	173
Figura 4.4. Tipos de Degradación del suelo	179
Figura 4.5. Superficie de los suelos del planeta afectados por las principales causas de degradación	180
Figura 4.6. Vista del Río Apatlaco en su descenso hacia el sureste	181
Figura 4.7 Diagrama de muestreo de suelo	183
Figura 4.8 Muestreo de suelo	184
Figura 4.9 Textura de los 78 sitios de estudio en los ambientes ribereños de la RBLV	188
Figura 4.10 Porcentaje de las texturas registradas para los 78 sitios de muestreo	188
Figura 4.11. Porcentaje de tipos de suelos dominantes en los sitios de estudio RBLV	191
Figura 4.12 Variación altitudinal del pH del suelo	195
Figura 4.13 Variación altitudinal de la conductividad eléctrica en el extracto de suelo	195
Figura 4.14. Variación altitudinal de la densidad aparente y el espacio poroso	196
Figura 4.15. Variación altitudinal de la materia y el carbono orgánicos del suelo	197
Figura 4.16 Variación altitudinal del Nitrógeno total del suelo	198
Figura 4.17. Variación altitudinal del Fósforo extractable del suelo	198
Figura 4.18 Variación de cada uno de los parámetros en función de la Cobertura del suelo	202
Figura 4.19 Variación de cada uno de los parámetros en función del Uso de suelo	205
Figura 4.20. Representación espacial de los porcentajes de Arena, limo y arcilla	208
Figura 4.21 Representación espacial del Espacio poroso, conductividad eléctrica del suelo RBLV	209
Figura 4.22 Representación espacial del Carbono orgánico, Fósforo extractable y Nitrógeno total del suelo RBLV	210
Figura 4.23 Representación gráfica de los componentes principales 1 y 2	211
Figura 4.24. Representación espacial del primer componente del suelo	213
Figura 4.25. Representación espacial del segundo componente del suelo	214
Figura 5.1 Proceso de Generación de indicadores e índices	225
Figura 5.2. Secuencia de métodos multivariados aplicados en esta fase	231
Figura 5.3 Representación gráfica de los componentes principales 1 y 2 para los indicadores Hídrico-Edáficos	237
Figura 5.4 Representación gráfica de los componentes principales 3 y 4 para los Indicadores Hídrico-Edáficos	238
Figura 5.5 Gráfico de la Primer variable canónica	240
Figura 5.6 Gráfico de la Segunda variable canónica	241
Figura 5.7 Gráfico de la Tercera variable canónica	241
Figura 5.8 Red neuronal para clasificación de los sitios por Uso de suelo	242
Figura 5.9 Red neuronal para clasificación de los sitios por Cobertura del suelo	243
Figura 5.10 Variación altitudinal de los Indicadores Hídrico-Edáficos 1 y 2	245
Figura 5.11 Variación del Primer indicador Hídrico Edáfico en función del Uso de suelo	246
Figura 5.12 Variación del valor del Segundo indicador Hídrico Edáfico en función del Uso de suelo	247
Figura 5.13 Variación del Primer indicador Hídrico Edáfico en función de la Cobertura del suelo	248
Figura 5.14 Variación del Segundo indicador Hídrico Edáfico en función de la Cobertura del suelo	249
Figura 5.15 Representación espacial de la Variación del Primer indicador Hídrico Edáfico	251
Figura 5.16 Zonificación con base en el Primer indicador Hídrico Edáfico	252
Figura 5.17 Representación espacial de la Variación del Segundo indicador Hídrico Edáfico	255
Figura 5.18 Zonificación con base en el Segundo indicador Hídrico Edáfico	256

Índice de Tablas

<i>Tabla 2.1. Climas presentes en la RBLV de acuerdo con las estaciones meteorológicas localizadas dentro de la Reserva</i>	31
<i>Tabla 3.1. Abreviaturas y unidades para cada variable</i>	132
<i>Tabla 3.2. Valor promedio, máximo, mínimo o y coeficiente de variación de las variables hídricas para cada Cobertura de suelo</i>	149
<i>Tabla 3.3. Valor promedio, máximo, mínimo y coeficiente de variación de las variables hídricas para cada Uso de suelo</i>	152
<i>Tabla 3.4 Resultados del Análisis de Componentes principales</i>	159
<i>Tabla 3.5 Pesos de los componentes</i>	159
<i>Tabla 4.1. Abreviaturas y unidades para cada variable</i>	187
<i>Tabla 4.2. Localidad, uso de suelo, cuenca, textura, tipo de suelo y clase textural</i>	189
<i>Tabla 4.3 Material parental, geoformas, intervalo altitudinal, térmico y coberturas asociadas a los 4 tipos de suelo más relevantes de los ambientes ribereños estudiados</i>	191
<i>Tabla 4.4. Valor promedio, máximo, mínimo y coeficiente de variación de cada una de las variables edáficas para cada Cobertura</i>	201
<i>Tabla 4.5 Valor promedio, máximo, mínimo y coeficiente de variación de las variables edáficas para cada Uso de suelo</i>	205
<i>Tabla 4.6 Pesos de los componentes</i>	211
<i>Tabla 5.1 Parámetros utilizados en el Análisis de Correlación múltiple (ACM), Análisis de Componentes principales (ACP) y Correlaciones canónicas</i>	235
<i>Tabla 5.2 Resultados del Análisis de Componentes principales</i>	236
<i>Tabla 5.3. Pesos de los componentes</i>	237
<i>Tabla 5.4 Correlaciones canónicas</i>	239
<i>Tabla 5.5 Coeficientes de las Variables canónicas del Bloque hídrico</i>	239
<i>Tabla 5.6 Coeficientes de las Variables canónicas del Bloque edáfico</i>	239
<i>Tabla 5.7 Porcentajes de casos clasificados correctamente, por Uso de suelo</i>	242
<i>Tabla 5.8 Porcentajes de casos clasificados correctamente, por Cobertura del suelo</i>	243
<i>Tabla 5.9 Valor promedio de los Indicadores Hídrico-Edáficos 1 y 2</i>	244
<i>Tabla 5.10 Valores máximos y mínimos para los Indicadores Hídrico-Edáficos 1 y 2 en los diferentes Usos de suelo</i>	245
<i>Tabla 5.11 Valores máximos y mínimos de los Indicadores Hídrico-Edáficos 1 y 2 para las diferentes Coberturas del suelo</i>	247
<i>Tabla 5.12 Escala del Primer Indicador Hídrico Edáfico</i>	250
<i>Tabla 5.13 Escala del Segundo Indicador Hídrico-Edáfico</i>	253
<i>Tabla 5.14 Variación de la Calidad del sistema ribereño en función de los Indicadores Hídrico-Edáficos 1 y 2, para los diferentes Usos de suelo</i>	253
<i>Tabla 5.15 Variación de la Calidad del sistema ribereño en función de los Indicadores Hídrico-Edáficos 1 y 2, para las diferentes Coberturas del suelo</i>	254

Prólogo

Las montañas proveen de agua a la mitad de la población en el mundo y se encuentran en una situación de alta vulnerabilidad por el cambio climático y las actividades humanas que cada día aumentan y se diversifican, provocando degradación e impactos negativos en los ecosistemas y en consecuencia en los servicios que estos proporcionan.

Las cuencas hidrográficas en el mundo son recorridas por arroyos y ríos, que facilitan el transporte y redistribución de materiales, pero que también erosionan y disuelven rocas y suelo, estos sistemas lóticos son altamente dinámicos, a diferencia de los cuerpos lacustres, esto hace que sus características dependan de la geología del lugar que recorren, de las condiciones climáticas, de los elementos bióticos con los que interactúa y de las actividades humanas que se realizan en su entorno.

La funcionalidad de estas corrientes superficiales, no obedece a un solo gradiente de cambio, su conectividad con los otros elementos de la cuenca se desarrolla en cuatro ejes, el longitudinal que va de la cabecera o nacimiento hasta la desembocadura a muchos kilómetros de distancia, el transversal representado por el flujo continuo de materia y energía entre el cauce y la ribera, el vertical que se desarrolla por el constante movimiento y flujo turbulento entre el agua superficial y el fondo del cauce, donde según la pendiente de este último se propiciará una mayor o menor acumulación de sedimentos y finalmente el cuarto eje que está dado por el tiempo que transcurre entre diferentes estaciones del año y épocas de lluvia o estiaje.

Teniendo en cuenta, lo anterior entender las causas de la variación en la calidad y cantidad del agua que fluye por los ambientes ribereños de montaña, no es cosa menor. Pero además identificar como es su relación con el suelo de la ribera es sumamente interesante.

El estudio de la variación en la calidad del agua y del suelo se ha realizado pero siempre de manera independiente, sin considerar la interacción en los ecosistemas de ribera, por ello el propósito de este trabajo de investigación fue no solo realizar el análisis de la calidad del agua y del suelo en los ambientes ribereños de la Reserva de la Biosfera “Los Volcanes” (RBLV), sino, también realizar un análisis de manera integrada con los parámetros de agua y suelo para generar Indicadores Hídrico -Edáficos que ayuden a sintetizar la información y establecer la calidad o estado de salud de los ecosistemas ribereños de la RBLV.

Esta investigación se ha dividido en cinco capítulos

En los capítulos uno y dos se plantean el marco teórico que fundamenta este estudio, los objetivos y los métodos en las diferentes fases del trabajo de investigación. Se muestra la caracterización biofísica de la zona de estudio, con base en la información disponible, con la finalidad de resaltar la importancia del área natural protegida y la relevancia de la investigación. Posteriormente se presenta la caracterización ecológica de cada uno de los sitios de muestreo, según las observaciones y las mediciones de campo.

En el capítulo tres, se presenta la caracterización limnológica de cada uno de los sitios de estudio y se realizan comparaciones de su comportamiento físico y químico, en función de la cuenca a la que pertenecen, el tipo de cobertura de suelo y el uso del suelo. Contiene la cartografía correspondiente al comportamiento de las variables limnológicas con mayor significancia conforme a los análisis estadísticos realizados.

En el capítulo cuatro se realiza la caracterización edáfica de los ambientes ribereños de montaña y se analiza el estado en que se encuentran los suelos de la reserva en función de la cobertura y uso de suelo. Expone cartografía correspondiente a las variables del suelo con mayor significancia según los análisis estadísticos.

El capítulo cinco, devela cuáles son los indicadores de calidad del sistema hídrico-edáfico generados, en los ambientes ribereños de la RBLV, se estudia su comportamiento en función de la cobertura y uso de suelo. Además, se diseña la cartografía especializada, que representa la variación espacial y zonificación con base en cada uno de los indicadores, validando su utilidad para la toma de decisiones de gestión y conservación de los ecosistemas ribereños de montaña.

Resumen

Los indicadores ecológicos son una herramienta que proporciona información compleja de una manera sintética, útil y clara sobre los cambios espaciales o temporales en los sistemas naturales, deben ser sensibles a pequeñas variaciones de estrés ambiental, independientes de los estados de referencia, aplicables a ambientes ecológicos específicos o áreas extensas y preferentemente cuantificables (Jorgensen, Xu y Constanza, 2016). La información que proporcionan sobre los cambios en los procesos ecológicos y biogeoquímicos permiten evaluar las condiciones del sistema, su calidad o estado y vulnerabilidad. La Reserva de la Biósfera Los Volcanes (RBLV) es un área emblemática, que tiene como función la conservación de ecosistemas, especies y paisajes que se encuentran en su territorio, para lograr la integridad ecológica y cultural. En la zona alta de la RBLV, se originan los ecosistemas ribereños de montaña, que mantienen una interacción continua entre el ambiente acuático y el terrestre en los ejes longitudinal, transversal y vertical, dando lugar a una zona de transición con alta capacidad amortiguadora, que les confiere especial relevancia para la conservación de los recursos naturales y servicios ecosistémicos.

Estos ambientes ribereños son alterados en diferente grado por las actividades que se desarrollan a lo largo del sistema fluvial, con consecuencias importantes en el deterioro de la calidad del agua y el suelo. Los estudios, realizados hasta el momento abordan esta pérdida de calidad de los subsistemas hídrico o edáfico de manera separada; sin embargo, al analizar estos procesos en el contexto del ambiente ribereño, se infiere que no son procesos ecológicos que sucedan de forma independiente, por el contrario, los efectos directos de la pérdida de la vegetación riparia y erosión del suelo, hacen que la calidad del agua en el cauce se deteriore simultáneamente. El objetivo de esta investigación fue generar indicadores hídrico-edáficos capaces de agrupar y sintetizar información compleja sobre la calidad de los ecosistemas ribereños y evaluar el cambio de esta calidad, de acuerdo a la cobertura y usos del suelo, identificados.

Para alcanzar este objetivo, se realizó la caracterización ecológica y monitoreo de las propiedades físicas y químicas del agua y del suelo, para 78 sitios, distribuidos en las cuencas de México y del alto Balsas en un intervalo altitudinal que abarca más de 2000 m. La investigación se realizó durante un periodo de cinco años con la finalidad de identificar los cambios que afectan la calidad del ecosistema y en consecuencia la biodiversidad y la salud humana. Se realizaron registros de 20 variables en el subsistema hídrico (temperatura ambiental y del agua, pH, conductividad, pH, sólidos totales disueltos, nitratos, nitritos, amonio, fósforo total, ortofosfatos, oxígeno disuelto, DBO₅, DQO, alcalinidad, dureza total y de calcio, sulfatos, sulfuros, velocidad de corriente y caudal) y 14 variables en el subsistema edáfico (temperatura del suelo, conductividad eléctrica del suelo, pH, densidad aparente, porcentaje de espacio poroso, porcentaje de humedad, materia orgánica del suelo, carbono orgánico del suelo, nitrógeno total, C:N, fósforo extractable, porcentajes de arena, limo y arcilla). Se identificaron siete coberturas del suelo (Pastizal montano, Pastizal montano-Bosque de Pino, Bosque de Pino, Bosque mixto, Agrícola, Urbana y Manantial) y siete usos de suelo (Pradera de alta montaña, Forestal, Forestal perturbado, Recreativo-forestal, Agrícola-forestal, Agropecuario y Urbano). El trabajo se dividió en tres etapas de análisis, (1) Hídrica: procesamiento de los datos registrados para el agua, en los sistemas fluviales, selección de las variables más significativas del comportamiento hídrico mediante la aplicación análisis de correlación múltiple (ACM) y componentes principales (ACP) cuyos resultados contribuyeron a identificar nueve variables hídricas representativas, que permitieron evaluar el comportamiento por efectos de altitud, de la

cobertura y de los usos del suelo, además de realizar la zonificación de la RBLV con base en la calidad del agua de sus ríos y arroyos. (2) Edáfica: los datos obtenidos del registro de las propiedades edáficas, fueron sometidos al mismo procedimiento utilizado para las variables hídricas, identificando seis parámetros con mayor robustez y significancia estadística, que a través del primer componente principal muestra el estado y calidad de los suelos ribereños y los factores que los alteran y hacen evidente la variación espacial de la calidad edáfica en la RBLV y su área de influencia y las afectaciones provocadas por los cambios en cobertura y uso de suelo. (3) Hídrico-Edáfica: esta fase incluye todas las variables hídricas y edáficas no colineales que fueron sometidas conjuntamente a un nuevo ACP, del que se extrajeron diez variables significativas en dos bloques, hídrico y edáfico que, a su vez, fueron correlacionados significativamente en el análisis de correlaciones canónicas (ACC). Los componentes principales permitieron generar dos Indicadores Hídrico-Edáficos, el primero da mayor peso a la variabilidad hídrica a través de la conductividad eléctrica, la alcalinidad, el fósforo total y los nitratos, sin dejar de considerar las otras seis variables y el segundo destaca los porcentajes de espacio poroso y carbono orgánico del suelo. La comparación de los dos indicadores, por cobertura del suelo señala que, conforme se desciende en el gradiente altitudinal, a partir de la cobertura de Bosque mixto, la calidad de los sistemas ribereños empieza a disminuir y la pérdida de esta calidad se acentúa en la cobertura Agrícola y presenta un deterioro muy grave en la cobertura Urbana. Al comparar la calidad de los sistemas ribereños con base en el uso del suelo, se observan las primeras alteraciones de la calidad hídrico-edáfica en el uso Recreativo-Forestal y se acentúa el deterioro de la calidad de los sistemas ribereños gradualmente, hasta llegar a los que están inmersos en terrenos de uso de suelo urbano, en donde se presenta el mayor impacto. Un valor agregado de la importancia de los resultados de ésta investigación, es la forma sencilla y clara en que se muestra la variación espacial de ambos indicadores y áreas con diferente grado de deterioro que facilitará su socialización en diferentes sectores de la población y su potencial utilidad para la planeación de actividades y toma de decisiones en torno a la conservación o recuperación de los servicios ecosistémicos y recursos naturales dependientes de la calidad de los ecosistemas ribereños.

Abstract

Ecological indicators are useful tool, providing complex information, synthetic and clear, about spatial or temporal changes in natural systems. These must be sensitive to small changes in environmental stress, independent of reference states, applicable to specific ecological environments or extensive areas, and preferably quantifiable (Jorgensen, Xu & Contanza, 2016). The information they provide on variations in ecological and biogeochemical processes allows evaluating the conditions of the system, its quality or status and vulnerability. The Volcanes Biosphere Reserve (RBLV) is an emblematic area, Its function is conservation of ecosystems, species and landscapes in their territory, to achieve ecological and cultural integrity. In the upper zone of the RBLV, the riparian mountain ecosystems originate, which maintain a continuous interaction between the aquatic and terrestrial environment at the longitudinal, transversal and vertical axes, giving rise to transition zone with high buffering capacity, which has special relevance for the natural resources conservation and ecosystem services. These riparian environments are altered to different degrees by the activities that take place along the river system, with important consequences as the deterioration of the water and soil quality. Studies so far addressed the loss of quality in the water or soil subsystems separately, however, when analyzing these processes in the context of the riparian environment, it is inferred that these ecological processes do not occur independently, on the contrary, the direct effects of riparian vegetation loss and soil erosion have impact on water quality, simultaneously. The objective of this research was to generate water-edaphic indicators capable of grouping and synthesizing complex information on the quality of riparian ecosystems and evaluating the change in this quality, according to the land coverage and uses identified.

To achieve this goal, the ecological characterization and monitoring of the physical and chemical properties of the water and soil was carried out for 78 sites, distributed in Mexico and the Alto Balsas basins in an altitudinal interval spanning more than 2000 m. The research was carried out over a period of five years in order to identify the changes that affect the quality ecosystem and consequently biodiversity and human health. Twenty variables were records in the water subsystem (environmental and water temperature, pH, electrical conductivity, total dissolved solids, nitrates, nitrites, ammonium, total phosphorus, orthophosphates, dissolved oxygen, BOD₅, COD, alkalinity, total hardness and calcium hardness, sulfates, sulfides, current speed and flow) and variables in the edaphic subsystem (soil temperature, electrical conductivity of the soil, pH, apparent density, pore space percentage, humidity percentage soil organic matter, soil organic carbon, total nitrogen, C:N, extractable phosphorus, sand, silt and clay, percentages. Seven land covers were identified (Montane grassland, Montane grassland-pine forest, Pine forest, Mixed forest, Agricultural, Urban and Spring) and seven land uses (High mountain meadow, Forest, Disturbed forest, Recreational-forest, Agricultural-forestry, Agricultural and Urban)

The study was divided into three analysis stages, (1) Water: processing of the data recorded for water, in the river systems under study, selection of the most significant variables of water behavior through the application of multiple correlation analysis (MCA) and principal components (PCA), whose results contributed to identify nine representative water variables, which allowed evaluating the behavior for the effects of altitude, coverage and land uses, in addition the zoning of the RBLV based on the water quality from rivers and streams. (2) Edaphic: the data from the record of edaphic

properties were subjected to the same procedure used for water variables, identifying six parameters with greater robustness and statistical significance. The first principal component shows the state and quality of the riparian soils and factors that alter, it becomes evident the spatial variation of edaphic quality in the RBLV and its influence area and effects caused by changes in coverage and land use. (3) Hydric-Edaphic: this phase includes all non-collinear hydric and edaphic variables that were jointly subjected to a new PCA, from which ten significant variables were extracted in two blocks, hydric and edaphic. These blocks were significantly correlated from the canonical correlation analysis (CCA). The principal components obtained allowed the generation of two Hydric-Edaphic Indicators. The first one gives greater weight to the hydric variability through electrical conductivity, alkalinity, total phosphorus and nitrates, without failing to consider the other six variables and, the second indicator highlights the percentages of pore space and soil organic carbon. The comparison of two indicators, by land cover show that, as the altitudinal gradient decreases, from the mixed forest cover the riparian systems quality begins to decrease and loss of this quality is accentuated on the Agricultural cover and presents severe deterioration in urban coverage. When comparing the riparian systems quality based on land use, the first alterations in the water-edaphic quality is in Recreational-forest use are observed and the deterioration of the riparian systems quality is gradually accentuated, until reaching those that are immersed in urban land use areas, where the greatest impact occurs. An additional value, of this research results are the simple and clear way to show on the map the spatial variation of the two indicators and areas with deterioration in different degrees, it's facilitate their socialization within different sectors of the population and their potential utility for activities planning and decision-making around conserving or recovering ecosystem services and natural resource dependent of riparian ecosystems quality.

Capítulo 1

Marco teórico y metodológico

INTRODUCCIÓN

Los ambientes ribereños, ecotonos entre los ecosistemas terrestres y acuáticos (Anbumozhi, Rakhakrishnan y Yamaji, 2005) funcionan como zonas de filtración y amortiguamiento que mitigan en más de 40%, la influencia negativa de contaminantes y elementos químicos que fluyen hacia los cauces, mediante la escorrentía de agua superficiales (Mander, Kuusumets, Lõmus, Mäuring, 1997). Los flujos de agua que hacen sus recorridos desde su nacimiento hasta su desembocadura, permiten la circulación y transporte de agua y materiales orgánicos e inorgánicos a través de las cuencas. Esto favorece que a lo largo de los ambientes ribereños se formen corredores biológicos, eco-regiones florísticas estructuralmente muy diversas que "conectan" regiones con biomas distintos en un flujo continuo y multidireccional entre agua, suelo y vegetación riparia gracias a que combinan procesos geológicos, químicos, hidrológicos y biológicos condicionados en alto grado por la topografía y el relieve (Manners, Schmidt, Scott, 2014).

El relieve de la tierra ha evolucionado de una forma dinámica y continua a partir de procesos influenciados por la fuerza de gravedad, la cual tiene como función buscar el equilibrio, que se logra a partir del surgimiento de diferentes estructuras en desniveles (elevaciones y depresiones), conformando el relieve y la topografía del planeta.

La visión geomorfológica de un territorio lleva a identificar diferencias importantes en su estructura y función a partir de la topografía predominante, reconociendo eminencias, sierras, lomeríos, planicies, llanuras, depresiones, etc. Por lo tanto, dentro del territorio se distinguen diversos sistemas montañosos que delimitan regiones y definen parteaguas.

Cuando una porción del territorio es delimitada topográficamente y drenada de forma natural por un sólo sistema hidrológico, provocando que todas las aguas que fluyen dentro de ella converjan en una sola corriente principal o río, se le denomina cuenca hidrográfica (Maass y Cotler, 2007; Jiménez, Torregrosa y Aboites (Eds), 2010; Cotler (Ed.), 2010; Fi, Meng, Wen, Edwin, 2008).

Las cuencas hidrográficas son sistemas naturales dinámicos donde todos los procesos socio-ecológicos están ligados entre sí. Las cuencas poseen elementos, biológicos, físico y antrópicos que interactúan entre sí, dando lugar a una unidad con características propias e irrepetibles en permanente cambio (Dourojeanni, y Jouravlev, 2002; Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Delgado, y Besteiro, 2013).

Desde tiempos de los sumerios, hace más de 3,000 años, se identificaron las cuencas hidrográficas como unidades del paisaje de gran utilidad para el manejo de sus recursos hídricos, debido a que de manera natural permiten coleccionar el agua de lluvia que cae sobre grandes extensiones de terreno. Pero fue hasta mediados del siglo pasado cuando se reconocieron como excelentes

unidades de manejo integrado de los recursos y los servicios proporcionados los ecosistemas (Swank y Crossley, 1988).

A partir de la década de 1980, el manejo integrado de cuencas ha sido una propuesta importante para organizar y guiar el uso de todos los bienes y los recursos de una cuenca. Con la finalidad de proveer bienes y servicios necesarios sin afectar negativamente el suelo y el agua. En este tenor es importante conocer las interrelaciones entre el uso de la tierra, el suelo y el agua, así como la variabilidad y dependencia entre las partes altas y bajas de la cuenca (Quinn et al., 1995) y como ejemplo Cabezas y Comín (2010) señalan que gran parte del carbono en sedimentos erosionados por actividades antrópicas no se pierden de la cuenca, sino que se retienen en los sumideros terrestres como los humedales y las llanuras de inundación

El primer paso para lograr un manejo de cuenca integrado con posibilidades de éxito es identificar a los seres humanos como parte de ella y como beneficiarios de los servicios que los ecosistemas de la cuenca proveen, pero al mismo tiempo asumir que las personas son generadoras de impactos (benéficos o perjudiciales) en los distintos niveles de la cuenca, pero que estos se manifiestan siempre en las partes bajas y en la mayoría de las ocasiones con un proceso acumulativo. Esto se hace manifiesto en la relación entre deterioro de las tierras altas con aumento en acumulación de sedimentos y horizontes del suelo enterrados en los ambientes de ribera encontrada por Ricker et al., (2013) y lo reportado por Rieger et al., (2014), sobre la mayor acumulación de carbono orgánico en estos ambientes durante periodos de inundación-sedimentación naturales, en comparación con un bosque ribereño en donde los procesos de sedimentación estaban controlados por diques.

Reconocer la dinámica hidrológica, ecosistémica, cultural, social e institucional que tiene lugar en cada una de las cuencas hidrográficas de México implica, en primera instancia, conocer el lugar donde viven las personas, saber de dónde provienen los bienes y los servicios ambientales que les benefician, el agua, la biodiversidad, el suelo, los bosques y las selvas, y cómo cumplen diversas funciones y se relacionan a partir del elemento integrador agua, que abarca en su red de arroyos y ríos una conexión inseparable entre la cuenca alta y la cuenca baja (SEMARNAT, 2013).

El relieve determina el movimiento del agua en laderas, valles y cuencas, lo cual provoca diferencias espaciales en las propiedades del suelo (Chun, Zueg y Chang, 2004). La escorrentía dentro de la cuenca la constituyen las aguas que fluyen por la superficie terrestre cuando, tras producirse una precipitación pluvial o cualquier otro aporte de agua (deshielo por ejemplo), el agua comienza a desplazarse a favor de la pendiente hacia puntos de menor cota como consecuencia de la gravedad, conformando la red hidrográfica o sistema fluvial que fluye por la cuenca, mientras que aquellas aguas que sí han sido infiltradas por el suelo y fluyen por su interior reciben el nombre de escorrentía subsuperficial y una fracción de estas aguas infiltradas penetra en la corteza terrestre por percolación hasta alcanzar el manto acuífero.

Los hechos descritos suceden en múltiples sitios de la superficie terrestre, entre ellos las áreas naturales protegidas donde ocurren de manera espontánea y en donde debe pugnarse porque se conserven en la medida de lo posible sin alteraciones. La preservación de estos ecosistemas en buen estado permite la continuidad de los procesos naturales y garantiza la calidad de los servicios ambientales necesarios para la vida humana. Los bosques y el agua son los principales protagonistas del desarrollo de la vida en los ecosistemas: los primeros, por ser productores y partícipes de una gran cantidad de funciones y el agua por ser el líquido conductor, regulador y portador de la vida (Becerra, 2018).

En México, en los años veinte, Miguel Ángel de Quevedo, en su interés de fomentar acciones por la conservación de la biodiversidad, el fomento de creación y mantenimiento de zonas forestales, siempre tuvo presente en la orientación de sus políticas, una visión de cuenca, entendiendo que para un adecuado funcionamiento de la cuenca baja era indispensable la conservación de la cuenca alta, por ello promovió la forestación de muchos de los cerros que circundaban la ciudad de México y logró la promulgación de la Ley Forestal, en el periodo presidencial de General Cárdenas, quien consideraba la conservación de los recursos naturales como prioridad para asegurar la riqueza futura de la nación.

A partir de 1935, inicia en México, la conformación de 39 parques nacionales en 17 estados con la mayor densidad poblacional en la parte central del país. Entre ellos se encontraba el parque nacional Iztaccíhuatl y Popocatepetl con una extensión aproximada de 89 mil hectáreas, donde prevalecían los bosques de coníferas y una cota inferior de 3000 m, la cual fue modificada posteriormente a 3600 m, al establecerse en las cercanías las empresas de fabricación de papel (SEMARNAT, 2013).

En el año 2000, es creada la Comisión Nacional de áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2010), que reconoce seis categorías de Áreas Naturales Protegidas (ANP), en la República Mexicana. La categoría denominada Parque Nacional es la más restrictiva, ya que no permite ningún tipo de aprovechamiento comercial de la biodiversidad, está destinada de forma exclusiva a la conservación y a las actividades turístico-recreativas.

El Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl (PNIP), es una zona representativa del país por la presencia de estos dos importantes volcanes, la magnificencia de sus paisajes, la riqueza y diversidad biológica que alberga y los múltiples servicios que proporcionan sus ecosistemas. La interacción con las áreas ejidales o comunales, la cercanía a centros de población de diferentes dimensiones y la presencia continua de visitantes hace que la presión que se ejerce sobre sus recursos sea muy alta y en muchas ocasiones favorezca el deterioro de los bienes y recursos naturales.

La visualización de ese problema y el interés porque las actividades de conservación y sustentabilidad para generaciones futuras sea una prioridad, se propuso a la UNESCO la creación en esta zona de una Reserva de la Biósfera para promover en un área con mayor extensión la relación armónica entre los seres humanos y la naturaleza, manteniendo en su interior al PNIP y sus funciones.

En 2010, el Programa sobre el Hombre y la Biosfera de la (UNESCO), la designó el área propuesta como Reserva de la Biosfera "Los Volcanes" (RBLV), considerando este espacio geográfico representativo de diferentes hábitats del planeta, donde se busca conciliar la conservación de la diversidad biológica con las necesidades socioeconómicas y la integridad cultural de la gente que ahí vive (Becerra, 2018).

Como un espacio donde se impulse la integración armónica de las poblaciones humanas con su entorno; territorios que sirven para experimentar nuevas visiones de relación del hombre con la naturaleza que conduzcan a un futuro sostenible.

La RBLV fue elegida como área de estudio, por ser un lugar de experimentación e investigación de diversos métodos encaminados a integrar la conservación de la diversidad biológica y la gestión de los recursos terrestres y de agua. Al incluir en su superficie al PNIP, todos los fenómenos y

actividades positivas o negativas, que se llevan a cabo en el parque, repercuten en la RBLV y viceversa.

Esta reserva se encuentra en la región centro oriental de la zona volcánica de la parte central de México conocida como Eje Neovolcánico transmexicano (Mooser, 2013), donde se localiza la Sierra Nevada conformada por conos volcánicos, sierras y laderas de origen volcánico con predominio de rocas basálticas y andesíticas. En su territorio se localizan dos de los volcanes más importantes del país: el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl.

El Popocatepetl es uno de los volcanes con mayor actividad no sólo en México sino también en el mundo, con una altura de 5,452 msnm, se considera en la actualidad como el volcán de mayor riesgo en el país por su historial de erupciones explosivas y la cantidad de personas e infraestructura que se encuentran en su cercanía (Siebe y Macías, 2006; Martín, González, Espinasa, Butrón y Reyes, 2008; Martín et al., 2016). A partir de 1994, se encuentra en actividad eruptiva, por lo que es monitoreado de forma continua y limitado su acceso en un radio de 12 km alrededor del cráter. Su glaciar ha desaparecido como consecuencia de esta actividad volcánica. Este volcán forma parte del extremo sur de la Sierra Nevada, y colinda al N con el complejo volcánico Iztaccíhuatl a través del Paso de Cortés (3,685 msnm), con un desnivel en este sector de 1,734 m. En sus vertientes E y SE, rodeado por los valles de Puebla y Atlixco, presenta un mayor desnivel, con una altitud de 3,300 hasta 3,800 m y pendiente promedio de 34° (Siebe et al. 1995). De acuerdo con su morfología, sus laderas occidental y oriental presentan asimetría con pendiente más pronunciada en esta última, lo que favorece en desplazamiento de flujos con mayor velocidad.

El Iztaccíhuatl es la tercera cumbre más alta a nivel nacional, integrante del Eje Volcánico Transmexicano, con una altura de 5,230 m, con glaciares y praderas alpinas, que han sostenido el régimen hidrológico de la región; sin embargo, la dimensión del glaciar ha ido disminuyendo significativamente en este siglo, con la pérdida de nieves perpetuas, como consecuencia de los efectos climáticos y aún está en investigación si también puede ser efecto de su probable actividad volcánica (Delgado, 2011).

La zona de alta montaña presenta un conjunto de elementos fundamentales para la conservación de las cuencas de México, Puebla y Morelos, donde residen millones de habitantes. El PNIP que se encuentra al interior de esta Reserva, se considera como área prioritaria donde se recargan los mantos acuíferos, se conservan los suelos y la cubierta vegetal, se preserva la biodiversidad y endemismos, se produce oxígeno y se captura carbono, además de acoger variedades de procesos que de manera directa o indirecta influyen en la calidad de vida de numerosas poblaciones y centros urbanos.

Ambos volcanes constituyen el parteaguas que separa las cuencas de México y del Alto Balsas. Éstas presentan una compleja red de drenaje constituida por numerosos arroyos que nacen en la parte alta de las cuencas y descienden para proporcionar agua y humedad a los ecosistemas de la Reserva (López, 2004) y abastecer del vital líquido a las poblaciones que se han asentado en las partes bajas. Hecho que ha acontecido desde la época prehispánica y continua hasta la actualidad favoreciendo el desarrollo agrícola, pecuario, urbano e industrial de los núcleos de población aledaños.

En la porción norte de la vertiente occidental, que pertenece a la Cuenca de México, los arroyos fluyen hacia la zona lacustre de Chalco y Texcoco; en la porción sur, los escurrimientos se dirigen hacia el río Cuautla, tributario del Balsas. La vertiente oriental corresponde a la Cuenca del Balsas donde confluyen los escurrimientos de esta zona; los que descienden de la porción boreal

pertenecen a la subcuenca del río Atoyac y los de la porción sur a la subcuenca del río Nexapa (SEMARNAT, 2005).

Para estudiar la dinámica fluvial y los ambientes de ribera, es necesario conocer el origen de las aguas y los sedimentos que llegan a ellos, por lo que se debe conocer la vertiente y la cuenca en que se localizan. La morfología del relieve, topografía, características físicas y químicas de los suelos, tipo de vegetación, uso del suelo y otros elementos que operan a nivel de paisaje son factores determinantes en la estructuración de los diferentes patrones de funcionamiento en los ríos de zonas templadas (Segnini y Chacón, 2005).

Los ríos o arroyos han sido utilizados por el hombre desde que este apareció en la tierra, y la evolución en cuanto a sus usos ha ido en aumento. En el siglo XIX fueron creadas grandes obras de ingeniería para la distribución y aprovechamiento hidráulico; sin embargo, es a partir de la década de los sesentas, que se empiezan a estudiar los ríos desde un punto de vista ecológico, apareciendo los primeros estudios sobre las riberas a finales de la década de 1970, durante el siglo pasado.

La zona ribereña o también denominada riparia, se considera como el área de borde inmediato al agua donde se propicia el establecimiento de vegetación y fauna con mecanismos de adaptación específicos, dando lugar a una comunidad distinta a la del resto del entorno, que es influenciada por factores como la intensidad luminosa, la granulometría y la calidad del suelo, así como la cantidad y calidad del agua. Estas zonas de transición entre el ecosistema terrestre y el acuático tienen una gran capacidad para mantener el equilibrio por su capacidad amortiguadora, pero desarrollan procesos de alta complejidad en el ecosistema manteniendo de manera continua interacciones en el eje longitudinal, vertical y transversal (Cruz y Guerra, 2017).

Actualmente, las cuencas hidrográficas y en consecuencia los ecosistemas de ribera son sometidos a una fuerte presión antrópica que se traduce en la degradación de los recursos naturales, contaminación de los cuerpos de agua, la pérdida de biodiversidad, la disminución de la productividad del suelo, la vulnerabilidad ante sequías e inundaciones, el incremento del riesgo de desastres naturales y la disminución en la calidad de vida de las poblaciones (Ortiz, Gerritsen, Martínez, Allen y Snoep, 2005).

Los ecosistemas ribereños por su carácter transicional presentan un sinnúmero de interacciones entre los componentes del paisaje, esto les confiere características ecológicas de gran relevancia para la conservación de los recursos hídricos, edáficos, flora y fauna.

El conocimiento sobre estos ecosistemas es fundamental, por los procesos que en ellos se desarrollan para la conservación de los recursos naturales y la funcionalidad de la cuenca.

La mayoría de los trabajos realizados para estos ecosistemas es de tipo cualitativos, presentan información sobre propiedades de las riberas, su estado ecológico actual y las presiones antrópicas a las que han sido sometidas (González, Vidal, Suárez y Molina, 1996; Álvarez y Oria, 2004; Feijoó, 2009).

A pesar de la importancia de mencionados ecosistemas en el mantenimiento de la biodiversidad regional y la generación de servicios ambientales, los estudios realizados en México sobre las riberas han sido pocos y principalmente de tipo teórico-informativo, a pesar de la importancia de estos ecosistemas en el mantenimiento de la biodiversidad regional y la generación de servicios ambientales (Camacho et al., 2008, Camacho y Ruíz, 2012). Estos estudios incluyen la

caracterización ecológica y descripción de la dinámica, la estructura y la composición vegetal de las zonas ribereñas (Ortiz et al., 2005; Granados, Hernández y López, 2006; Camacho et al., 2008; Galván y Márquez, 2006). Entre los trabajos de investigación consultados, el único que presenta la descripción biofísica de la cuenca y de los sistemas productivos que inciden en las modificaciones de los parámetros biofísicos (suelo, agua y vegetación), como parte de las evaluaciones necesarias para la planificación de la explotación de esos recursos, es el realizado por Galván y Márquez (2006).

La conservación, adecuado manejo y rehabilitación de áreas ribereñas deterioradas es incuestionable; sin embargo, aún se desconocen elementos para lograr esto de la mejor manera; se han realizado estudios independientes sobre la calidad del suelo y el agua al interior del PNIP y en el área de influencia. No obstante, las investigaciones sobre los ambientes ribereños y la interacción hídrico-edáfica que en ellos se presenta es incipiente (Cruz, Guerra y Ángeles, 2008; Cruz y Guerra, 2017).

Los ambientes de ribera se ven alterados en diferente grado al modificar el uso que se le da al suelo, en muchas ocasiones la vegetación ribereña es eliminada parcial o totalmente por las actividades humanas que se desarrollan a lo largo de los sistemas fluviales, esto sin lugar a dudas afecta la calidad del agua y del suelo. Sin embargo, por la continua interacción entre el sistema acuático y terrestre es importante definir el grado de afectación que sufren en su conjunto en los ecosistemas riparios y no de forma separada.

La degradación, que sufren cada día los ecosistemas ribereños de montaña, es alarmante, aunque su riqueza biológica, hídrica y edáfica beneficia a la cuenca alta, media y baja; no se les ha prestado la atención que requieren, lo que conlleva el riesgo de perder parte de los servicios que proveen. Pero aún más preocupante es que el Programa Estratégico Forestal para México 2025, (SEMARNAT-CONAFOR, 2001) no plantea la necesidad de un diagnóstico y monitoreo integral, que considere los elementos edáficos e hidrológicos para el manejo y conservación de estos ecosistemas.

Con base en lo anterior y en la importancia como área estratégica por los servicios ecosistémicos que brinda la RBLV, es indispensable responder a la siguiente cuestión: ¿cuáles de las propiedades físicas y químicas del agua y del suelo, explican de manera significativa, los procesos de interacción entre ambos sistemas, para ser establecidas como indicadores del estado de salud de los ambientes ribereños de montaña ?. Ya que se considera que esta información es indispensable para diseñar estrategias de manejo, conservación, recuperación y en su caso restauración ecológica, de los ecosistemas ribereños de montaña, que por su importancia deben ser incluidos como objetos de conservación, no solo en esta región, sino en todo el país.

MARCO TEÓRICO.

Ecosistemas de montaña

Los ecosistemas montañosos en todo el mundo se extienden desde el ecuador hasta los polos y ocupan aproximadamente la quinta parte de la superficie de los continentes y de las islas. Más allá de sus características comunes como un relieve relativamente elevado (o una variación topográfica muy marcada) y unas fuertes pendientes, las montañas presentan una diversidad notable (Ives, Messerli, Spiess, 1997). Así mismo, Romeo et al. (2015), estima que cerca de 900 millones de personas en el mundo, viven en las montañas y otros miles de millones de personas que, aunque viven en regiones bajas de las cuencas, resultan beneficiarios de las bondades que tienen los ecosistemas de montaña.

Su estudio con carácter científico inicia a partir de 1930 (Becerra, 2018) y evoluciona poco a poco, identificando cada vez más las relaciones de los ecosistemas montañosos entre sí y con sus habitantes. En la década de 1970, se aprueba el programa de la ONU y la UNESCO sobre el Hombre y la Biosfera, que enfatiza el impacto que causan las actividades humanas en los ecosistemas de montaña. Lo que provoca la reducción de los recursos bióticos y la disminución de la capacidad productiva de los bosques (FAO, 1994). Los distintos cambios que se presentan en torno a los bosques afectan negativamente a la estructura y la función del sitio y de este modo disminuyen su capacidad para suministrar productos o servicios (FAO, 2000), Birkeland, Shroba, Burns, Price y Tonkin, 2003).

Un recurso proveniente en gran parte de las zonas montañosas es la madera, pero su explotación y manejo inadecuados ha favorecido la deforestación y el deterioro de los ecosistemas de montaña. Éstos son importantes como centros mundiales de diversidad biológica, es menester subrayar que la mayor diversidad de especies vegetales vasculares se da en las montañas.

La capacidad de recuperación y de conservación en los ecosistemas naturales, entre ellos los forestales, es un reflejo de su equilibrio dinámico y tiene la capacidad de asegurar las funciones vitales. Sin embargo, cuando los ecosistemas son expuestos a grandes disturbios de manera natural o por actividades antropogénicas el equilibrio se altera y la velocidad de recuperación en numerosas ocasiones es menor que la de degradación.

Los bosques al generar gran variedad de productos y servicios tienen un valor económico, social y cultural para el ser humano. Por lo tanto, adquieren un nuevo estatus como fuente de recursos naturales y vida; se consideran elementos importantes para aumentar la disponibilidad de agua, disminuir la desertificación, la pobreza y la degradación ambiental, al encaminar las acciones hacia su manejo sostenible, para lo cual es importante mantener y mejorar el valor de su multifuncionalidad (FAO, 2004). Los bosques templados por su clima y sus beneficios han facilitado el establecimiento de asentamientos humanos, la siembra de cultivos importantes, la fruticultura y floricultura, así como el uso ganadero, por lo que se considera que son los ecosistemas que más han sido transformados por estos usos y, se encuentran entre los menos conservados en el país (Rzedowski, 1978).

Los bosques de coníferas y encinos albergan una biodiversidad asombrosa, que se encuentra distribuida en una amplia superficie, que llegó a ocupar más de la quinta parte de México. y obedece

a la suma de diferencias regionales y la composición de especies de flora y fauna que habitan en estos ecosistemas con la inclusión de especies endémicas y de distribución restringida.

Se calcula que entre 50% y 67% de la superficie de estos bosques fue transformada Rzedowski (1978), originalmente cubrían el 20% del territorio nacional y este porcentaje disminuyó hasta cubrir solamente el 5%. Sin embargo, actualmente se reporta que el área cubierta por los bosques de coníferas se encuentra entre 13 y 16% (Toledo y Ordóñez, 1993; Flores y Gerez, 1994; Leija, Reyes, Reyes, Flores y Sahagún, 2016).

No obstante, es mínima la superficie de estos bosques que se encuentra adecuadamente protegida. Si bien estos ecosistemas están entre los mejor representados en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Sánchez y López, 2003, Flores y Fernández, 1994; SEMARNAT 2000a), la mayoría de las áreas naturales protegidas (a partir de ahora ANP) en donde se encuentran estos ecosistemas, son parques nacionales decretados en las cercanías de las grandes ciudades, por lo que han sufrido perturbación por la presión de las poblaciones aledañas y los visitantes, como es el caso del PNIP y del Parque Nacional El Ajusco, entre otros (Toledo y Ordóñez 1993). Sin embargo, las reservas de la biosfera que contienen bosques de coníferas y encinos son pocas.

Los ecosistemas templados de montaña de México se conforman por bosques, matorrales, y praderas, son el hábitat natural de una gran variedad de especies de flora y fauna, muchas de las cuales son especies endémicas. Las coníferas y encinos con aproximadamente 35 especies endémicas de pino y 109 de encinos. Un número importante de las especies típicas de estos ecosistemas es la fuente de materias primas y productos naturales de gran importancia económica, como son la madera y la celulosa de los pinos y los abetos, el carbón de los encinos, las plantas medicinales que se encuentran entre los arbustos y las hierbas del sotobosque, la resina del pino del cual se deriva el aguarrás, las bromelias y las orquídeas epifitas que se venden como plantas de ornato, sólo por mencionar algunas (Sánchez, Ramírez, Andrade y Rodríguez, 2008). Estos bosques son más que la suma de sus partes: son lugares para la recreación y el descanso; para la inspiración espiritual y artística; son, ante todo, sitios hermosos cuya contribución a la belleza del paisaje no debe dejar de tomarse en cuenta (Challenger y Soberón, 2008). Estos ecosistemas proporcionan un sin número de servicios: ecológicos, sociales y económicos, por lo que se consideran multifuncionales (Fig. 1.1). Conservan la biodiversidad y los acervos genéticos y parientes silvestres de especies cultivadas y son sumideros de carbono. Además de ser los ecosistemas más importantes para la captación de agua y la conservación del suelo por su contribución relativa (Challenger, 2003).

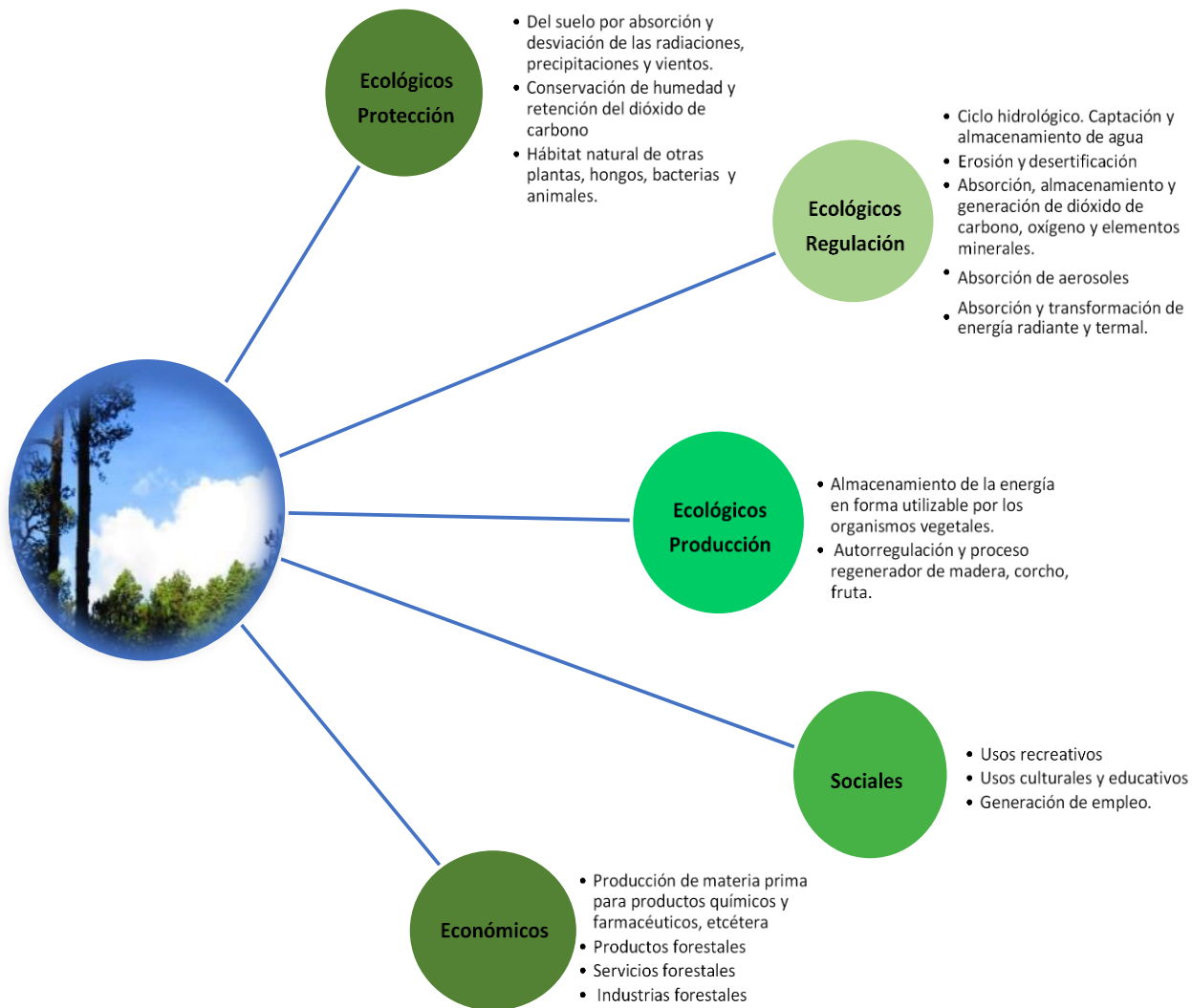


Figura 5.1 Multifuncionalidad de los Bosques de montaña (EAGH)

Esto se debe, principalmente, a su ubicación geográfica, las sierras y serranías mexicanas son las áreas que mayor precipitación anual reciben, por lo que son los ecosistemas templados situados en estas zonas los que mayor cantidad de agua captan.

Las áreas templadas del país cuentan además con praderas, matorrales, ciénegas, lagos, arroyos lo que les otorga una mayor relevancia. Las montañas tienen un valor hídrico incalculable donde el agua al precipitar puede formar nieve y almacenarse en las cimas, tienen la capacidad de captar la humedad del aire y además ser el lugar de nacimiento de grandes y pequeños ríos, para abastecer a los pobladores que habitan en la parte alta, media y baja de la cuenca. De acuerdo con las estadísticas el 10% de la población del mundo obtiene este preciado bien directamente de las montañas.

La cobertura de vegetación de estos bosques, así como el suelo que protege, permiten la lenta infiltración del agua, que a su vez alimenta ríos, lagos y lagunas, permitiendo con ello su aprovechamiento para usos humanos (SEMARNAT, 2000a). Asimismo, sin la cobertura boscosa el

agua no sólo se deja de captar debido a su rápido escurrimiento, sino que se incrementa el riesgo de inundaciones, arrastrando grandes cantidades de suelo de las escarpadas laderas de las montañas, quedando estas expuestas a la fuerza erosiva de los aguaceros, lo que favorece el aporte de sólidos a los arroyos, ríos, presas y lagos.

Claro está, el caudal que desciende por los diferentes ramales es indispensable para el mantenimiento de bosques, pastizales, zonas de cultivo y también para la generación de energía eléctrica y abastecimiento.

Sistemas ribereños

Diversos estudios sobre ambientes ribereños se han realizado desde mediados del siglo pasado, se han abordado desde diferentes perspectivas y se les han dado diferentes denominaciones, de río o arroyo, corredores riparios, áreas riparias o zonas riparias (Naiman y Décamps, 1997; Tabacchi et al., 1998; Amóros y Bornete, 2002, Allan, 2004, Lyon y Gross, 2005); ambientes riparios, sistemas riparios, ecosistemas riparios, paisajes riparios o ribereños (Nilson y Svekmark, 2002; Décamps, 2001; González y García, 2006; Ward, Tockner, Arscott y Claret, 2002) y en los últimos tiempos paisaje fluvial o riparia (Toivonen, Mäki y Kalliola, 2007; Naiman, Décamps, McClain, 2005); considerando en cada uno de ellos diversos elementos.

Es importante resaltar dos definiciones proporcionadas por Morales y Fernández (2005) sobre lo que es la zona ribereña: (1) es el área adyacente a un río o arroyo con inundaciones periódicas que influyen en el entorno, se consideran ecotonos entre el sistema acuático y terrestre o corredores entre regiones donde se resalta su carácter dinámico ante los procesos de cambio continuo, (2) el ecosistema de ribera entendido como las relaciones complejas entre los factores bióticos y abióticos en el área adyacente al flujo de agua; en donde los vínculos ecológicos que se presentan en la interfase pueden ser estudiados en el contexto de los procesos geomorfológicos y dinámica fluvial.

La segunda enfatiza la parte funcional y es encaminada al manejo en las riberas, por lo que al tomar en cuenta los procesos y mecanismos que se desarrollan en el sistema sería adecuado utilizar el término de ecosistema ripario o ribereño.



Figura 1.2 Paisaje de ribera-Río Apatlaco, en un ecosistema de montaña (LCAyE, noviembre-2013)

Existe gran diversidad en los términos y en los enfoques que la literatura científica trata la zona de ribera, todo depende de la disciplina, desde el punto de vista geográfico y ecológico se entiende la zona o la porción del territorio como un todo dinámico en donde hay interacción de individuos, mecanismos y procesos en torno a un cuerpo acuático (río, arroyo, lago, estero, etc.) (Kobiyama, 2003; Bayley, 1995; Glenz, Lorgulescu, Kienast, y Schlaepfer, 2003; Lowrance, 1998; Tonkin, Merritt, Olden, Reynolds y Lytle, 2018). Las zonas ribereñas de acuerdo con Naiman, Décamps y Mc Clain, (2010), son sistemas multidimensionales, altamente dinámicos que se rigen de acuerdo con los siguientes principios básicos:

- 1) Gradientes de saturación hídrica determinados por la topografía, la geología y la hidrodinámica
- 2) Procesos biofísicos en función de los gradientes dinámicos de energía y saturación hídrica
- 3) Componentes superficiales y subsuperficiales que regulan los flujos de material y energía
- 4) Comunidades bióticas presente en el espacio y tiempo en tres dimensiones, longitudinal, vertical y transversal.

Los sistemas ribereños son ecotonos entre las zonas terrestre y acuática, iconos de heterogeneidad debido a la interacción que se presenta en estas zonas transicionales influidas por el flujo de agua dulce, en donde coexisten fuertes gradientes biofísicos, con energía y flujo que manifiestan alta variabilidad espacio temporal y gran diversidad de procesos ecológicos (Naiman et al., 2010). Cumplen la función de filtro, con alta capacidad de almacenamiento y absorción, lo que los convierte en sistemas depuradores y reguladores. Destacan como zonas de amortiguamiento que proporcionan protección al sistema ecológico de los impactos en el río y en su entorno, sobre todo por el uso de la tierra. Las zonas de ribera se consideran los ecosistemas más complejos de la biosfera (Fig. 1.2), indispensables para mantener la vida y el paisaje en los ámbitos terrestre y acuático (Naiman et al., 1997).

La vegetación ribereña que se encuentra asociada con los sistemas lóticos de montaña tiene la capacidad de controlar la temperatura e intensidad de la luz que llega al agua, aumenta la estabilidad de las orillas y contribuye con materia orgánica de origen vegetal a favorecer la disminución de la velocidad de corriente, propiciando ambientes estables para el desarrollo de un hábitat adecuado para diversas especies animales (Granados et al., 2006). También se considera la base de las redes tróficas en los cuerpos de agua y evita la erosión de las riberas (Ceccon, 2003, Cruz y Guerra, 2017). Por lo anterior se entiende que los ecosistemas riparios son heterogéneos, complejos y difíciles de estudiar (Chovanec, Jäger, Jungwirth, Koller, Moog y Muhar, 2000; Reed y Carpenter 2002; Allan 2004; Kutschker, Brand y Miserendino, 2009).

Los bosques juegan una función vital en captación, conservación, purificación y mantenimiento de los recursos hídricos, son adicionalmente una reserva de suelos de buena calidad. La cubierta vegetal, el sistema radical y la calidad del estrato superior del suelo permiten una buena infiltración y retención de agua (Brüschweiler, Hóggel y Klay, 2004).

Es fundamental reconocer la importancia de las zonas de amortiguación en la interfaz suelo-agua en un ecosistema de gran relevancia no solo para los estudios de biodiversidad, sino también para la implementación de proyectos de restauración ecológica en ambientes acuícolas (Cardona, 2008). Su importancia es de tal magnitud, que se considera impostergable la realización de actividades tendientes a su conservación y restauración (Granados et al., 2006).

Se han realizado diversos estudios sobre la calidad ambiental de las zonas riparias, tomando en cuenta la estructura y la dinámica hidromorfológica del sistema fluvial con énfasis principalmente en la vegetación, mediante la evaluación de siete atributos ecológicos: (1) la continuidad longitudinal de la vegetación, (2) la dimensión lateral del cauce, (3) la composición y estructura de las comunidades vegetales, (4) la tasa de regeneración natural de las especies leñosas, (5) la condición de las orillas, (6) la conectividad lateral del cauce con sus riberas y (7) la permeabilidad de los suelos riparios (González y García, 2006).

Es esencial apuntar que para que la vegetación ribereña se desarrolle y se logre la continuidad para la formación de los corredores ribereños es indispensable conocer cuál es la calidad del suelo en la zona ribereña, ya que este es afectado seriamente en sus propiedades, al igual que el agua cuando se ha modificado la vocación del suelo y se realizan actividades antrópicas.

Agua

El agua es el elemento vital, de trascendencia invaluable en la ordenación y el manejo de cuenca. Todas las actividades humanas requieren de este bien, proporcionado por la naturaleza, para llevarse a cabo. Desafortunadamente, en el mundo y en el país se habla de su escasez cada vez más evidente, debido a la concentración demográfica en zonas urbanas. Sin embargo, especialistas en hidrogeología argumentan que no hay tal, sino una distribución inequitativa para el agua subterránea y superficial en la República Mexicana, como consecuencia de la topografía y la diversidad climática, así como el inadecuado uso de los recursos naturales (Hernández y Herrerías 2001). Por lo tanto, abordar el tema de la crisis del agua en México con énfasis en su cantidad, calidad y distribución es una tarea compleja que requiere de nuevos planteamientos inter y multidisciplinarios y la construcción de consensos con base en el conocimiento de las realidades ambientales, económicas y sociales (Ramírez, Oropeza, Benavides, Rodríguez y Mejía, (2007.).

Las montañas representan los depósitos de agua del mundo y proveen de agua al menos a la mitad de la población global. Es imprescindible promover la conservación y el uso sostenible de los bienes que proporciona el ecosistema, pues cada día son menos abundantes en la zona de montaña, como el agua, el suelo, la diversidad biológica, los bosques, los pastos, etc. Esto se ha convertido en una preocupación latente en el ámbito internacional por lo que la ONU ha realizado convenios y foros como el de las Naciones Unidas sobre el Agua, el Foro Mundial del Agua, la Convención de Naciones Unidas sobre la Desertificación y la Convención de la ONU sobre el Cambio Climático.

En estos eventos, se fomenta el conocimiento de los factores específicos que afectan las regiones montañosas, en especial en el contexto del cambio climático, a través de la vigilancia de los glaciares y los patrones de escorrentía. Existe también la invitación permanente a recopilar datos en las zonas de montaña para fortalecer la información disponible y conformar una base sólida para la toma de decisiones y la elaboración de políticas públicas acordes con la realidad (Romeo et al., 2015).

A nivel global la inseguridad por la disposición de agua en cantidad y en calidad es una realidad. Actualmente, en algunos sitios la demanda supera el suministro y se estima que de acuerdo con las tendencias la cantidad de agua que se necesitará para la producción intensiva de alimentos y bienes será cada vez mayor. El agua de manera literal es un asunto de vida o muerte, su ausencia limita las actividades y las funciones de los seres humanos y de toda la biosfera. Además, el cambio climático amenaza con un excedente de agua, sin embargo, este impactará en los océanos disminuyendo en la superficie continental, en distintas entidades también provocará desastres

naturales, inundaciones, pérdida de biodiversidad, erosión, etc. Es ya un tema de seguridad a nivel internacional al contemplarse desde el ámbito público, político y económico.

La situación del agua en México corresponde a un panorama de contrastes, lo que se puede apreciar en la Figura 1.3. Mientras las regiones del centro y norte del país presentan condiciones de escasez, de sobreexplotación y de contaminación, a tal punto que su disponibilidad se convierte paulatinamente en un factor limitante del desarrollo; en el sur, los excedentes de agua, ligados a otros factores físicos y socioeconómicos, también generan una limitante (Toledo, 2002; Guzmán, 1997; Sainz y Becerra, 2003; Martínez y Patiño, 2012).

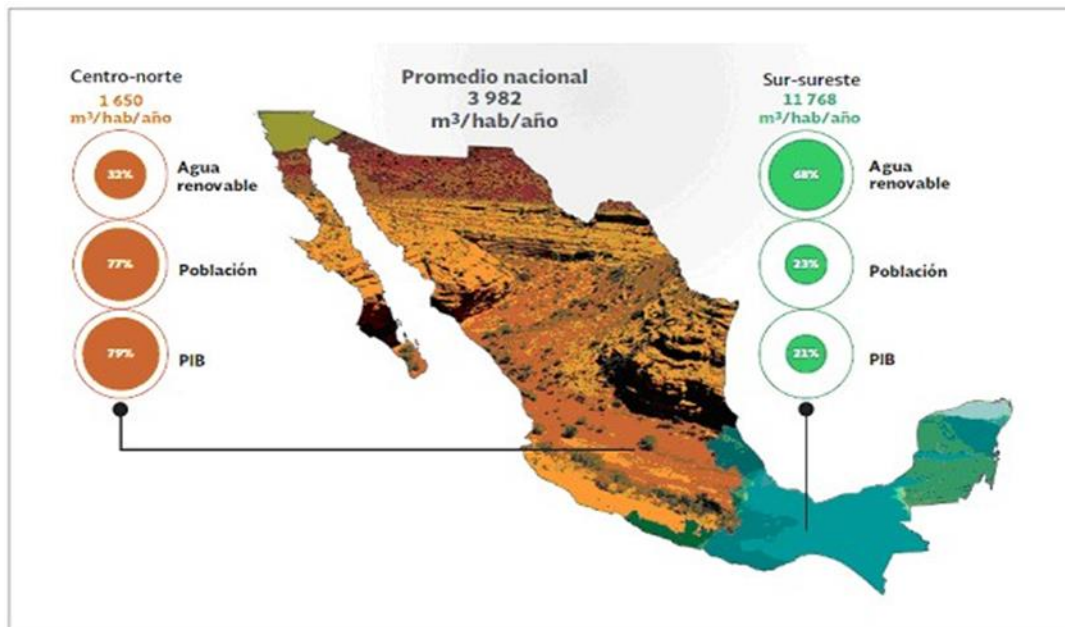


Figura 1.3 Disponibilidad de agua de acuerdo con el Programa Nacional Hídrico 2014-2018 (Fuente CONAGUA, 2013)

La precipitación anual en el país proporciona 1,489 mil millones de metros cúbicos de agua, de estos se considera que el 22.2% corre por los ríos o los arroyos y el 6.2% se infiltra para recargar los mantos freáticos. De acuerdo con las regiones hidrológicas, la de las aguas del valle de México tiene un escurrimiento natural medio superficial de 1,112 hm³/año con una población de 22.62 millones de habitantes, mientras que la Región del Balsas se calculan 11.44 millones de habitantes con un escurrimiento natural medio superficial de 17,057 hm³/año, esto calculado para el periodo 2011-2018 (CONAGUA, 2013).

Se calcula que para 2030, la disponibilidad natural del agua per cápita promedio será de 3,420 m³/hab/año, sin embargo, si se comparan las dos regiones mencionadas anteriormente se tiene una estimación de 137 y 1,720 m³/hab/año para la cuenca de México y la del Balsas respectivamente. Esto muestra grandes diferencias en la distribución hídrica en México, por lo cual es interesante comparar la cantidad y la calidad del agua que surge del parteaguas situado en PNIP, hacia dichas cuencas. El grado de presión sobre el recurso hídrico que se presenta en la región del Balsas es alto, mientras que para el Valle de México es muy alto. De acuerdo con valores registrados el 26.2% de los sitios muestreados para el Atlas 2013, 26.2% y 9.6% son los valores

registrados para aguas contaminadas, así como 5.5 y 2.2% como aguas altamente contaminadas para DQO y DBO₅ respectivamente (CONAGUA, 2013).

A lo largo de la historia, los escurrimientos temporales, los arroyos y los ríos han sido los ecosistemas más aprovechados por el ser humano como fuente de recursos alimentarios, medio de transporte, remoción de desechos y fuente potencial de energía (González y García, 1996; Dodds et al., 2015). Esto ha generado la degradación de estos recursos hídricos, que es causa de constante preocupación del hombre en las últimas décadas. Por esta razón, existe un creciente interés por conocer y proteger los ecosistemas fluviales y estudiar sus cambios en el tiempo, desarrollando criterios físicos, químicos y biológicos que permitan estimar el efecto y magnitud de las intervenciones humanas (Norris y Hawkins, 2000), ya que aún en los programas oficiales no se considera el manejo de los ecosistemas ribereños, como un elemento fundamental para la disponibilidad de agua (Jiménez, et al., 2010).

Suelo

El suelo es un recurso no renovable, constituido por material no consolidado de origen mineral y orgánico sometido a transformación continua por factores genéticos y ambientales que actúan en el tiempo y le confieren características físicas, químicas y biológicas. Es un medio complejo y en constante actividad e interacción a partir de las condiciones del relieve, las climáticas, el agua, el aire, la fauna y la vegetación. Su función sostiene la biodiversidad del planeta y alberga a la cuarta parte de esta (FAO, 2015).

En México, la diversidad de suelos es muy amplia, existen 25 unidades de las 30 que proponen la FAO, UNESCO e ISRIC. Pero hay que tener en cuenta que el 60% de los suelos del país son someros y con poco desarrollo, solo el 18% lo conforman suelos fértiles. Su degradación se entiende como un cambio en su salud y puede ser física, química o biológica e implica un desequilibrio de nutrientes, compactación, pulverización, salinización, acidificación, pérdida de materia orgánica y actividad biológica, etc., lo que reduce su capacidad para brindar bienes y servicios. Hasta 2002, el nivel de degradación de los suelos mexicanos era de ligero a moderado, predominando en orden de impacto la degradación química, la hídrica y la eólica (COLPOS, 2003).

Las causas de la degradación se atribuyen principalmente al cambio en la vocación del suelo: actividades agropecuarias, deforestación y urbanización. A la velocidad actual, su degradación constituye un riesgo para la satisfacción de las necesidades de las generaciones en el futuro por lo que es de suma importancia pugnar por la sostenibilidad y la salud de los suelos, en pro de un ambiente sano y un sistema alimentario productivo. Es de considerar que el 47% del territorio nacional alberga montañas que en su mayoría están cubiertas por suelos delgados y en declive, lo que favorece la erosión hídrica con pérdida de suelo superficial y deformación del terreno.

En México, el programa de trabajo sobre Diversidad Biológica de las montañas, señala que se deben tener en cuenta mecanismos de gobernanza del suelo en una perspectiva global para mantener su integridad, calidad y multifuncionalidad, lo que evitará la pérdida de diversidad biológica y servicios ecosistémicos para las necesidades humanas.

Así, es fundamental su conservación, además de disponer un profundo conocimiento sobre sus cambios para implantar o modificar las medidas de manejo con una base científica y confiable. La restauración de los suelos degradados puede reducir la erosión y la contaminación, incrementando, por lo tanto, la disponibilidad de agua, la biodiversidad y la captura de carbono (CONABIO, 2017; FAO, 2014; FAO, 2015).

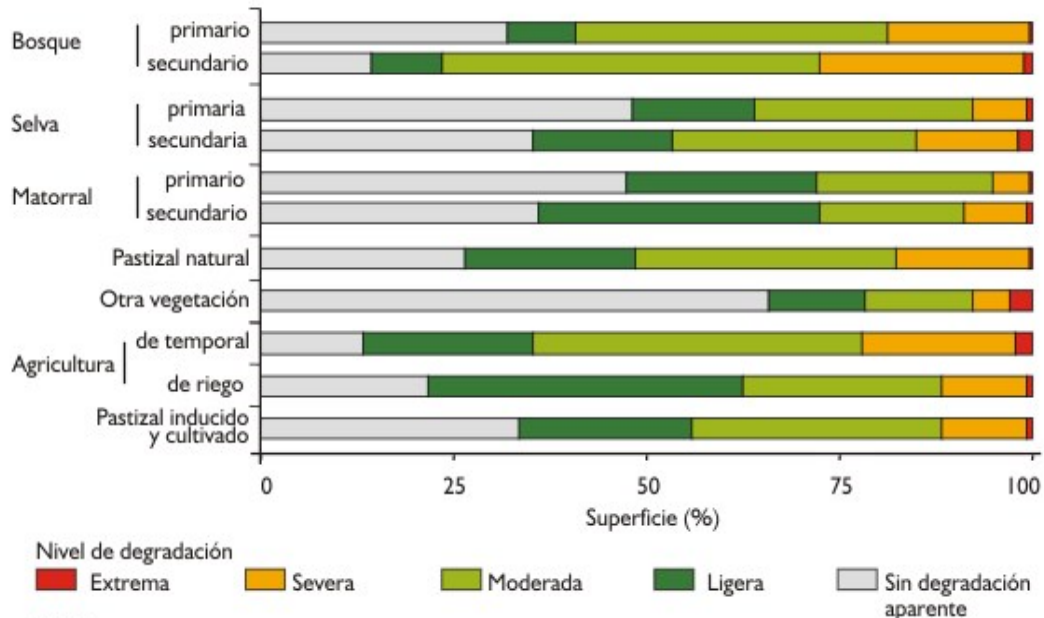


Figura 1.4 Degradación de suelos según su uso en México (Fuente SEMARNAT- Inventario Nacional de Suelos, 2002).

DISEÑO DEL MUESTREO

Con la finalidad de cubrir todo el espectro de condiciones climatológicas, geológicas, topográficas, edafológicas, hidrológicas, de cobertura vegetal y de uso de suelo, se realizó un análisis cartográfico en escala 1:50 000 de las cartas correspondientes y recorridos en campo, eligiendo en total 78 sitios de estudio, distribuidos en las cuencas de México y alto Balsas, en un gradiente altitudinal de 1987 a 4058 m. Se realizaron las descripciones ecológicas en cada uno de los sitios y el registro de las condiciones aparentes del sistema, así como, las evidencias de manejo en cada uno de ellos. Posteriormente se elaboró un plan de recorridos en campo y colectas específicas de suelo (SEMARNAT, 2000) y agua de los manantiales, arroyos y ríos (APHA-AWWA-WPCF, 1992), de los que también se determinaron características hidrológicas en varios segmentos del cauce (Fig. 1.6).

Las colectas de las muestras de agua y suelo se realizaron en 10 visitas a campo por año, a partir de enero de 2010 y hasta diciembre de 2014, considerando temporadas de lluvia y estiaje para cada uno de los 78 sitios de muestreo elegidos (Fig. 1.5) en la RBLV y su área de influencia.

Muestras de agua

La toma de muestras de agua se llevó a cabo de forma manual, con diferentes tipos de botellas, según el análisis a realizar. Para la determinación de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), se emplearon botellas DBO de vidrio borosilicato con tapón esmerilado; botellas de polietileno de 1 L sin adicionar conservadores; botellas de 500 mL (con H₂SO₄ como conservador a un pH de 2) y de 125 mL con acetato de zinc como conservador). El transporte y conservación se realizó a 4°C, de acuerdo con el APHA-AWWA-WPCF (1992) y APHA (2012). Cada muestra fue etiquetada con una clave que indica la fecha de la toma de muestra y la posición que ocupó el día de obtención.

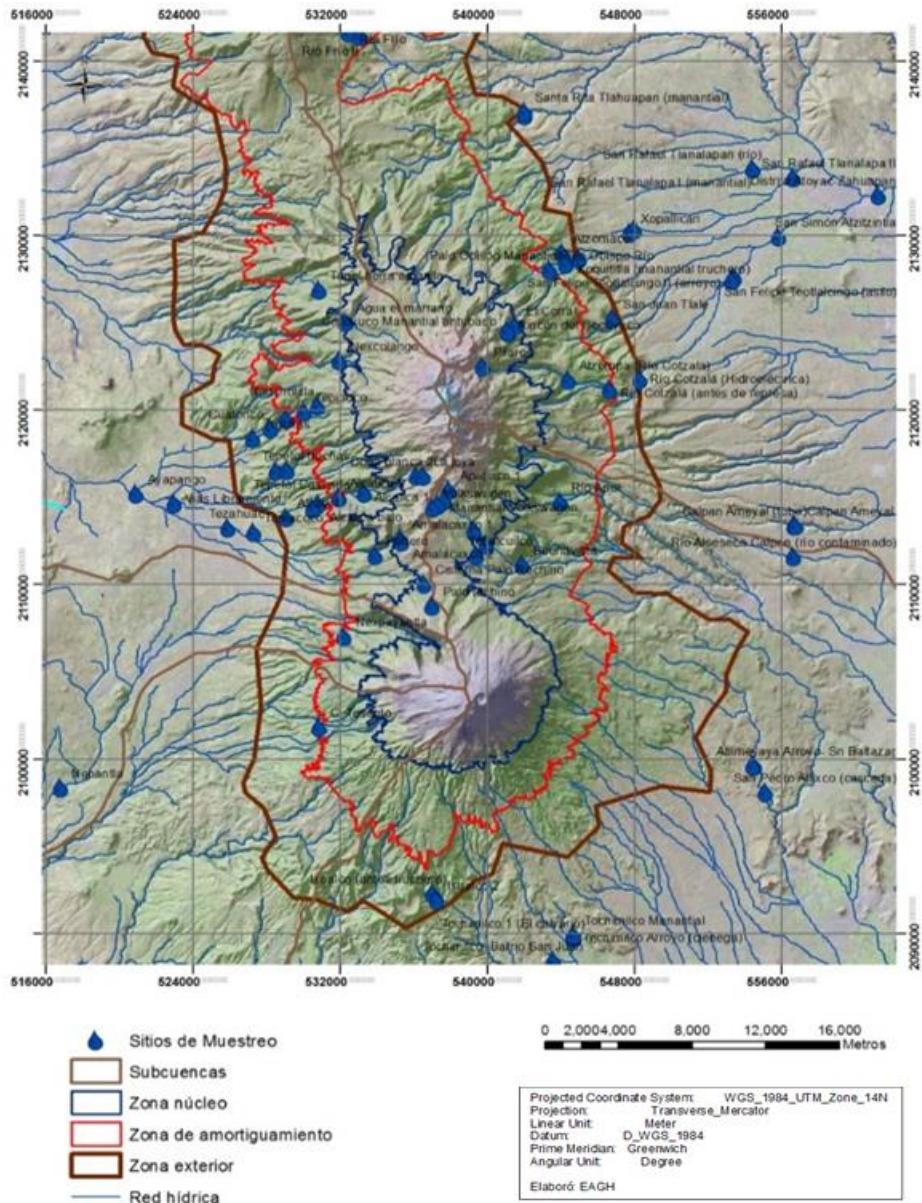


Figura 1.5 Representación espacial de los 78 Sitios de muestreo en la Reserva de la Biósfera Los Volcanes y su zona de influencia (EAGH, 2015).

Muestras de suelo

El muestreo de suelo se realizó a lo largo de un transecto, de 30 m a lo largo del cauce, con ancho mínimo de 1 m y máximo 7 m de forma perpendicular a ambos lados del arroyo; en ambos márgenes se tomaron muestras de suelo con una profundidad de 0 a 20 cm, a distancias de 0, 15 y 30 m sobre el transecto; las muestras fueron colectadas y almacenadas en bolsas con cierre hermético, etiquetadas y realizando anotaciones sobre el estado de conservación o perturbación del sitio (Fig. 1.6).

Siguiendo el patrón anterior, se tomó la muestra para determinar la humedad y densidad del suelo, con la obtención de un núcleo mediante un tubo de cloruro de polivinilo (PVC) de aproximadamente 6 cm de altura, para obtener la muestra conservando la estructura del suelo, en cada sitio se midió la temperatura del suelo. Las muestras se etiquetaron con claves específicas de acuerdo con la fecha, el sitio de muestreo, el tipo de zona, la distancia al río, la posición a lo largo del transecto y el margen donde fue tomada.



Figura 1.6 Diagrama de toma de muestras hídricas y edáficas (TCLyG, 2020)

ANÁLISIS DE MUESTRAS

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS In situ

Es necesario analizar en campo algunas de las propiedades del agua, debido a que su variación puede ser muy rápida y el confinamiento puede modificarlas.

Parámetros físicos:

Los parámetros físicos, cambian casi de manera inmediata al ser extraídas las muestras del sistema acuático y es indispensable conocerlos para entender a fondo el comportamiento del sitio.

- **Temperatura:** Se midió instrumentalmente, con un termómetro de inmersión parcial con mercurio y precisión de 0.1°C.
- **Conductividad Eléctrica:** Fue medida instrumentalmente con un conductímetro digital de campo (Combo HANNA modelo HI-98129).
- **Sólidos Totales Disueltos:** Fue medido instrumentalmente con un conductímetro digital de campo (Combo HANNA modelo HI-98129).

Entre los parámetros químicos que deben ser determinados en campo, debido a su sensibilidad a la luz, su rápida alteración por la absorción de gases y su inminente transformación, entre ellos se encuentran:

Parámetros químicos:

- **Oxígeno Disuelto:** Se determinó con botellas DBO por el Método de Winkler con la modificación del azida de sodio (APHA-AWWA-WPCF, 1992) y con un oxímetro (YSI 55).
- **pH:** Se midió instrumentalmente con un potenciómetro digital de campo (Combo HANNA modelo HI-98129).
- **Alcalinidad:** Fue determinada por el método de los indicadores (APHA-AWWA-WPCF, 1992).
- **Dureza:**
 - **Parcial o de calcio** (cantidad de carbonato de calcio). Se determinó con el método complejométrico utilizando Calcón como indicador a un pH de 12 (APHA-AWWA-WPCF, 1992).
 - **Total** (cantidad de carbonato de calcio y de magnesio). Fue determinada usando el método complejométrico a un pH de 10 y utilizando como indicador eriocromo negro T. (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS EN LABORATORIO

Análisis de agua

Las muestras tomadas en campo se conservaron en refrigeración a 4°C y posteriormente fueron analizadas en el laboratorio, con sus respectivas repeticiones y acorde con las técnicas de APHA-AWWA-WPCF (1992) y APHA (2012).

Parámetros químicos:

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)** fue valorada por el método de Winkler con la modificación de azida de sodio, después de una incubación a los cinco días a una temperatura de 20°C y en obscuridad total.
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)** es utilizada como indicador rápido de calidad del agua, suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales. Se determinó por reflujo cerrado, usando el método colorimétrico.
- **Sólidos sedimentables:** Se determinaron volumétricamente mediante el uso del cono Imhoff.
- **Sulfatos:** Su concentración se evaluó mediante el método turbidimétrico.
- **Sulfuros:** Para determinarlos se utilizó el método yodométrico.
- **Nitratos:** Es uno de los contaminantes más frecuentes de aguas superficiales y subterráneas en áreas rurales. Su determinación fue mediante el método del ácido fenoldisulfónico.
- **Amonio:** El método empleado para conocer su concentración fue el del fenato o azul de indofenol.
- **Ortofosfatos:** Los fosfatos fueron valorados mediante el método del fosfomolibdato.
- **Fósforo total:** Para su evaluación se realizó una digestión con persulfato y posteriormente se analizaron las muestras por el método utilizado para ortofosfatos.
- **Carbono Orgánico Particulado (COP):** para su cuantificación, se empleó una oxidación con dicromato de acuerdo con Parsons, Yoshiaki y Carol (1984).

Análisis de suelo

Las muestras de suelo se secaron al aire libre, ya secas, se tamizaron con apertura de malla de 2 mm y se guardaron en frascos, para su posterior análisis.

Los análisis y las técnicas empleadas se realizaron conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis (SEMARNAT, 2000). A cada una de las muestras de suelo se les determinaron las propiedades físicas y químicas que se detallan a continuación.

Propiedades físicas

- **Textura:** se determinó a través del método de Bouyoucos con oxidación previa de la materia orgánica con H₂O₂.

- **Densidad:** dado su carácter poroso, conviene distinguir entre la densidad de sus componentes sólidos y la del conjunto del suelo, incluyendo los espacios, por ello se hace referencia a dos tipos de densidad: la real y la aparente.
 - *Densidad real:* está definida como la masa total de los sólidos dividida por el volumen total de ellos. $\rho_p = M_s/V_s$ Los valores típicos varían de 2.5 a 2.8 Mg/m³, siendo 2.65 Mg/m³ el valor representativo de muchos suelos y el valor de densidad de partícula para el cuarzo (Flores y Alcalá, 2010).
 - *Densidad aparente:* se determinó junto con el porcentaje de humedad gravimétricamente utilizando tubos de PVC que se pesaron con todo y suelo, posteriormente se pesó el suelo en vasos de precipitados previamente desecados. Se procedió a secar a 80°C en estufa, el suelo seco se pesó nuevamente hasta peso constante y se calculó por diferencia la densidad aparente y el porcentaje de humedad.
- **Porosidad:** se calculó utilizando la densidad real y la aparente, así como el porcentaje de humedad determinados a partir de las muestras obtenidas con los tubos de PVC.

Propiedades químicas:

- **Materia Orgánica del Suelo (MOS):** fue determinada con el método de Walkley-Black.
- **Nitrógeno (N):** el contenido de Nitrógeno total fue cuantificado usando el método Semimicro-Kjeldhal.
- **Fósforo (P):** para la determinación del fósforo extractable se utilizó el método de Bray-I.
- **pH:** esta determinación se calculó en una relación 1:2, tanto en agua (pH activo) como en KCL 1N (pH potencial) con método instrumental.
- **Conductividad eléctrica del suelo:** el contenido salino del suelo se mide de forma indirecta y para obtener valores comparables siempre se realiza a una temperatura fija de 25° C. Para determinación, se preparó una solución 1:5 con agua desionizada y se midió con un conductímetro.

GALERÍA FOTOGRÁFICA.

Las fotografías, que quedaron insertas en el documento, fueron tomadas en el periodo comprendido entre febrero de 2010 y diciembre de 2015, y son parte del acervo fotográfico del Laboratorio de Calidad del Agua y Ecohidrología, en la línea de investigación Relaciones agua-suelo-vegetación en el manejo de cuencas.

PROCESAMIENTO DE DATOS

Conforme se obtenían los resultados de los análisis de campo y laboratorio, se construía una base de datos en hojas de cálculo y libros de Excel. La base está conformada por los datos de la caracterización ecológica, la información hidrológica, los parámetros analizados para agua y suelo correspondientes a cada uno de los 78 sitios de muestreo y según los diferentes muestreos de cada sitio.

En primer término, se utilizó el programa Statgraphics centurión XVI, para obtener las correlaciones múltiples considerando todas las variables del agua y el suelo por separado y conocer cuáles de ellas tuvieron correlaciones significativas.

Con base, en los resultados de las correlaciones múltiples, se redujo el número de variables al identificar aquellas que presentaron colinealidad. Con las variables obtenidas a partir de esta primera reducción, se aplicó un análisis de componentes principales (ACP), para los parámetros de agua y otro para las propiedades del suelo, se identificaron las variables que explicaban en mayor proporción la variabilidad en el sistema hídrico y en el edáfico.

Las variables significativas de agua y de suelo, fueron utilizadas para analizar su comportamiento, en función de la cobertura y el uso de suelo; lo cual permitiría visualizar el comportamiento hídrico y edáfico de manera independiente.

En una siguiente etapa, todas las variables hídricas y edáficas que ya no presentaban colinealidad fueron sometidas conjuntamente a un nuevo ACP. Los resultados obtenidos a partir de los componentes principales más representativos permitirían obtener los Indicadores Hídrico-Edáficos, objeto de este estudio.

Generados los indicadores se llevó a cabo su comparación en función de la cobertura y el uso de suelo. Se elaboraron los gráficos y los mapas que mostrarían el comportamiento correspondiente a cada uno de ellos y su variación espacial; además de obtener la zonificación de cada uno de ellos para la RBLV y su área de influencia.

Capítulo 2

Reserva de la Biosfera Los Volcanes. Caracterización biofísica y ecológica

GENERALIDADES

Las reservas de la biosfera deben percibirse como el territorio en donde se propicia la reconciliación entre los seres humanos y la biosfera y no como espacios aislados cada vez con mayores amenazas por el impacto de actividades humanas, con la intención de revalorizar el conocimiento acumulado para responder a las necesidades de las generaciones futuras (UNESCO 1996).

Son ANP que debe cumplir con tres funciones fundamentales: (1) la conservación de los ecosistemas y de las especies que en él se encuentran; (2) el mantenimiento de los paisajes que se acoge en su territorio; (3) el fomento del desarrollo del área en los ámbitos humano y económico de manera sostenible, por tanto, sin perder de vista la integridad ecológica y cultural. También deben brindar apoyo a los proyectos de demostración, investigación, educación y capacitación sobre medio ambiente, y conformarse como un observatorio permanente a nivel local, regional, nacional y mundial sobre el conservación y desarrollo sostenible.

La RBLV se encuentra en la región denominada Eje Volcánico Transmexicano y comprende el límite biogeográfico entre las regiones Neártica y Neotropical; su gradiente altitudinal se encuentra entre los 2580 y los 5452 m s.n.m. Esta característica la reviste de una gran importancia ecológica que favorece la presencia de microclimas y ecosistemas, dando como resultado una alta biodiversidad y endemismos. En su interior existen diferentes geformas como sierra, conos volcánicos, laderas y pequeños valles.

La RBLV se localiza en las coordenadas geográficas extremas:

- Norte 98° 39' 33" W y 19° 33' 35" N
- Sur 98° 39' 43" W y 18° 54' 14" N
- Este 98° 29' 06" W y 19° 03' 26" N
- Oeste 98° 49' 03" W y 19° 25' 36" N

Su superficie se encuentra compartida por cuatro estados (Fig. 2.1): (1) Estado de México, con 77,194.99 ha, distribuidas en ocho de sus municipios: Tepetlaoxtoc, Texcoco, Ixtapaluca, Chalco, Tlalmanalco, Amecameca, Atlautla y Ecatzingo. (2) El estado de Puebla con 53,662.28 ha, distribuidas en 10 de sus municipios: Santa Rita Tlahuapan, San Salvador el Verde, San Felipe Teotlacingo, Chiautzingo, Huejotzingo, Calpan, San Nicolás de los Ranchos, Tianguismanalco, Atlixco y Tochimilco. (3) Estado de Tlaxcala con 8,488.20 ha, distribuidas en dos de sus municipios:

Calpulalpan y Nanacamilpa de Mariano Arista y (4) Estado de Morelos con 3,657.76 ha, distribuidas en dos de sus municipios: Ocuituco y Tetela del Volcán.

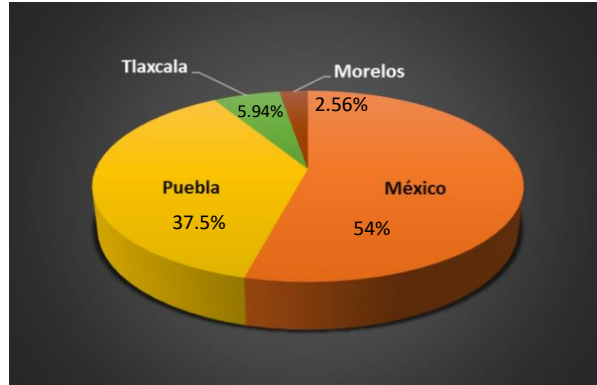


Figura 2.1 Proporción correspondiente a cada estado del área total de la RBLV (EAGH, 2015)

A diferencia de un parque nacional que está destinado exclusivamente a la conservación de la naturaleza, una reserva de la biosfera mantiene una zona de no uso, llamada zona núcleo, donde prevalece el concepto de conservación natural; inmediatamente después una zona de uso, llamada zona de amortiguamiento, en donde se llevan a cabo actividades antrópicas, prevaleciendo siempre la idea de la conservación ecosistémica. Y por último una zona exterior que incluye poblados y pequeñas ciudades donde realizan actividades productivas, que deben fomentar en todo momento la explotación y aprovechamiento de los recursos de forma sostenible. El reto de estas últimas es proponer alternativas al uso actual del suelo, la creciente explotación forestal, la apertura de campos al cultivo y la explotación de recursos naturales para el desarrollo urbano e industrial (Becerra, 2018).

La zonificación de la RBLV (Fig. 1.5) de acuerdo con los objetivos a alcanzar se estableció de la siguiente manera (CONANP, 2004):

- a) La zona núcleo está destinada a la protección a largo plazo, es el área con mayor fragilidad y donde está prohibida cualquier actividad extractiva. La RBLV dispone de dos zonas núcleos que tienen una superficie total de 28,771.182 ha. Por su extensión, la principal es el Iztaccíhuatl-Popocatepetl de 22,685.580 ha y la segunda es la zona del Tlaloc-Telapón cuenta con 6,085.602 ha, ambas comparten características ecosistémicas y especies.
- b) La zona de amortiguamiento en ella se realizan actividades humanas compatibles con los objetivos de conservación, evitando que las presiones antropogénicas impacten negativamente. En este caso, es la zona que concentra la mayor biodiversidad, en total cuenta con una extensión de 57,767.741 ha.
- c) La zona exterior, de 85,235.486 ha, sobresale por el régimen de propiedad, de manera genérica corresponde a los ejidos, comunidades agrarias y propiedad privada. En ella, la regulación de las actividades propuestas debe hacerse conforme al ordenamiento ecológico, con la finalidad de hacer una reconversión de las actividades productivas y fomentar en todo momento la explotación y aprovechamiento de los recursos de forma sostenible.

La RBLV se encuentra en la Sierra Nevada, enclavada en la zona centro-oriental del Eje Volcánico Transmexicano. Sus características geológicas la sitúan como una zona de origen volcánico, con

dominancia de rocas basálticas y andesíticas, en su territorio se encuentran cuatro volcanes. Dos de ellos, el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl son la segunda y tercera montañas más altas de México, iconos de la belleza paisajística y biodiversidad del país.

POPOCATÉPETL, su nombre significa Cerro que Humea, es actualmente uno de los volcanes más activos del mundo y el segundo más alto de México, con una altura de 5,452 m. Se encuentra en la parte austral de la Sierra Nevada y es punto de inicio para las serranías del Ajusco hacia el poniente. Se encuentra a 88 km al oriente de la Ciudad de México (a partir de ahora CDMX) y sirve de límite a los estados de México, Puebla y Morelos (Yarza, 2003).

Su historia muestra que ha presentado diferentes estilos eruptivos que van de baja intensidad con efectos mínimos a explosivos violentos que se han suscitado desde el Pleistoceno tardío y el Holoceno (Macías, 2005). En la época actual la actividad volcánica del Popocatepetl se activó en 1994, después de haber permanecido 70 años en un periodo de reposo y se ha mantenido estos 25 años con etapas efusivas y explosivas hasta la actualidad. Ha expulsado material incandescente que ha llegado a distancias de 5 Km del cráter. La emisión de cenizas ha llegado a las ciudades de Puebla, México, Tlaxcala, Hidalgo, Querétaro y Veracruz. Debido a su ubicación con respecto a las áreas metropolitanas y rurales que se encuentran a 100 Km a la redonda y que son habitadas por más de 25 millones de habitantes, es considerado uno de los volcanes más peligrosos de la actualidad (Martin, Cifuentes, Cabral, Bonifaz, Correa y Mendiola, 2003; Martin, González, Espinasa, Butrón, Reyes, 2008; Martin, et al., 2017)

IZTACCÍHUATL su nombre proviene de dos vocablos del náhuatl *iztac* que significa blanco y *cihuatl* que es mujer, lo que lo define como mujer blanca, con base en su apariencia que simula una mujer acostada y la nieve que la cubre. Es la tercera montaña más alta a nivel nacional, con una altura de 5,230 m, se distinguen en ella cuatro alturas principales, lo que se conoce como la cabeza con una altura de 5,146 m, el pecho a 5,230 m, las rodillas a 5,000 m y los pies a 4,740 m (Nixon, 1989).

La montaña data del pleistoceno tardío, tiene una edad aproximada de 0,9 a 0,08 millones de años, se estima que su última erupción fue durante la última glaciación hace 11,000 años. Es un volcán activo, que después de su actividad previa, ha acumulado estratos sedimentarios en las zonas bajas, debidos a la denudación, pues la erosión y los glaciares no sólo atacaron la cima, sino que han formado grandes barrancas (Yarza, 2003). Incluye glaciares, áreas de pastizal montano, bosques de coníferas y bosque mixto y sostiene el régimen hidrológico de la región.

TELAPÓN su cumbre presenta una altura de 4,060 m, el inicio de su formación data de hace aproximadamente 5 millones de años, al final del Mioceno y concluyó hace aproximadamente 2 millones de años en el Pleistoceno. En su región centro occidental se encuentran ríos y escurrimientos que se ubican en la parte centro occidental de esta zona, cuyo cauce se dirige hacia la planicie del Valle de Chalco, en el que confluyen cauces intermitentes que se originan en el volcán y descienden por la vertiente occidental de la sierra de Río Frío, para desembocar en el río de la Compañía. Presenta bosque de pino-oyamel a una altura entre 3,600 y 3,800 m, que se encuentran en etapa de recuperación, debido a su sobreexplotación durante la década de 1940 (García y Serrano, 2011).

TLÁLOC es un volcán viejo que inicio su formación en el Mioceno, finalizando a principios del Pleistoceno, su edad se ha calculado en 700,000 años, pero puede ser aún mayor (García, Reyes y López, 2012). Tiene una altura de 4,120 m, allí tienen origen los principales escurrimientos que se forman en la región de Texcoco, sus cauces manifiestan una geomorfología compleja con caudal variable.

CLIMA

Debido a la extensión y al gradiente altitudinal de la RBLV, reúne una variedad de 10 categorías de climas, según las modificaciones que realizó la maestra Enriqueta García al sistema de clasificación climática de Köppen (2004). Los meses más fríos son diciembre, enero y febrero y los más cálidos abril y mayo, con una temperatura media del mes más cálido de 15 °C y del mes más frío 3 °C. El análisis de los climogramas (Figs. 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5) de sitios de la RBLV y áreas circundantes, muestran que la precipitación se concentra en junio, julio, agosto y septiembre. Aún en las estaciones más alejadas, con una precipitación media anual de 1,090 mm.

Tabla 2.1. Climas presentes en la RBLV de acuerdo con las estaciones meteorológicas localizadas dentro de la Reserva (García, 1973., Vidal, 2005., Vidal y Gómez, 2007., SEMARNAT, 2013)

Estación meteorológica	Clave climática	Clima
Alta montaña	EFHw	Clima muy frío, o de nieves perpetuas con una temperatura media anual menor de -2°. y la del mes más cálido menor de 0°C. Este clima solo se presenta en altitudes superiores a 5,000 m, en la cúspide del Popocatepetl y del Iztaccíhuatl.
Alta montaña	ETHw	Clima frío, con temperatura media anual de entre -2°C y 5°C; con régimen de lluvias en verano. el mes más frío con 0°C y el mes más cálido con 6.5°C. Altitudes comprendidas entre 4,000 y 5,000 m.
Huayatlaco	Cc(w2)(w)iw''	Clima semifrío húmedo con lluvias de verano. La temperatura media anual es de 7.7°C, siendo el mes más frío enero, con una temperatura de 6.4°C y el más cálido abril con temperaturas medias de 9.2°C; la oscilación térmica es de 2.8°C; la precipitación media anual es de 1,186 mm, con el mes más seco en febrero, presentando una precipitación de 13 mm y el mes más húmedo, septiembre con 203 mm. La relación precipitación-temperatura es de 154 y el porcentaje de lluvia invernal de 4.8.
Tetela del Volcán	Cb(m)(w)ig	Clima templado húmedo con lluvias de verano, cuya temperatura media anual es de 17.2°C, siendo diciembre el mes más frío con 15.6°C y el más cálido mayo con 19.8°C. La precipitación media anual es de 1,885 mm, con febrero como mes más seco pues recibe una precipitación de 1.3 mm y julio como el mes más húmedo con 368.5 mm de precipitación. La relación precipitación-temperatura es de 109.6; por las condiciones de la temperatura se le considera templado con verano fresco largo y por la precipitación como húmedo.
Amecameca	Cb(w2)(w)' gw''	Clima templado subhúmedo, con lluvias de verano, cuya temperatura media anual es de 14°C; siendo el mes más frío enero con 10.8°C y el más cálido mayo con 16.2°C. La precipitación media anual es de 928 mm; el mes más seco es febrero con una precipitación de 6.9 mm y el más húmedo, septiembre con una precipitación de 185.6 mm. El porcentaje de lluvia invernal es de 3.4% y la relación precipitación-temperatura es de 66.3. Con una oscilación térmica de 5.4, se le considera templado con verano fresco largo.

San Pedro Nexapa	Cb(w)kig	Clima templado subhúmedo con lluvias de verano; temperatura media anual de 13.5°C, con temperatura del mes más frío de 11.4°C en diciembre y enero y en el mes más cálido de 15.9°C en mayo. La precipitación anual es de 910 mm, con un porcentaje de lluvia invernal de 5%. La relación entre temperatura y precipitación es de 67.1; con una oscilación térmica de 4.5 se le considera un clima isotermal, semifrío, con verano fresco.
San Rafael	C(w2) (w) big	Clima templado, subhúmedo, con lluvias de verano, con temperatura media anual de 13.2°C y la temperatura del mes más frío menor de 10.9°C y la del mes más cálido de 15.4°C. La precipitación anual de 1,092 mm, siendo febrero el mes más seco y julio el más húmedo con 228 mm de precipitación; el porcentaje de lluvia invernal es de 3.57%. La relación entre temperatura y precipitación es de 82.7. Si comparamos estos datos con los de la anterior estación, tenemos que difiere del anterior en tanto que no tiene dos máximos de lluvia separados por dos estaciones secas, una larga y una corta y porque la temperatura media anual se encuentra entre los 12°C y los 18°C.
Tlahuapan	C (w' '2) big	Clima templado, pero el más húmedo de los subhúmedos, con una temporada lluviosa marcada en el verano y otra en invierno y cuyo cociente Precipitación-Temperatura es mayor de 55. La precipitación media anual es de 970.6 mm. La temperatura media anual es de 14. 6°C y la temperatura del mes más frío es de 11.6°C. El verano es fresco y largo; la temperatura media del mes más cálido es de 22°C. La oscilación térmica es de 4.7°C y el mes más caliente se registra antes de junio.
Chalco	C(m) (w) b(e) g	Clima templado, húmedo, con lluvias de verano; con una temperatura media anual entre 12 y 18°C y una temperatura del mes más frío de 11.2°C; la precipitación media anual es de 659.3 mm y la precipitación del mes más seco mayor de 40 mm; el porcentaje de lluvia invernal menor de 5% de la anual. El verano es fresco y largo, donde el mes más cálido presenta temperaturas de 18.4°C; el mes más caliente es mayo.
Río Frío	C (w''2) (w) (b') ig	Clima templado, subhúmedo, con lluvias en verano, con temperatura media del mes más frío inferior a 18°C, pero superior a -3°C; la precipitación del mes más húmedo, es en la mitad del año en la que se encuentra el verano, 10 veces mayor que la del mes más seco; la precipitación del mes más seco es menor de 40 mm y la precipitación anual es mayor que la que constituye el límite de los climas secos B y menor que el límite de los climas C (m).

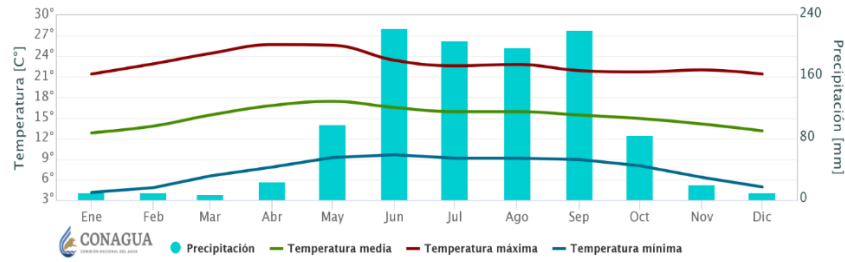


Figura 6.2 Climograma (1981-2010) Estación Hueyapan E-4 Morelos (18.885, -98.6903). Clave 17046. (CONAGUA-SMN.www.snm.conagua.gob.mx/es/climatología/información-climatologica/climogramas-1981-2010)

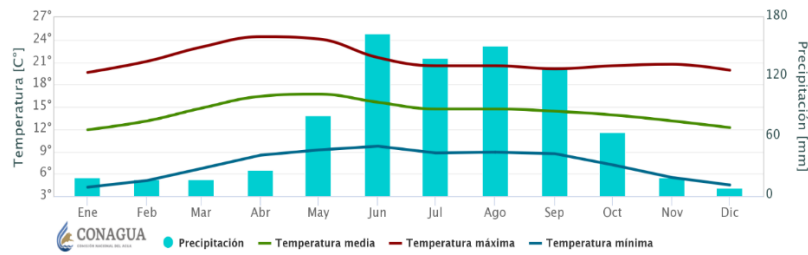


Figura 2.3 Climograma (1981-2010) Estación San Pedro Nexapa, México (19.0836, -98.7383). Clave 15103 (CONAGUA-SMN.www.snm.conagua.gob.mx/es/climatología/información-climatologica/climogramas-1981-2010)

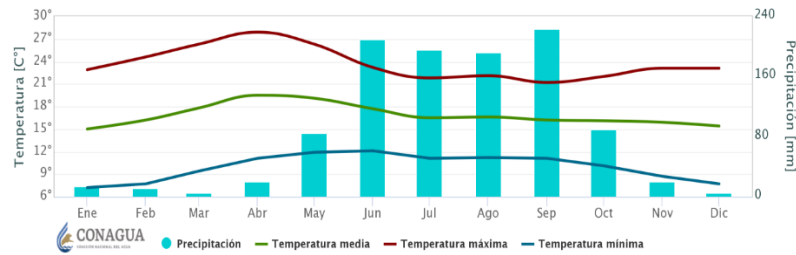


Figura 2.4 Climograma (1981-2010) Estación Alpanocan, Morelos (18.9311, -98.6897). Clave 17060 (CONAGUA-SMN.www.snm.conagua.gob.mx/es/climatología/información-climatologica/climogramas-1981-2010)

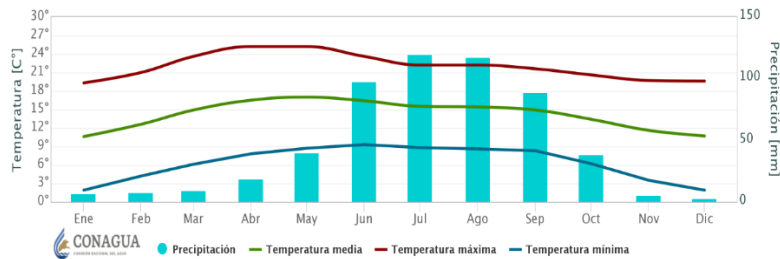


Figura 2.5 Climograma (1981-2010) Estación Chalco-San Lucas, México (19.2583, -98.8958). Clave 15020 (CONAGUA-SMN.www.snm.conagua.gob.mx/es/climatología/información-climatologica/climogramas-1981-2010)

GEOLOGÍA

La Sierra Nevada ha sido cubierta con depósitos de pómez y ceniza, que conforman el material parental, del cual derivan los Andosoles que dominan la región. En el Iztaccíhuatl el material predominante son las andesitas con piroxenos, mientras que las andesitas de hornblenda ($\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe,Al})_5(\text{Al,Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$) dominan en el Popocatepetl (Arana, Siebe y Macías, 2010)

El Popocatepetl es un volcán activo, poligenético o estratificado, de corrientes de lava y brechas, arenas y cenizas. Las corrientes de lava más recientes están en el cuadrante noreste y tienen formas alargadas y abruptas, de brechas compactas de color rojo y pardo rojizo. Sus últimas erupciones han sido de arenas y de piedra pómez (Yarza, 2003).

Un análisis de su morfología y de su evolución geológica muestran que se trata de un volcán que ha estado activo por más de medio millón de años. Por tanto, muestra varias etapas de crecimiento, que formaron al menos tres volcanes previos, que fueron destruidos por erupciones extraordinariamente grandes: el Nexpayantla hace > 400,000 años, el Ventorrillo hace alrededor de 23,000 años y el Fraile, hace 14,500 años. El cono moderno está construido sobre los restos de estos volcanes (Espinasa, 2014).

El Popocatepetl ha desarrollado eventos explosivos de intensidad variable, hay registros de algunos muy violentos que sucedieron en el Pleistoceno tardío y el Holoceno, según la granulometría, sedimentología, la acumulación y gran cantidad de pómez, además de los flujos piroclásticos de los últimos 24 000 años, se infiere que fueron de tipo pliniano. El evento ocurrido hace 17,000 años, que fue clasificado como freático-pliniano, con erupciones de gran magnitud, en donde los piroclastos llegaron a la Ciudad de México y formaron los componentes litoestratigráficos de la cuenca.

En otras ocasiones las explosiones han lanzado fragmentos incandescentes a casi 5 km de distancia del cráter y a unos 3.5 km de las poblaciones más cercanas al volcán. Se han desplazado flujos piroclásticos y lahares, que han llegado hasta Santiago Xalitzintla, Puebla, el poblado más cercano, que se localiza a 12 Km del cráter (Espinasa, 2014).

El volcán Iztaccíhuatl tuvo su origen a finales del Mioceno, está constituido por capas de lava andesítica de hornblenda e hiperstena sobre un núcleo de dacitas, alcanzando las andesitas un gran espesor, sus aparatos crateriformes han desaparecido.

La montaña formada por este edificio volcánico se encuentra actualmente cubierta en su cima de nieve y con variados accidentes topográficos, importantes thalwegs, suaves o abruptas pendientes, restos de enormes ríos de hielo o ventisqueros formados en la constante glaciación alpina, que presentan fantásticas escenas (Yarza, 2003).

El denominado talud del Iztaccíhuatl se caracteriza por contener varias estructuras cerriles de altura considerable como El Tlacachelo (3,780 m), El Caluca (3,780 m), Las Ánimas (3,740 m), Los Coletos (3,700 m), La Cruz de Carabaca (3,700 m) y León (3,520 m), según lo mencionado por García (2004).

Las diversas etapas de construcción y destrucción dieron lugar a cuatro cimas: Cabeza (5,140 m s.n.m.), Pecho (5,230 m s.n.m.) y Rodillas (5,000 m s.n.m.), Pies (4,703 m s.n.m.) de acuerdo a Nixon (1989). Este volcán es una estructura compleja desde el punto de vista volcánico y geomorfológico, corresponde a la formación geológica que está constituida por extensos derrames

lávicos de andesita basáltica, con intercalaciones de depósitos piroclásticos como tobas y cenizas. Su edad aproximada es de 0,9 a 0,08 millones de años, del Pleistoceno Tardío. Los materiales más recientes se han constituidos por derrames lávicos andesítico-dacíticos, que de manera particular se asocian al volcán Amalacaxco ("pies del Izta"), del Holoceno.

DIVERSIDAD BIOLÓGICA

El conjunto de caracteres físicos del ambiente, determina también las características de la biota presente en un ecosistema, en éste caso la importancia de la Sierra Nevada además de los interesantes procesos que han dado lugar a su geomorfología, radica en su valor ecológico, alberga el remanente de bosque de coníferas y praderas de alta montaña con mayor importancia del centro del país, esto le permite la continuidad y la evolución de los procesos naturales, evita la fragmentación ecosistémica y favorece una alta diversidad biológica.

México ocupa el cuarto lugar mundial en biodiversidad. En la región centro la confluencia de las regiones Neártica y Neotropical, en el denominado Eje Volcánico transmexicano presenta condiciones ecológicas que favorecen una gran diversidad de fauna y flora. El origen geológico, la orografía, los suelos y el clima en conjunto hacen posible la existencia de múltiples ecosistemas que van de los bosques mixtos de pino, oyamel, encino y alnus, a la pradera de montaña (poco común en México) y los glaciares.

Dentro de este sistema montañoso se encuentran el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl, que en conjunto albergan una comunidad montana y de bosque que es hábitat de muchas especies. Se han registrado 465 especies de flora y fauna, 23 de ellas son endémicas y 30 están bajo algún criterio de protección.

Entre la fauna endémica de esta región se encuentra el conejo zacatuche o teporingo (*Romerolagus diazi*), el conejo castellano (*Sylvilagus floridanus*), el conejo montés (*Sylvilagus cunicularius*), las musarañas (*Sorex saussurei* y *Cryptotis goldmani*), los ratones (*Neotomodon alstoni* y *Peromyscus difficilis*), el alicante del Popocatepetl o dragoncito (*Barisia imbricada*), las salamandras (*Pseudoeurycea leprosa* y *Chiropterotriton chiropterus*). También viven aves como la codorniz coluda (*Dendrortyx macroura*), el vencejo nuca blanca (*Streptoprocne semicollaris*). Es refugio de especies amenazadas como el tejón (*Taxidea taxus*), el tecolote cornudo (*Bubo virginianus*), que es endémico; la rana plegada (*Hyla alicata*), la culebra listonada de montaña (*Thamnophis scalaris*), la culebra cola larga (*Thamnophis eques*) (SEMARNAT, 2013).

La mayor biodiversidad se encuentra entre los 2,500 m s.n.m. y 3,500 m s.n.m., conforme aumenta la altitud, hacia los 4,400 m s.n.m. la vegetación prácticamente desaparece para dar paso a una zona denudada, con rocas y arenas volcánicas.

Los altos endemismos de la región se atribuyen a sus características fisiográficas y topográficas. La destrucción directa por la tala, los incendios, la ganadería extensiva, la caza, el comercio ilegal e incluso las actividades turísticas mal controladas, impactan de forma negativa las poblaciones animales.

El parque cuenta con 16 familias, 37 géneros y 51 especies de mamíferos. Ocho especies son endémicas; cuatro están bajo protección especial y una está amenazada. Los roedores son los mejor representados; le sigue el orden de los carnívoros, como; el gato montés, el zorro, el zorrillo, el coyote y el mapache; los quirópteros (murciélagos) ocupan el tercer lugar y finalmente los lagomorfos (conejos). El conejo zacatuche o teporingo (*Romerolagus diazi*), es una especie endémica. El estado de conservación de sus poblaciones se considera de regular a buena. Está

protegida por la NOM-059-SEMARNAT-2010 (-SEMARNAT, 2010). Otras especies protegidas son: *Sorex saussurei*, *Myotis velifer* y *Dipodomys phillipsi*. Entre los mamíferos endémicos está la musaraña (*Cryptotis goldmani*), los conejos (*Sylvilagus floridanus* y *Sylvilagus cunicularius*), los ratones de los volcanes (*Neotomodon alstoni* y *Peromyscus difficili*); mientras que el tejón (*Taxidea taxus*) es una especie amenazada. Y a pesar de ser víctima de una gran presión por parte de los pobladores de la zona, se han reportado individuos de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y también se tienen registros de la presencia de lince o gato montés (*Lynx rufus escuinapae*) (SEMARNAT, 2013).

México ocupa el primer lugar en el mundo en diversidad de reptiles. Los reptiles del PNIP, están representados por diez especies pertenecientes a siete géneros y cinco familias. En el registro consta la presencia de dos especies de víboras de cascabel *Crotalus triseriatus* y *Sistrurus ravus* (endémica y protegida), como el alicante del Popocatepetl o dragoncito *Barisia imbricata*, endémica y protegida; lagartijas como *Sceloporus aeneus*, *S. mucronatus* y *S. grammicus* (protegida *Thamnophis scalaris*, conocida como culebra listonada de montaña (endémica y amenazada) y *Thamnophis eques* (amenazada) y conocida como culebra cola larga.

La zona de los volcanes está considerada por la CONABIO (2007), como Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA). El grupo está representado por diez órdenes, divididos en 31 familias, 104 géneros y 198 especies. De ellas, seis especies son endémicas y siete están protegidas por la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), el halcón peregrino (*Falco peregrinus*), la codorniz coluda (*Dendrortyx macroura*); el tecolote serrano (*Glaucidium gnoma*), el vencejo nuca blanca (*Streptoprocne semicollaris*), endémico, el clarín norteño (*Myadestes townsendi*), el mirlo pinta (*Ridgwayia pinicola*) y el gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*); mientras que el tecolote cornudo (*Bubo virginianus*), especie endémica, se encuentra amenazado.

DESCRIPCIÓN DE LAS COBERTURAS DE SUELO IDENTIFICADAS

PASTIZAL MONTANO

Este tipo de cobertura se identifica como vegetación primaria y en la RBLV inicia su aparición por arriba de la cota de 3500 m, su principal representante es *Festuca sp.*, acompañada de otras herbáceas como *Eryngium sp.*, *Lupinus sp.*, es importante destacar en esta cobertura la presencia de *Juniperus monticola*, arbusto que se distribuye solo en zonas de alta montaña (Fig. 2.6a). El análisis cartográfico de INEGI (209) para esta cobertura muestra una textura intermedia entre rugosa y lisa, bajo colores marrones claros, en donde se observa una falta de alineación y con apariencia carente de vegetación. En algunas zonas se observa roca desnuda sobre todo en la parte más alta del volcán Iztaccíhuatl, la presencia de herbáceas con alturas menores a 0.5 m es dominada por *Muhlenbergia sp.*

BOSQUE DE PINO/ PASTIZAL MONTANO

Esta es una cobertura de suelo transicional (ecotono), que tiene como vegetación arbórea al *Pinus hartwegii*, que se distribuye en las zonas más altas de la RBLV, en ella se ve un bosque muy abierto con árboles adultos de alturas medias, con diámetro de entre 1.2 y 2.0 m (Fig. 2.6b). La regeneración natural no es muy marcada, pero la que va presentándose tiene un desplazamiento hacia mayores altitudes. No está presente el estrato arbustivo y el herbáceo es reducido en diversidad, el zacatonal

que domina está constituido por los géneros *Calamagrostis* y *Festuca*. Es una cobertura donde hay presencia de manantiales y zonas inundadas, así como paisajes que incluyen atractivas paredes rocosas. En esta zona se han realizado de manera continua trabajos para mejorar la infiltración de agua mediante diferentes métodos, uno de ellos la utilización de tinas ciegas para la alimentación del manto freático por captación de agua pluvial, método muy cuestionado para esta zona por la pronunciada pendiente, hay una continua presencia de visitantes y alpinistas. En la cartografía se ve representado por un color café cenizo con textura heterogénea y manchones oscuros que representan a los pinos de manera heterogénea (INEGI, 2009).

BOSQUE DE PINO

Esta cobertura se extiende aproximadamente de 3,300 - 4,000 m s.n.m., dominada por *Pinus hartwegii*, considerado un bosque abierto. En los volcanes, esta especie llega a 4,200 m, que son las mayores altitudes registradas mundialmente para una especie de pino. Los árboles presentes en este estrato tienen alturas medias entre 15 y 25 m. (Fig. 2.6c). Los problemas de la especie por invasión y parasitismo son provocados por el muérdago *Arceuthobium vaginatum*, y los coleópteros *Dendroctonus adjunctus*.

En algunas zonas se combina con algunos árboles de menor tamaño en una distribución reducida y muy abierta, donde hay presencia de *Aile jorullensis* spp. *Ribes ciliatum*, *Salix bonplandiana* y *Senecio cinerarioides*. En el estrato herbáceo que se distribuye en laderas y pequeñas joyas, hay dominancia de *Festuca tolucensis* y *Muhlenbergia quadridentata*; otras especies que conforman los amacollados del zacatonal como *Festuca amplissima* y *Muhlenbergia nigra* están presentes ocasionalmente. Las herbáceas más importantes comprenden *Alchemilla vulcanica*, *Cirsium nivale*, cardo santo (*Lupinus montanus*), jarritos (*Penstemon gentianoides*) y *Vaccinium geminiflorum* (un arbusto bajo semierbáceo). En él se presentan manantiales, cañadas con pendientes elevadas, laderas y valles. En la cartografía se presenta con un color verdoso con textura granulada pero homogénea, sin alineación definida (INEGI, 2009).

BOSQUE MIXTO

Son áreas donde la cobertura vegetal dominante es arbórea. Que se dividen en (1) conservadas que se encuentran en la parte superior donde dominan especies como *Abies religiosa* (principalmente en cañadas), *Pinus hartwegii*, *Pinus ayacahuite*, *P. montezumae* entre otras especies de pino (Fig. 2.6d), (2) perturbadas en zonas con menor altitud, con asociaciones entre especies de pino y otros árboles *Abies*, *Quercus*, *Cupressus* y *Aile*. El dosel de estos bosques varía según la altitud, presentándose muy abierto en las zonas superior e inferior y con mayor densidad en la zona media. La apertura del dosel favorece el establecimiento de diversos géneros arbustivos y de herbáceas como *Senecio*, *Ribes*, *Muhlenbergia*, *Agrostis*, *Brachypodium*, *Lupinus* y *Festuca*. La existencia de renuevos y de los estratos arbustivo y herbáceo indica el grado de conservación. La vegetación del sotobosque en esta cobertura facilita el paseo y desplazamiento por zonas aledañas. Estos estratos son hábitat de insectos, aves y mamíferos, al amparo de la vegetación secundaria que precede al estado sucesional de un bosque primario, con pinos jóvenes y pastos, en zonas previamente deforestadas y en proceso de recuperación. En cuanto a la cartografía son polígonos sin alineación (salvo las zonas de reforestación) de colores verdes o textura granulada, en el extremo inferior con árboles más pequeños y separados entre ellos, los cuales se encuentran en una matriz de pastizales y arbustos (INEGI, 2009).

AGRÍCOLA

Esta cobertura está conformada por zonas de cultivos diversos, extensivos e intensivos, principalmente de temporal, que han perdido productividad y su manejo inadecuado ha provocado

erosión (Fig. 2.6g). La cobertura agrícola en la cartografía se representa con colores claros y alineación del terreno (indicativo de actividades antropogénicas), con texturas lisas en áreas de invernaderos y cultivos herbáceos; y granuladas donde hay árboles frutales (INEGI, 2009).

MANANTIALES

Son áreas donde emerge el agua, algunas están protegidas por paredes de piedra o cercados, pero no sucede en todas. Estos cercados lejos de proteger, en ocasiones exponen el manantial a extracción y diferentes tipos de contaminación. La vegetación ribereña favorece la filtración y amortiguamiento ante los eventos externos a la ribera y esto se pierde al ser eliminada para la construcción de las cercas o paredes. La exposición de estos cuerpos de agua favorece la llegada del ganado a abrevar, la captación y acumulación de sólidos generados por la erosión de zonas aledañas. Es importante mencionar que, el agua limpia de algunos de los manantiales se incorpora, a pocos metros de su nacimiento a arroyos o ríos severamente contaminados por descargas residuales cuenca arriba (Fig. 2.6e; 2.6f). En la cartografía se muestran con texturas lisas, muy pequeños, que se continúan por el cauce de ríos con apariencia de líneas curvas oscuras, con vegetación alineada en la ribera (INEGI, 2009).

URBANA

Esta cobertura del suelo está representada por los asentamientos humanos, que van desde pequeños poblados hasta ciudades de diferente magnitud (Amecameca, Tlalmanalco, Yecapixtla, Atlixco, Sn Martín Texmelucan, etc.) (Fig. 2.6h). En la cartografía se identifican por su baja pendiente, alineamiento y color grisáceo (INEGI, 2009). Estas aguas se destinan al riego de las zonas agrícolas, su conducción a las cajas de agua o suministro directo de las poblaciones y en muchas ocasiones su incorporación a los cauces de ríos.



Figura 2.6 Coberturas de suelo identificadas
a) Patizal montano, b) Bosque de Pino-Pastizal montano, c) Bosque de Pino, d) Bosque Mixto, e) Manantial Atlimeyaya, f) Manantial Teotlalcingo, g) Agrícola, h) Urbana
(LCAyE, 2011-2015)

DESCRIPCIÓN DE LOS USOS DE SUELO IDENTIFICADOS

El cambio en la vocación del suelo ha sido uno de los mayores problemas identificados dentro de la RVLV. Se han detectado hasta el momento tres grandes amenazas a los ecosistemas de montaña en esta reserva relacionadas con el cambio de uso de suelo: (1) la tala ilegal que elimina la vegetación arbórea con fines de lucro, retirando especies vegetales con más de 30 años, afectando la captación de agua de lluvia y favoreciendo la erosión del suelo al quedar desprotegido; (2) el uso del suelo en cuestiones agrícolas y que cada vez asciende más en el gradiente altitudinal sustituyendo áreas forestales perturbadas por zonas agropecuarias o simplemente agrícolas, además está la creación de infraestructura para almacenamiento de productos agrícolas y asentamientos humanos con densidades poblacionales variadas; (3) la presencia humana, por visitas continuas y ocasionales pero que causa impactos adversos al ANP.

Por ello se realizó la clasificación de zonas en la RBLV, según los usos de suelo que presentan con base en la caracterización realizada en campo.

PRADERA DE ALTA MONTAÑA

La belleza y características que revisten a las cimas de los volcanes de la RBLV, las hace atractivas desde diferentes puntos de vista, el científico, el tradicional, el deportivo, el turístico, para diferentes actividades humanas que impactan el funcionamiento natural de los ecosistemas.

En altitudes superiores a 4,500 m, se localizan superficies con nieve o suelos desnudos sin vegetación natural. Por debajo de esa cota, inicia la pradera de alta montaña, el intervalo registrado de acuerdo con los ecosistemas ribereños para este uso de suelo fue entre 3,800 y 4,100 m, en este intervalo hay pastizales montanos y submontanos, con dominancia de gramíneas amacolladas por encima del límite arbóreo, que permiten la sostenibilidad de una comunidad de fauna representativa de la zona con gran diversidad de insectos, reptiles y algunos mamíferos (Fig. 2.7a).

En la zona del Popocatepetl por alerta volcánica hay restricción al acceso en un área de 12 km, a partir del cráter, por lo que únicamente se permite el paso para cambiar o instalar equipos de monitoreo de volcánico, cuando es estrictamente necesario. Sin embargo, en la zona del Iztaccíhuatl, el uso que se del suelo se vincula a actividades deportivas como el ascenso y el descenso, de paredes rocosas, las caminatas de montaña, el campismo, la contemplación del paisaje, la meditación o las visitas a sitios arqueológicos. Además de grupos que llevan a cabo ritos tradicionales heredados por sus ancestros en ciertas épocas del año.

FORESTAL

Este uso de suelo se realiza en la franja forestal conservada que se registró entre 3,500 y 3,900 m de altitud, constituida principalmente por la zona de transición entre la pradera y el bosque donde domina *Pinus hartweggi*, seguido del bosque de coníferas, con presencia de diversas especies de pino y oyamel (Fig. 2.7b). En esta zona se llevan a cabo principalmente actividades de preservación, entre las que se encuentran las culturales por tradición, las de investigación y monitoreo, el paso para alpinistas, corredores, caminantes, ciclismo de montaña, mantenimiento de senderos y caminos, recolección de hongos. En esta zona hay accesos con vehículos únicamente por accesos permitidos.

FORESTAL PERTURBADO

En el descenso altitudinal entre los 2,850 y los 3,750 m, se identificó el uso de suelo forestal con perturbación evidente, donde el dosel es mucho más amplio y existe una sucesión del estrato arbóreo con presencia de *Quercus*, *Cupressus* y *Alnus* y vegetación secundaria arbustiva y herbácea (Fig. 2.7c).

En esta zona, se realizan actividades de tala permitida e ilegal, que afecta la calidad del suelo y disminuyen la retención de agua en el bosque. Existe presencia de ganado en libertad, que contamina los manantiales, ríos y arroyos, altera la vegetación y favorece la compactación del suelo. También la recolección de hongos y especies vegetales con usos ornamentales o medicinales, se lleva a cabo de manera continua.

También en este intervalo altitudinal se extrae el agua de manantiales y ríos para suministrarla a las comunidades y pueblos de la RBLV, sin regulación. Esto da lugar a una disminución en la hidratación del bosque y a problemas sociales por el dominio de este recurso. El acceso a estas áreas es en algunos casos libre y en otros restringido por bienes comunales o ejidos, y se realiza a través de caminos de terracería frecuentemente en vehículos (camionetas y motocicletas),

RECREATIVO FORESTAL

En este uso de suelo, el bosque tiene condiciones similares a las de la categoría anterior. Hay establecimiento de parques ecoturísticos; aprovechamiento del agua para cultivo de truchas y de forma asociada venta de alimentos; con áreas recreativas en su mayoría con instalaciones rústicas (Fig. 2.7d).

AGRÍCOLA FORESTAL

Este uso de suelo se caracteriza por tener áreas forestales perturbadas, en menor proporción que los usos de suelo anteriores y la presencia intercalada de parcelas de cultivo de maíz, amaranto, frijol, haba, frutales diversos y flores. Su acceso es continuo como áreas de paso y de trabajo agrícola, es común observar que con el paso del tiempo estas áreas de cultivo se han extendido, robándole terreno a la zona forestal (Fig. 2.7e).

AGROPECUARIO

Este uso de suelo abarca cultivos de temporal, con riego por derivación de canales y en menor proporción con riego tecnificado. Los productos obtenidos son para venta nacional, regional y de consumo en los poblados aledaños, se incluyen tanto plantas herbáceas como maíz, amaranto, hortalizas como jitomate, coliflor, brócoli, algunas flores, así como árboles frutales (pera, manzana, ciruela, tejocote, durazno, entre otros). También se incluyen zonas de invernaderos donde se cultivan principalmente plantas ornamentales como rosas, gladiolas, cempazúchitl, etc. (Fig. 2.7f). La presencia de ganado vacuno, ovino o caprino es común en estas zonas durante el día, casi siempre con la presencia de un pastor o encargado de conducirlo, los equinos que se observan comúnmente son pocos y en la mayoría de los casos son medio de transporte. La presencia de vehículos automotores es cotidiana, para el trabajo propio del campo.

URBANO

Se identifica por la presencia de asentamientos humanos de diferentes dimensiones, desde rancherías, pequeñas poblaciones, poblados y ciudades. En muchos casos aún con apariencia rural y edificaciones rústicas, hasta ciudades pequeñas, pero bien establecidas con todos los servicios, en donde se identifican los cambios ambientales a simple vista. Grandes áreas con suelo

erosionado, extracción de materiales madera, roca, suelo, agua, descargas de agua a arroyos y ríos, tiraderos de basura no planificados, entre otras (Fig. 2.7 g; Fig. 2.7h).



Figura 2.7 Usos de suelo identificados

- a) Pradera de alta montaña, b) Forestal, c) Forestal perturbado d) Recreativo-Forestal
e) Agrícola-Forestal, f) Agropecuario, g y h) Urbano
(LCaYe 2010-2015)

CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

Los 78 sitios estudiados se distribuyen desde 1987 a 4050 m de altura, en un amplio gradiente de condiciones tanto de exposición, en la cuenca a la que pertenecen, como geológicas, climáticas, edáficas, con diversos tipos de vegetación y de múltiples usos de suelo. Se estudiaron así sistemas ribereños en un mosaico de condiciones bioclimáticas, con los mismos componentes estructurales como la vegetación, el suelo y el agua, pero con una dinámica diferente, de ahí la importancia de explorar el máximo número de sitios cubriendo un amplio espectro de condiciones, que llevarán a identificar los principales indicadores Hídrico-Edáficos de estos ecosistemas de montaña.

Las porciones de territorio estudiadas comprenden la parte alta de los declives oriental y occidental de la Sierra Nevada en lo que corresponde a la RBLV y aunque las extensiones superficiales de ambas cuencas son muy diferentes (Cuenca del Balsas 112,036 km² y cuenca de México 9219 km²) (Cuevas et al., 2010), la distribución de los sitios incluidos en la investigación cubre superficies e intervalos altitudinales semejantes. Para la cuenca del alto Balsas los sitios elegidos estuvieron en un gradiente altitudinal entre 2076 y 4050 m, lo cual representa un intervalo de 1974 m, mientras que para la cuenca de México, el intervalo fue de 1883 m, desde el sitio más alto a 3870 m, al más bajo a 1987m.

En ambos casos, se manifiestan importantes diferencias dentro del intervalo de estudio considerado, con 47 sitios ribereños en la cuenca del alto Balsas y 31 en la cuenca de México, los cuales, representan la máxima variabilidad posible al abarcar las coberturas de suelo identificadas (pastizal montano, bosque de pino/pastizal montano, bosque de pino, bosque mixto, agrícola, urbana y manantiales) o bien por uso de suelo: (pradera de alta montaña, forestal, forestal-perturbado, recreativo-forestal, agrícola-forestal, agropecuarias, zonas urbanas).

Se elaboró una ficha descriptiva con la caracterización ecológica para cada uno de los sitios de estudio, asignando sus nombres de acuerdo a la denominación que usan los lugareños. En ella se presenta una síntesis de la información registrada sobre las características hídricas, edáficas y de vegetación más relevantes, durante el periodo de estudio, con los datos cobertura y uso de suelo, identificados en campo y mostrando la condición del paisaje con fotografías de cada sitio, tomadas durante el trabajo de campo.

Cuenca del alto Balsas

PILARES



Figura 2.8 Vista Noroeste del arroyo en Pilares (LCaYE junio-2013; mayo-2014)

ID	42	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 539758 W	2122505 N	
Altitud:	4054 m		
Cobertura del suelo:	Pastizal montano	Uso del suelo:	Pradera de alta montaña
Pendiente del terreno:	9°	Pendiente del cauce:	6°
Caudal promedio:	0.072 m ³ seg ⁻¹	Velocidad corriente media:	0.46 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio:	1.38 m		
Características agua:	La temperatura del agua registró variaciones entre 7 y 10.4°C. Es agua de buena calidad de acuerdo con sus valores de conductividad (18 μS cm ⁻¹); en ocasiones durante la época de lluvia su pH fue menor a 6.5, lo que indica que los procesos de degradación son altos y en caso de aumentar pondrían en riesgo la vida acuática del lugar. El agua mantuvo buena oxigenación, con alcalinidad baja, aguas blandas, con baja concentración de nitrógeno y fósforo. Excelente calidad según la DBO ₅ y con aceptable calidad con respecto a DQO.		
Características del suelo	El suelo es franco arenoso, volcánico con minerales francosos, fuertemente ácido, con salinidad despreciable, con baja materia orgánica, con Nitrógeno total bajo.		
Vegetación:	En esta zona se encuentra roca desnuda y domina el Pastizal montano (<i>Festuca</i> sp.) con presencia ocasional de <i>Juniperus monticola</i> y <i>Pinus hartwegii</i> . Además, está presente <i>Cirsium</i> sp.		

APATLACO 1



Figura 2.9 Vista suroeste del arroyo Apatlaco (LCyE, octubre-2014; febrero -2011)

ID: 11		Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 537908 W	2115433 N	
Altitud:	3956 m		
Cobertura del suelo:	Pastizal montano	Uso del suelo:	Pradera de alta montaña
Pendiente del terreno:	37°	Pendiente del cauce:	21°
Caudal promedio	0.0079 m ³ seg ⁻¹	Velocidad corriente media	0.42 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	2.8 m		
Características agua:	La temperatura del agua registró variaciones entre 6 y 7.6°C. Es agua de buena calidad en función de sus valores de conductividad (29 μS cm ⁻¹); con pH promedio 6.6, buena oxigenación, alcalinidad baja, aguas blandas, con baja concentración de nitrógeno y fósforo. Con excelente calidad de acuerdo con DBO ₅ y con aceptable calidad según la DQO.		
Características del suelo	El suelo es franco arenoso, volcánico, fuertemente ácido, con salinidad despreciable, con porcentaje medio de materia orgánica y nitrógeno total alto.		
Vegetación:	Domina el Pastizal montano (<i>Festuca sp</i>); con presencia de <i>Pinus hartwegii</i>		

VOLKSWAGEN



Figura 2.10 Corriente superficial naciente en el área Volkswagen (LCAyE, junio 2010; septiembre-2013)

ID: 75		Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 537010 W	2114406 N	
Altitud:	3883 m		
Cobertura del suelo:	Pastizal montano	Uso del suelo:	Pradera de alta montaña
Pendiente del terreno:		Pendiente del cauce:	
Caudal promedio:	0.0077 m ³ seg ⁻¹	Velocidad corriente media:	0.31 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.85m		
Características agua:	La temperatura del agua registró variaciones entre 6 y 14°C. De buena calidad según su conductividad (37.5 µS cm ⁻¹). Con pH entre 5.7 y 6.9, que rebasa el límite inferior para la vida acuática y el consumo. Con oxígeno disuelto entre 4.64 y 7.99, disminuyendo cuando la temperatura del agua se incrementa. Presenta aguas blandas con magnesio principalmente y baja alcalinidad. Con baja concentración de nitratos y amonio, pero nitritos en concentraciones muy elevadas que rebasan el límite permisible (SSA, 2000). Fósforo total promedio bajo (0.2 mg L ⁻¹), adecuado para cualquier uso. Calidad excelente de acuerdo con DBO ₅ , pero contaminada en función de DQO.		
Características del suelo	El suelo es arenoso franco, volcánico con 72.9% de espacio poroso, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y nivel medio de porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total bajo.		
Vegetación:	Con dominancia de pastizal montano (<i>Festuca sp.</i>) y presencia de <i>Potentilla sp.</i> , <i>Gnaphalium roseum</i> , <i>Lupinus montanus</i>		

APATLACO 2



Figura 2.11 Vista noroeste del arroyo Apatlaco (LCAyE, noviembre-2013; septiembre-2014)

ID: 12		Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 537650 W	2114816 N	
Altitud:	3850 m		
Cobertura del suelo:	Pastizal montano	Uso del suelo:	Pradera de alta montaña
Pendiente del terreno:	34°	Pendiente del cauce:	19°
Caudal promedio:	0.0036 m ³ seg ⁻¹	Velocidad corriente media	0.21 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.34 m		
Características agua:	<p>La temperatura del agua registró variaciones entre 11 y 17°C, de acuerdo con sus valores de conductividad (18 μS cm⁻¹) es agua de buena calidad para cualquier uso; con pH entre 6.1 y 6.3 lo que indica acidez a causa de la presencia de hojarasca de pino y procesos de degradación. Muy buen nivel de oxígeno disuelto, con alcalinidad baja, aguas que van de blandas en lluvias a moderadamente duras en estiaje. Con baja concentración de nitratos y nitritos, pero considerable concentración de amonio en lluvias (0.23 a 0.40 mg L⁻¹) y fósforo total bajo (promedio 0.105 mg L⁻¹). Con buena calidad en función de la DBO₅ y contaminada según el valor promedio de DQO.</p>		
Características del suelo	<p>El suelo es franco arenoso, volcánico con 73% de espacio poroso, fuertemente ácido, con salinidad despreciable, con porcentaje de materia orgánica medio y nitrógeno total muy alto.</p>		
Vegetación:	<p>En una zona de alta montaña con roca desnuda y Pastizal montano principalmente, con presencia de <i>Lupinus sp.</i>, <i>Eryngium carlinae</i> y <i>Pinus hartwegii</i>.</p>		

MANANTIAL VOLKSWAGEN



Figura 2.12 Vista de la oquedad donde se localiza el manantial Volkswagen y su flujo inicial (LCAyE noviembre-2013; junio-2014)

ID:	34	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 539883 W	2112110 N	
Altitud:	3839 m		
Cobertura del suelo:	Bosque de pino/ Pastizal montano	Uso del suelo:	Pradera de alta montaña
Pendiente del terreno:	29°	Pendiente del cauce:	37°
Caudal promedio	0.0076 m ³ seg ⁻¹	Velocidad corriente media	0.64 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio:	0.5 m		
Características agua:	La temperatura del agua registró variaciones entre 7.0 y 8.5°C, de acuerdo con sus valores de conductividad media (50 μS cm ⁻¹) implica que según su concentración de sales es de buena calidad. Con pH entre 5.79 y 7.2 rebasa en la época de lluvias el límite inferior establecido para adecuada vida acuática y consumo. Con muy buena oxigenación. Aguas blandas en lluvias y moderadamente duras en estiaje, con magnesio y calcio en proporciones similares y baja alcalinidad. Con baja concentración de nitrógeno en sus diferentes formas, y fósforo total promedio bajo (0.2 mg L ⁻¹), adecuado para cualquier uso. Calidad excelente en estiaje y aceptable en lluvias conforme la DBO ₅ , pero contaminada en función de DQO.		
Características del suelo	El suelo es arenoso franco, volcánico con 74% de espacio poroso, moderadamente ácido y porcentaje de materia orgánica medio y nitrógeno total y fósforo extractable bajo.		
Vegetación:	En esta zona tenemos presencia principal de pastizal montano (<i>Festuca sp.</i>) y <i>Pinus hartwegii</i> . Entre otras especies se encuentran <i>Lupinus montanus</i> , <i>Senecio angulifolius</i> , <i>Eupatorium rivale</i> , <i>Potentilla sp.</i> , <i>Gnaphalium roseum</i> . y <i>Cirsium ehrenbergii</i> .		

COCOYUCO MANANTIAL



Figura 2.13 Paisaje del Bosque donde se encuentra un manantial entubado para abastecimiento de agua a las poblaciones cercanas. (LCAyE, marzo-2014)

ID 24		Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 541132 W	2124459 N	
Cobertura del suelo:	Bosque de pino	Uso del suelo: Forestal	
Altitud:	3745 m.		
Pendiente del terreno:	8°	Pendiente del cauce:	
Caudal promedio (m ³ seg ⁻¹):	0.015 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.26 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio (m):	0.25 m		
Características agua:	La temperatura del agua mantuvo un intervalo entre 6.8 y 8°C, de acuerdo con su conductividad tiene buena calidad, con un pH promedio (6.41) adecuado para los diferentes usos. Concentraciones adecuadas de oxígeno disuelto con promedio de 8.36 mg O ₂ L ⁻¹ . Presenta aguas blandas, con calcio en proporciones similares y baja alcalinidad (65 mg CaCO ₃ L ⁻¹), con 0.1 mL L ⁻¹ de sólidos sedimentables. Las concentraciones de nitrógeno inorgánico son bajas en las tres especies químicas y fósforo total (0.280 mg L ⁻¹). Con excelente calidad según la DBO ₅ , pero contaminada en función de la DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico con espacio poroso de 72%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica medio, nivel bajo de nitrógeno total		
Vegetación:	El sitio está bien conservado con vegetación predominante de <i>Pinus hartwegii</i> , <i>Cupressus</i> sp y pastizal alpino. Con presencia de <i>Eupatorium</i> sp., <i>Mulhembergia</i> sp., <i>Festuca</i> sp., <i>Poaceae</i> sp. <i>Senecio</i> sp., <i>Lupinus</i> sp. Presenta un estrato arbóreo alto de aproximadamente 30 m; un estrato arbóreo bajo entre 5 y 10 m; y estrato herbáceo menor a 0.5 m. Sin embargo, aproximadamente a 15 m del sitio, se observa tala de árboles.		

RINCÓN DEL COCOYUCO MANANTIAL



Figura 2.14 Vista del manantial en la zona de Bosque paraje Rincón del Cocoyuco. (LCyE, marzo, septiembre-2014)

ID	45	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 541080 W	2124580 N	
Altitud:	3700 m.		
Cobertura del suelo:	Manantial	Uso del suelo: Forestal	
Pendiente del terreno:	9.4°	Pendiente del cauce:	1.99 °
Caudal promedio	0.009 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.246 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.36 m		
Características agua:	<p>La temperatura tuvo un valor promedio de 8.25°C, con baja conductividad (26 μS cm⁻¹), lo que indica una buena calidad en cuanto al contenido de sales. El pH promedio fue de 6.14, es en la época de lluvia cuando disminuye por debajo de 6.5 que es el límite permisible inferior para consumo y vida acuática. Buena oxigenación con un valor promedio de 7.9 mg O₂ L⁻¹.</p> <p>Aguas blandas debido a su concentración de calcio y alcalinidad baja con promedio de 21 mg CaCO₃ L⁻¹. Con concentraciones bajas de nitratos, nitritos y amonio que tienen tendencia a aumentar en la época lluviosa. Concentración de fósforo total baja (0.3 mg L⁻¹). Agua de calidad excelente según la DBO₅ y contaminada en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, con espacio poroso de 72%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica muy bajo, así como niveles de nitrógeno total y fósforo disponible, muy bajos.</p>		
Vegetación:	<p>Es una zona con Bosque de pino, conformado por <i>Pinus teocote</i>, <i>P. patula</i>, <i>P. hartwegii</i>, <i>P. pseudostrobus</i> y pastizal montano. Distribuidos en tres estratos: Estrato alto de 25 a 30 m. Estrato arbóreo medio de 8 a 10 m y estrato bajo de 1 – 2.5 m. Además, un estrato herbáceo menor de 50 cm conformado principalmente <i>Poaceae</i> sp.</p>		
Observaciones:	<p>Área con relieve convexo, afloramiento rocoso de riolita, andesita, dacita. El margen del manantial y el lecho es rocoso, con elementos que disminuyen de tamaño conforma se avanza en el cauce y con acumulación de sedimento en las zonas de mayor profundidad.</p>		

APATLACO 3 (Cascada)



Figura 2.15 Vista descendente del Río Apatlaco que da origen a la Cascada (LCAyE. noviembre-2013; septiembre-2014)

ID	13	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 539288 W	2113131 N	
Altitud:	3635 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque de Pino/ Pastizal montano	Uso del suelo: Forestal	
Pendiente del terreno:	15°	Pendiente del cauce:	10°
Caudal promedio:	0.2422 m ³ seg ⁻¹	Velocidad corriente media:	0.70 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	3.01 m		
Características agua:	La temperatura del agua sufrió mínimas fluctuaciones entre 7 y 8°C, con una conductividad de 40 µS cm ⁻¹ , se puede hablar de buena calidad. El pH entre 5.96 y 7.14, es menor durante la lluvia al establecido para condiciones adecuadas para vida acuática y consumo. El oxígeno disuelto se mantiene en buen nivel con intervalos entre 8.2 y 10.7 mg L ⁻¹ . Presenta aguas blandas debido al calcio durante las lluvias y duras durante la sequía con presencia también de magnesio, con alcalinidad baja en estiaje y media en lluvias. Niveles bajos de nitratos, nitritos y amonio. El fósforo total promedio fue bajo con 0.152 mg L ⁻¹ , adecuado para cualquier uso. Calidad excelente de acuerdo con la DBO ₅ , pero contaminada en función de la DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico con 69% de espacio poroso, fuertemente ácido, con salinidad despreciable, porcentaje de materia orgánica bajo y nitrógeno total bajo.		
Vegetación:	En esta zona tenemos asociación de pastizal montano (<i>Festuca sp.</i>) con <i>Pinus hartwegii</i> . Y presencia de <i>Muhlenbergia sp.</i> , <i>Eryngium sp</i> y <i>Cirsium sp.</i>		
Observaciones:	Este paisaje es inigualable, con la presencia de una cascada de más de 30 m de alto y ancho superior a los 7 m, que se encuentra en el parque ecoturístico del mismo nombre. La presencia frecuente de personas modifica la calidad del agua y puede a mediano o largo plazo modificar las características físicas y ambientales del lugar. Se recomienda extremar el cuidado y manejo turístico de la zona.		

EL CORRAL



Figura 2.16 Vista del Río en el paraje denominado el Corral, por su uso ganadero. (LCAyE, marzo, septiembre- 2014)

ID	29	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 544378 W	21121745 N	
Altitud:	3610 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque de pino	Uso del suelo:	Forestal perturbado
Pendiente del terreno:	8°	Pendiente del cauce:	1.9°
Caudal promedio	0.0107 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.099 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.40		
Características agua:	<p>La temperatura del agua mantuvo un promedio de 9.8°C, de acuerdo con su conductividad es agua de buena calidad, su pH tuvo fluctuaciones entre 6.35 y 7.26, por lo que se puede inferir que hay tendencia a rebasar los límites inferiores permisibles para aguas naturales y de consumo humano y el oxígeno disuelto promedio fue de 7.66 mg O₂ L⁻¹.</p> <p>Presenta aguas blandas, con la mayor proporción de calcio, y baja alcalinidad (35 mg CaCO₃ L⁻¹), con sólidos sedimentables promedio de 0.1 mL L⁻¹.</p> <p>Las concentraciones de nitrógeno inorgánico son bajas en las tres especies químicas y fósforo total (0.25 mg L⁻¹). Con excelente calidad conforme a la DBO₅, pero contaminada en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico con espacio poroso de 76%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica medio, nivel bajo de nitrógeno total.</p>		
Vegetación:	<p>La vegetación está representada principalmente por <i>Pinus hartwegii</i>, además hay presencia de <i>Eupatorium</i> sp.</p> <p>Se presentan 4 estratos: Alto: 20 – 25 m; Medio: 8 – 15 m; Bajo: 1 – 2m; y herbáceo: 0.1 – 0.5 m. Los primeros tres conformados principalmente por <i>Pinus</i> sp. La presencia del sotobosque fue mucho mayor en lluvia, que en estiaje</p>		

APATLACO 4



Figura 2.17 Río Apatlaco en la zona del Parque ecoturístico Apatlaco. (LCAyE, noviembre-2013; septiembre-2014)

ID	14	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 539961 W	2112074 N	
Altitud:	3571 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Recreativo Forestal
Pendiente del terreno:	6°	Pendiente del cauce:	4°
Caudal promedio	0.285 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.340 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	2.44 m		
Características agua:	<p>La temperatura del agua registró valores entre 8.5 y 14°C, con buena calidad según su conductividad media de 41.5 (μS cm⁻¹). Con pH promedio de 6.99, adecuado para los diferentes usos. Con concentraciones de oxígeno disuelto adecuadas entre 8.2 y 10.7 mg O₂ L⁻¹.</p> <p>Aguas muy duras, con baja proporción de calcio y alcalinidad media (85.9 mg CaCO₃ L⁻¹).</p> <p>Con mínimas concentraciones de nitrógeno y fósforo (0.16 mg L⁻¹).</p> <p>Con buena calidad de acuerdo con la DBO₅, pero contaminada en función de DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico con espacio poroso de 65%, fuertemente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica muy bajo, nivel bajo de nitrógeno total.</p>		
Vegetación:	<p>Presencia de pastizal montano, asociación <i>Abies religiosa</i> con <i>Pinus sp.</i> ambos con baja densidad. Están presentes además <i>Cirsum ehrenbergii</i>, y <i>Lupinus montanus</i>, <i>Marchantia sp.</i>, <i>Senecio sp.</i></p>		

BUENAVISTA



Figura 2.18 Vista del Río Apatlaco a la altura del Fraccionamiento de campo Buenavista. (LCAyE, enero, septiembre-2014)

ID	19	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 541690 W	2111115 N	
Altitud:	3312 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Forestal perturbado
Pendiente del terreno:	11 °	Pendiente del cauce:	4 °
Caudal promedio	0.2981 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.540 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	3.03 m		
Características agua:	<p>La temperatura del agua mantuvo un promedio de 8.0 °C, según su conductividad puede ser potabilizada, y mantiene un promedio de 61.5 μS cm⁻¹. Con pH promedio 6.76 adecuado para los diferentes usos con tendencia a la acidez. Con oxígeno disuelto promedio de 9.88 mg O₂ L⁻¹. Presenta aguas duras, con mayor proporción de calcio que de magnesio y baja alcalinidad (35.9 mg CaCO₃ L⁻¹), con sólidos sedimentables promedio de 0.1 mL L⁻¹</p> <p>Las concentraciones de nitratos y nitritos son bajas, el amonio aumenta, pero se mantiene en un nivel promedio adecuado (0.26 mg N-NH₄⁺ L⁻¹). El fósforo total con un promedio de 0.436 mg L⁻¹.</p> <p>Conforme al valor de DBO₅ el agua es de excelente calidad, pero se clasifica como aceptable en función del valor de DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico con espacio poroso de 67%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica muy bajo, nivel bajo de nitrógeno total.</p>		
Vegetación:	<p>La vegetación principal y <i>Pinus sp.</i> y <i>Abies religiosa</i>.</p>		
Observaciones:	<p>Esta zona se encuentra después de un cultivo de trucha y en una zona donde se han estado desarrollando la construcción de cabañas.</p>		

RÍO APOL



Figura 2.19 Vista del Río Apol y cajas de agua que alimenta. (LCAyE, septiembre-2014)

ID	47	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 543897 W	2114768 N	
Altitud:	3150 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Forestal perturbado
Pendiente del terreno:	12 °	Pendiente del cauce:	4 °
Caudal promedio	0.196 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	1.1 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	2.5 m		
Características agua:	<p>La temperatura tuvo un valor promedio de 5.8°C, con conductividad de 63 μS cm⁻¹, susceptible de ser potabilizada; con pH promedio de 5.99, que rebasa en las dos épocas el límite inferior permisible de 6.5. Buena oxigenación con un valor promedio de 9.19 mg O₂ L⁻¹. Aguas duras en estiaje con proporción similar de calcio y magnesio, y blandas en lluvias, con mayor proporción de calcio. La alcalinidad baja en ambas épocas (43 mg CaCO₃ L⁻¹). Los sólidos sedimentables fueron de 0.1 mL L⁻¹ en el estiaje y de 3 mL L⁻¹ en las lluvias.</p> <p>Con concentraciones aceptables de nitratos, nitritos y amonio. El fósforo total tuvo una concentración promedio de 0.42 mg L⁻¹. Con agua de buena calidad en función de la DBO₅ y contaminada en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico, con espacio poroso de 67%, fuertemente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica medio, así como niveles bajos de nitrógeno total.</p>		
Vegetación:	<p>Bosque mixto conformado por <i>Pinus montezumae</i>, <i>Pinus ayacahuite</i> y <i>Abies religiosa</i>, que se integran en el estrato alto de 25 a 35 m y en el medio de 15 a 25 m. En el estrato herbáceo tenemos <i>Salvia sp.</i>, <i>Senecio sp.</i>, <i>Eupatorium sp.</i>, abundantes helechos y musgos sobre las rocas.</p>		
Observaciones:	<p>El cauce se encuentra entre laderas pronunciadas, con gran abundancia de hojarasca de pino sobre el suelo. Lecho rocoso, los clastos no están redondeados y van de 1 a 0.1 m.</p>		

ATZOMPA



Figura 2.20 Vista del río en Atzompa, en dos épocas del año.
(LCAyE, octubre-2013; noviembre-2014)

ID	16	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 544378 W	21121745 N	.
Altitud:	3144 m		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Forestal perturbado
Pendiente del terreno:	31 °	Pendiente del cauce:	3.4 °
Caudal promedio	0.509 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.921 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	3.65 m		
Características agua:	<p>La temperatura del agua mantuvo un promedio de 9.5°C, de acuerdo con su valor de conductividad de 200.5 (μS cm⁻¹), puede ser potabilizada, pero en este sitio se observa un aumento importante con respecto al comportamiento de este parámetro en tributarios de altitudes superiores. El pH promedio (7.74) adecuado para los diferentes usos. Con concentraciones adecuadas de oxígeno disuelto promedio de 8.71 mg O₂ L⁻¹.</p> <p>Presenta aguas muy duras, con magnesio y calcio en proporciones similares y baja alcalinidad (65 mg CaCO₃ L⁻¹), sin sólidos sedimentables. Las concentraciones de nitrógeno inorgánico son bajas en las tres especies químicas y fósforo total (0.271 mg L⁻¹). Con buena calidad con respecto a la DBO₅, pero contaminada en función de DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico con espacio poroso de 76%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica medio, nivel bajo de nitrógeno total</p>		
Vegetación:	<p>La vegetación es <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus ayacahuite</i> con presencia de arbustos <i>Cestrum</i> sp. Estrato arbustivo de 1 a 3 metros de alto. (<i>Eupatorium</i>). Estrato herbáceo de 0.1 a 1 metros de alto. (<i>Poaceae</i>, <i>Polypodium</i> sp.). Se diferencian 3 niveles en el estrato arbóreo: Bajo: Altura 10 m; Medio: Altura 15 a 20 m. y Alto: 30 a 35 m.</p>		
Observaciones:	<p>El sustrato del lecho del río es gravilloso con cantos rodados de más de 15 cm en su diámetro más pequeño. El suelo del bosque ribereño presenta grava.</p>		

PALO OBISPO MANATIAL



Figura 2.21 Vista del manantial Palo obispo. (LCAYE, septiembre-2013)

ID	37	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 543985 W	2128682 N	
Altitud:	2917 m.		
Cobertura del suelo:	Manantial	Uso del suelo:	Forestal perturbado
Pendiente del terreno:	25°	Pendiente del cauce:	3 °
Caudal promedio	0.0086 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.910 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.25 m		
Características agua:	<p>La temperatura del agua mantuvo un promedio de 9.5°C, conforme al valor de la conductividad puede ser potabilizada, con un promedio de 63 $\mu\text{S cm}^{-1}$. El pH promedio fue de 6.33 rebasa el límite inferior permisible para aguas naturales y de consumo. Las aguas están bien oxigenadas con un promedio de 9.15 mg O₂ L⁻¹. Presenta aguas duras, debido a la presencia principalmente de calcio y alcalinidad baja (54 mg CaCO₃ L⁻¹), sin sólidos sedimentables. Las concentraciones de nitratos, nitritos y amonio son muy bajas y el fósforo total con un promedio de 0.18 mg L⁻¹. Según el valor de DBO₅ el agua es de excelente calidad, pero se clasifica como aceptable en función del valor de DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso limoso, volcánico con tendencia a la mineralización, con espacio poroso de 85%, fuertemente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica medio, nivel medio de nitrógeno total. Tipo leptosol y andosol</p>		
Vegetación:	<p>El tipo de vegetación está representado por una asociación <i>Pinus sp</i> y <i>Abies religiosa</i>, con tres estratos. El estrato alto entre 25 y 30 m está dominado por <i>Pinus pseudostrobus</i>, <i>Abies religiosa</i>. En el estrato herbáceo hay <i>lupinus sp.</i>, <i>Senecio sp.</i>, <i>Asplenium sp.</i> y <i>Arianthum sp.</i></p>		
Observaciones:	<p>Presencia de rocas andesíticas con anfíboles y riolitas. El agua que sale del manantial es llevada a las zonas más bajas mediante un canal de concreto, para posteriormente ser entubada</p>		

PALO OBISPO RÍO



Figura 2.22 Vista del Río Palo obispo y su vegetación ribereña(LCAyE, mayo-2014; septiembre-2013)

ID	39	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 543364 W	2128064 N	
Altitud:	2897 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Forestal perturbado
Pendiente del terreno:	24°	Pendiente del cauce:	4 °
Caudal promedio	0.040 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.431 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.05 m		
Características agua:	<p>La temperatura del agua mantuvo un promedio de 10 °C, con respecto a la conductividad es de buena calidad, con un promedio de 35 μS cm⁻¹. El pH promedio fue de 7.27, adecuado para usos diversos en aguas naturales y para consumo. Las aguas están bien oxigenadas con un promedio de 11.6 mg O₂ L⁻¹.</p> <p>Presenta aguas moderadamente duras, debido a la presencia principalmente de calcio, la alcalinidad es baja (38 mg CaCO₃ L⁻¹), con sólidos sedimentables (3 mL L⁻¹).</p> <p>Las concentraciones de nitratos, nitritos y amonio son muy bajas y no se detectó fósforo total, ni ortofostatos.</p> <p>Según el valor de DBO₅ y de DQO el agua es de excelente calidad.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico con tendencia a la mineralización, con espacio poroso de 85%, fuertemente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica medio, nivel medio de nitrógeno total.</p>		
Vegetación:	<p>El tipo de vegetación está representado por una asociación <i>Pinus sp</i> y <i>Abies religiosa</i>, con tres estratos. El estrato alto entre 25 y 30 m está dominado por <i>Pinus pseudostrobus</i>, <i>Abies religiosa</i>. En el estrato herbáceo hay <i>lupinus sp.</i> <i>Senecio sp.</i> <i>Asplenium sp.</i> y <i>Ariantum sp.</i></p>		
Observaciones:	<p>Presencia de rocas andesíticas, anfíboles y riolitas.</p>		

RÍO COTZALA (REPRESA)



Figura 2.23 Río Cotzala y represa inhabilitada. (LCAyE, mayo-2014)

ID	48	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 546640 W	2121193 N	.
Altitud:	2889 m		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Forestal perturbado
Pendiente del terreno:	12 °	Pendiente del cauce:	4 °
Caudal promedio	0.812 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	1.123 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	3.9 m		
Características agua:	<p>La temperatura tuvo un valor promedio de 9.5°C, con conductividad de 201 μS cm⁻¹, susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.77, adecuado para usos diversos. Buena oxigenación con un valor promedio de 7.49 mg O₂ L⁻¹.</p> <p>Aguas moderadamente duras con mayor proporción de calcio. La alcalinidad media (97 mg CaCO₃ L⁻¹) en lluvias y baja en el estiaje (57 mg CaCO₃ L⁻¹). Los sólidos sedimentables fueron de 0.5 mL L⁻¹ en el estiaje y de 1 mL L⁻¹ en las lluvias.</p> <p>Con concentraciones aceptables de nitratos, nitritos y amonio, con tendencia a su incremento en la sequía. El fósforo total tuvo una concentración promedio de 0.256 mg L⁻¹. Con agua de excelente calidad en función de la DBO₅ y aceptable en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico, con espacio poroso de 67%, fuertemente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica medio, así como niveles bajos de nitrógeno total.</p>		
Vegetación:	<p>Bosque mixto conformado por <i>Pinus sp</i> y <i>Alnus sp.</i>, el primero integra el estrato alto (20-25 m) y el segundo el estrato medio de 15 a 20 m. Presencia de <i>Sestum sp.</i>, <i>Poaceas</i> helechos, musgos y briofitas sobre las rocas.</p>		
Observaciones:	<p>El cauce se encuentra entre laderas pronunciadas, con gran abundancia de hojarasca de pino sobre el suelo. Lecho rocoso, los clastos no están redondeados y van de 1 a 0.1 m.</p>		

XOQUITITLA (Hueyacatitla)



Figura 2.24 Manantial y efluente en la zona alta de Xoquititla. (LCAYE, mayo-2014)

ID	78	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 544287 W	Cuenca	2128212 N
Altitud	2821 m.		
Cobertura del suelo:	Manantial	Uso del suelo:	Recreativo forestal
Pendiente del terreno:	29 °	Pendiente del cauce:	16°
Caudal promedio	0.006 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.18 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.79 m		
Características agua:	La temperatura promedio fue de 9.9°C, con conductividad de 56 μS cm ⁻¹ , susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 6.29, el cual rebasa el límite inferior como recomendable para vida acuática y consumo. Buena oxigenación con un valor promedio de 8.31 mg O ₂ L ⁻¹ . Aguas duras en lluvia y blandas en sequía, con mayor proporción de calcio que de magnesio. La alcalinidad baja (55.44 mg CaCO ₃ L ⁻¹). Con concentraciones bajas de nitratos, nitritos y amonio. El fósforo total con una concentración promedio de 0.24 mg L ⁻¹ . Con agua de buena calidad en función de la DBO ₅ y contaminada según la DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico, con espacio poroso de 76%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica muy alto, así como niveles bajos de nitrógeno total.		
Vegetación:	Zona de cultivo de maíz, sin vegetación ribereña.		
Observaciones:	En este sitio el caudal se divide una parte se deja correr por el cauce y otra ingresa para el cultivo de truchas.		

SAN JUAN TLALE.



Figura 2.25 Manantial entubado en la zona de Bosque mixto de San Juan. (LCAyE, junio-2014)

ID	33	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 546783 W	2125246 N	
Altitud:	2746 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Agrícola-Forestal
Pendiente del terreno:	8 °	Pendiente del cauce:	1.8 °
Caudal promedio	3.54 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	No hay corriente
Ancho del cauce promedio	*No corre agua por el cauce		
Características agua:	<p>La temperatura del agua mantuvo un promedio de 12.5°C, el agua presenta una conductividad promedio de 127.5 μS cm⁻¹, por lo que puede ser potabilizada, en época de lluvia el pH desciende hasta 5.8, por debajo del límite permisible para consumo y aumenta en promedio a 7 en la época de estiaje. El agua está bien oxigenada con un promedio de 9.3 mg O₂ L⁻¹. Presenta aguas blandas, con mayor proporción de calcio que de magnesio y alcalinidad baja (30.7 mg CaCO₃ L⁻¹) Las concentraciones de nitratos, nitritos y amonio son bajas y el fósforo total tuvo un promedio de 0.401 mg L⁻¹. De acuerdo al valor de DBO₅ el agua es de excelente calidad, pero se clasifica como aceptable en función del valor de DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico con tendencia a la mineralización, con espacio poroso de 51%, acidez moderada, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica muy bajo, bajo nivel de nitrógeno total y moderado de fósforo extractable.</p>		
Vegetación:	<p>Es un bosque mixto que se puede describir como un relicto de bosque mesófilo de montaña, con un estrato arbóreo alto (25 a 30 m) representado por <i>Quercus sp</i> y <i>Pinus ayacahuite</i> y <i>P. pseudostrobus</i>, un estrato arbóreo medio (8 a 12 m) representado por <i>Gnaphallium sp</i> y <i>Quercus sp</i>, un estrato arbustivo de 1 a 3 m y el herbáceo con 0.1 a 1 m de alto, representado por poaceas, polipodiáceas, <i>Senecio sp</i>, <i>Senecio anguillifolius.</i>, <i>Eupatorium sp</i>, <i>Cestrum sp</i>, <i>Adiantum sp</i>, <i>Bacharis sp</i>, <i>Salvia sp</i>, y algunas epífitas.</p>		
Observaciones:	<p>La cañada tiene una orientación de SW a NE. En este sitio el agua no corre ya, por el cauce de manera natural, a menos que haya un exceso o sea reciente un evento de precipitación pluvial. El agua viene entubada desde el manantial y desemboca en una caja para seguir entubada su trayectoria y distribución hacia el poblado. El cálculo del caudal se realizó llenando una cubeta y midiendo su volumen y el tiempo de llenado en no menos de 5 repeticiones.</p>		

ATZOMACO



Figura 2.26 Río Cotzala en el paraje Atzomaco, vista superior y desembocadura. (LCyE, septiembre-2013, mayo-2014)

ID	15	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 544111 W	2112074 N	
Altitud:	2744 m.		
Cobertura del suelo:	Manantial	Uso del suelo:	Forestal perturbado
Pendiente del terreno:	23.8 °	Pendiente del cauce:	43°
Caudal promedio	0.0214 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.750 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.80 m		
Características agua:	La temperatura del agua tuvo un valor promedio de 9.6°C, con agua de calidad aceptable para ser potabilizada, según su conductividad promedio (49.5 μS cm ⁻¹). Con pH promedio de 6.35, ya que rebasa el límite permisible inferior de 6.5 para aguas naturales y para consumo humano, en la época lluviosa. La concentración promedio de oxígeno disuelto fue de 8.3 mg O ₂ L ⁻¹ . El sistema presentó aguas moderadamente duras, con proporciones similares de calcio y magnesio; la alcalinidad fue baja (49.2 mg CaCO ₃ L ⁻¹). Las concentraciones de nitrógeno y fósforo se mantuvieron bajas, pero se incrementaron en la época de lluvias. La calidad del agua fue excelente según la DBO ₅ , y aceptable en función de la DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico con bajo porcentaje de humedad, espacio poroso de 66%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica media, nivel bajo de nitrógeno total.		
Vegetación:	Bosque mixto de <i>Pinus</i> sp y <i>Quercus</i> sp., con cuatro estratos: Arbóreo alto: con 25 – 35 m, representado por <i>Pinus teocote</i> ; Arbóreo medio: con 15 – 20 m representado por <i>Quercus laurina</i> y <i>Cletra</i> sp.; Arbóreo bajo: con 8 m de alto representado por <i>Alnus</i> sp y <i>Arbutus</i> sp (madroño) y el estrato Arbustivo: con 1 – 6 m representado por <i>Cestrum</i> sp, <i>Bacharis</i> sp, <i>Eupatorium</i> sp, <i>Senecio</i> sp, <i>Salvia</i> sp, <i>Melastomataceae</i> , <i>Poaceae</i> , helechos y hepáticas. Abundancia de briofitas en el cauce.		
Observaciones:	El flujo nace en el Norte a Sur y modifica su trayectoria hacia el este. El fondo del cauce es pedregoso con rocas entre 1 y 5 cm de diámetro. Las orillas del cauce tienen clastos de 10 – 30 cm de diámetro.		

SANTA RITA TLAHUAPAN MANANTIAL



Figura 2.27 Efluente que emana del manantial de Santa Rita Tlahuapan para abastecer al poblado.
(LCAyE, marzo, septiembre-2014)

ID	61	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 541692 W	2136988 N	
Altitud:	2739 m.		
Cobertura del suelo:	Manantial	Uso del suelo:	Forestal perturbado
Pendiente del terreno:	9.6 °	Pendiente del cauce:	1.9 °
Caudal promedio	0.040 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.236 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.0 m		
Características agua:	La temperatura promedio fue de 13°C, con conductividad de 88.5 μS cm ⁻¹ , susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 6.03 más ácido de lo recomendable para usos diversos. Oxigenación limitada con un valor promedio de 6.02 mg O ₂ L ⁻¹ . Aguas muy duras con mayor proporción de calcio que de magnesio. La alcalinidad baja (65 mg CaCO ₃ L ⁻¹). Sin sólidos sedimentables. Con concentraciones bajas de nitratos y nitritos, pero altas concentraciones de amonio, que rebasan los límites permisibles de consumo. El fósforo total tuvo una concentración promedio de 0.123 mg L ⁻¹ . Con agua de excelente calidad en función de la DBO ₅ y contaminada en función de la DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico, con espacio poroso de 71%, fuertemente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica medio, así como niveles bajos de nitrógeno total.		
Vegetación:	La vegetación arbórea está representada por <i>Pinus sp.</i> , <i>Abies religiosa</i> , <i>Quercus sp.</i> y <i>Cupressus sp.</i> , con presencia en el estrato herbáceo de gramíneas, equisetos, helechos, musgos y vegetación acuática.		
Observaciones:	Este manantial es una de las principales fuentes de agua, para la población de Santa Rita, se encuentra en un afloramiento rocoso de riolita y andesita.		

SANTA RITA TLAHUAPAN I



Figura 2.28. Afluente en Santa Rita Tlahuapan antes de llegar a la zona agrícola. (LCAyE, septiembre-2013)

ID 60		Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 541723 W	2136988 N	
Altitud:	2739 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo: Forestal perturbado	
Pendiente del terreno:	3.1 °	Pendiente del cauce:	14.3 °
Caudal promedio	0.040 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.236 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.4 m		
Características agua:	<p>La temperatura promedio fue de 12.5°C, con conductividad de 102 $\mu\text{S cm}^{-1}$, susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.15, adecuado para usos diversos. Oxigenación limitada con un valor promedio de 6.02 mg O₂ L⁻¹.</p> <p>Aguas muy duras con mayor proporción de calcio que de magnesio. La alcalinidad baja (65 mg CaCO₃ L⁻¹). Sin sólidos sedimentables. Con concentraciones bajas de nitratos y nitritos, pero altas concentraciones de amonio, que rebasan los límites permisibles de consumo. El fósforo total tuvo una concentración promedio de 0.123 mg L⁻¹. Con agua de excelente calidad en función de la DBO₅ y contaminada en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico, con espacio poroso de 71%, fuertemente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica medio, así como niveles bajos de nitrógeno total.</p>		
Vegetación:	<p>La vegetación arbórea está representada por <i>Pinus sp.</i>, <i>Abies religiosa</i> y <i>Cupressus sp.</i>, con presencia en el estrato herbáceo de <i>Tagetes sp.</i></p>		

RÍO COTZALA 2 (HIDROELÉCTRICA)



Figura 2.29 Río Cotzala en la zona de la hidroeléctrica y el canal de derivación. (LCyE, noviembre-2014)

ID	49	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 548299 W	2121794 N	.
Altitud:	2720 m		
Cobertura del suelo:	Agrícola	Uso del suelo:	Agropecuario
Pendiente del terreno:	10°	Pendiente del cauce:	3.4 °
Caudal promedio	0.042 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.43 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.66 m		
Características agua:	<p>La temperatura tuvo un valor promedio de 10°C, con conductividad de 127.5 $\mu\text{S cm}^{-1}$, susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.14 en lluvias y de 6.05 en estiaje, este último rebasando el límite inferior permisible. Buena oxigenación con un valor promedio de 7.74 mg O₂ L⁻¹. Aguas blandas en lluvias y moderadamente duras con proporción similar de calcio y magnesio. La alcalinidad fue media (78 mg CaCO₃ L⁻¹) en lluvias y baja en el estiaje (25 mg CaCO₃ L⁻¹), sin sólidos sedimentables. Con concentraciones aceptables de nitratos, nitritos y amonio. El fósforo total tuvo una concentración promedio de 0.244 mg L⁻¹. Con agua de excelente calidad en función de la DBO₅ y la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico, con espacio poroso de 62%, fuertemente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica medio, así como niveles bajos de nitrógeno total.</p>		
Vegetación:	<p>Bosque mixto conformado por <i>Pinus sp</i> y <i>Alnus sp.</i>, el primero integra el estrato alto (20-25 m) y el segundo el estrato medio de 15 a 20 m. Presencia de <i>Equisetum sp.</i>, <i>Sestum sp.</i>, <i>Poaceas</i> helechos, musgos y briofitas sobre las rocas.</p>		
Observaciones:	<p>El cauce se encuentra entre orillas no consolidadas con gran cantidad de materia orgánica, abundancia de hojarasca de pino en el mantillo. Lecho rocoso, los clastos grandes, medianos y pequeños. Zona con rocas andesitas y riolitas.</p>		

XOPALLICAN



Figura 2.30 Canal que conduce el agua desviada del arroyo para el cultivo de truchas.
(LCAyE, septiembre-2013)

ID	76	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 547755 W	2130162 N	
Altitud:	2545 m.		
Cobertura del suelo:	Agrícola	Uso del suelo:	Agropecuario
Pendiente del terreno:	4 °	Pendiente del cauce:	6°
Caudal promedio	0.2 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.2 m seg ⁻¹
Ancho del canal promedio	0.7 m		
Características agua:	La temperatura promedio fue de 14.6°C, con conductividad de 58 μS cm ⁻¹ , susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.87, adecuado para usos diversos. Buena oxigenación con un valor promedio de 7.76 mg O ₂ L ⁻¹ . Aguas muy duras con mayor proporción de calcio que de magnesio. La alcalinidad baja (46 mg CaCO ₃ L ⁻¹). Con concentraciones superiores de nitratos, nitritos y amonio. El fósforo total con una concentración promedio de 0.14 mg L ⁻¹ . Con agua de buena calidad en función de la DBO ₅ y contaminada de acuerdo con la DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico, con espacio poroso de 63%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica bajo, así como niveles bajos de nitrógeno total y de fósforo total.		
Vegetación:	Zona de cultivo de maíz, sin vegetación ribereña.		
Observaciones:	En este sitio el caudal fue desviado previamente y llega en un pequeño canal de concreto, a unos tres metros se encuentra la barranca seca, por la que debe fluir. El agua de este canal riega un cultivo de maíz y se utiliza para realizar un cultivo trutícola.		

XOPALLICAN II



Figura 2.31 Caudal que sale después de haber sido utilizado en el cultivo trufícola.
(LCAYE, mayo-2014)

ID	77	70	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 548013 W	2130378 N		
Altitud:	2534 m.			
Cobertura del suelo:	Agrícola	Uso del suelo:	Agropecuario	
Pendiente del terreno:	6 °	Pendiente del cauce:	4.5°	
Caudal promedio	0.267 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	13.86 m seg ⁻¹	
Ancho del cauce promedio	0.46 m			
Características agua:	La temperatura promedio fue de 15.6°C, con conductividad de 59 μS cm ⁻¹ , susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.14, adecuado para usos diversos. Buena oxigenación con un valor promedio de 7.17 mg O ₂ L ⁻¹ . Aguas muy duras durante las lluvias y blandas en sequía, con mayor proporción de calcio que de magnesio. La alcalinidad baja (47 mg CaCO ₃ L ⁻¹). Con concentraciones medias de nitratos y nitritos; sin embargo, el amonio rebasa los límites establecidos para consumo y adecuada vida acuática. El fósforo total con una concentración promedio de 0.21 mg L ⁻¹ . Con agua de excelente calidad en función de la DBO ₅ y contaminada conforme la DQO.			
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico, con espacio poroso de 63%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica bajo, así como niveles bajos de nitrógeno total y de fósforo total.			
Vegetación:	Zona de cultivo de maíz, sin vegetación ribereña.			
Observaciones:	La muestra de este sitio emana del cultivo de truchas y tiene un caudal considerable con gran velocidad, debido al sistema de circulación para aireación del cultivo.			

IXOALCO 1



Figura 2.32 Afluente en la localidad de Ixoalco antes del cultivo de trucha establecido en el lugar. (LCAYE, agosto-2014)

ID	30	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 537049 W	2091912 N	.
Altitud:	2536 m		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Recreativo-Forestal
Pendiente del terreno:	6 °	Pendiente del cauce:	4.1 °
Caudal promedio	0.069 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.311 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.92 m		
Características agua:	<p>La temperatura del agua mantuvo un promedio de 12.5°C, según su conductividad puede ser potabilizada, con promedio de 116.5 $\mu\text{S cm}^{-1}$. El pH promedio de 6.76 es adecuado para los diferentes usos con tendencia a la acidez. Con buen nivel de oxígeno disuelto promedio de 7.74 mg O₂ L⁻¹.</p> <p>Presenta aguas duras, con mayor proporción de calcio que de magnesio y alcalinidad media en lluvias (82.4 mg CaCO₃ L⁻¹) y baja en estiaje (62.6 mg CaCO₃ L⁻¹), con sólidos sedimentables promedio de 0.1 mL L⁻¹</p> <p>Las concentraciones de nitratos, nitritos y amonio son bajas y el fósforo total con un promedio de 0.207 mg L⁻¹.</p> <p>Con respecto al valor de DBO₅ el agua es de excelente calidad, pero se clasifica como contaminada en función del valor de DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico con tendencia a la mineralización, con espacio poroso de 58%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica muy bajo, nivel bajo de nitrógeno total.</p>		
Vegetación:	<p>La vegetación principal y <i>Pinus sp.</i> y <i>Abies religiosa</i>, <i>Salvia elegans</i>, <i>Senecio sp</i>, helechos y gran variedad de herbáceas</p>		
Observaciones:	<p>Este sitio está ubicado cerca de un camino y antes de que parte del caudal sea utilizado para el cultivo de trucha.</p>		

IXOALCO 2



Figura 2.33 Cauce del arroyo en Ixoalco después de las instalaciones del cultivo trutícola. (LCAyE, diciembre-2013; agosto 2014)

ID	31	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 537240 W	2091908 N	
Altitud:	2504 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Recreativo-Forestal
Pendiente del terreno:	6 °	Pendiente del cauce:	6.02 °
Caudal promedio	0.069 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.311 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.075 m		
Características agua:	La temperatura del agua mantuvo un promedio de 12.5°C, con conductividad promedio de 116.5 μS cm ⁻¹ , susceptible de ser potabilizada, con un pH promedio 6.76 adecuado para los diferentes usos con tendencia a la acidez. Con oxígeno disuelto promedio de 8.88 mg O ₂ L ⁻¹ . Presenta aguas duras, con proporción similar de calcio y magnesio y alcalinidad media (72.67mg CaCO ₃ L ⁻¹), con sólidos sedimentables promedio de 0.2 mL L ⁻¹ . Las concentraciones de nitratos, nitritos y amonio son bajas y el fósforo total con un promedio de 0.207 mg L ⁻¹ . De acuerdo con el valor de DBO ₅ el agua es de excelente calidad, pero se clasifica como contaminada en función del valor de DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico con tendencia a la mineralización, con espacio poroso de 58%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica muy bajo, nivel bajo de nitrógeno total.		
Vegetación:	El estrato arbóreo está conformado principalmente por <i>Pinus</i> y <i>Abies</i> , con abundante vegetación arbustiva y herbácea.		
Observaciones:	Este sitio está ubicado cerca de un camino y después de que parte del caudal fue utilizado para el cultivo de trucha.		

RÍO ALSESECA - CALPAN



Figura 2.34 Río Alseeca al salir de Calpan con apariencia muy contaminada. (LCaYE, febrero, octubre-2014)

ID	46	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 556172 W	2111642 N	
Altitud:	2419 m.		
Cobertura del suelo:	Urbana	Uso del suelo:	Urbano
Pendiente del terreno:	1.5°	Pendiente del cauce:	2°
Caudal promedio	0.269 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.475 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.5 m		
Características agua:	<p>La temperatura tuvo un valor promedio de 14.5°C, con conductividad media (308 μS cm⁻¹), pero susceptible de ser potabilizada; con pH promedio de 7.99, adecuado para los diferentes usos. Con oxigenación deficiente, en el estiaje con un valor promedio de 3.8 mg O₂ L⁻¹ y buena en las lluvias con promedio de 8.3 mg O₂ L⁻¹. Aguas muy duras en el estiaje y blandas en la época de lluvia en ambas con dominio del calcio. Alcalinidad media en la época seca (130 mg CaCO₃ L⁻¹) y baja en las lluvias (37 mg CaCO₃ L⁻¹). En este sitio aumentan las concentraciones del nitrógeno, de los nitratos en límites adecuados, lo que no sucede con el amonio que se incrementa a 7.5 mg N-NH₄⁺ L⁻¹ en el estiaje, rebasando los límites permisibles. Concentración de fósforo total son ligeramente mayores en el estiaje y el promedio es de 0.724 mg L⁻¹. La DBO₅ indica buena calidad, mientras que la DQO, señala agua fuertemente contaminada.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, con espacio poroso de 51.74%, moderadamente ácido, con baja salinidad. Porcentaje de materia orgánica bajo, así como niveles bajos de nitrógeno total y de fósforo disponible.</p>		
Vegetación:	<p>Está es una zona de cultivo de maíz en uno de los flancos y en el otro la zona urbana del pueblo de Calpan. El estrato herbáceo se encontró predominancia de <i>Acacia sp.</i></p>		
Observaciones:	<p>En el cauce hay basura, escombros y desechos vegetales.</p>		

SAN FELIPE TEOTLALCINGO 1 MANATIAL



Figura 2.35 Manantial de gran dimensión en la zona Agrícola-Urbana de San Felipe Teotlalcingo. (LCAyE, marzo-2014)

ID	53	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 553271 W	2127456 N	
Altitud:	2388 m.		
Cobertura del suelo:	Manantial	Uso del suelo:	Agropecuario
Pendiente del terreno:	2 °	Pendiente del cauce:	1.5 °
Caudal promedio	0.065 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.16 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.9 m		
Características agua:	<p>La temperatura promedio fue de 14.5°C, con conductividad de 111 μS cm⁻¹, susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 6.17, adecuado para usos diversos. Buena oxigenación con un valor promedio de 7.9 mg O₂ L⁻¹. Aguas blandas con mayor proporción de calcio. La alcalinidad baja (46.9 mg CaCO₃ L⁻¹). Sin sólidos sedimentables.</p> <p>Con concentraciones aceptables de nitratos, nitritos y amonio, con tendencia a su incremento en la lluvia. El fósforo total tuvo una concentración promedio de 0.352 mg L⁻¹. Con agua de excelente calidad en estiaje y con calidad aceptable en lluvias en función de la DBO₅ y contaminada en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Arenoso, con tendencia mineral francosa según su densidad aparente, con espacio poroso de 55%, moderadamente ácido, muy ligeramente salino. Porcentaje de materia orgánica muy bajo, así como niveles bajos de nitrógeno total.</p>		
Vegetación:	<p>El manantial se encuentra inmerso en una zona de cultivo, protegido por un muro de piedra. La vegetación ribereña fue removida en su totalidad para actividades agrícolas. Los árboles que se encuentran más cercanos son <i>Alnus sp.</i>, y frutales como perales, manzanos, ciruelos, duraznos y capulines. Presencia de <i>Cletra sp.</i> y <i>Garrya sp.</i></p>		
Observaciones:	<p>La zona es completamente de agricultura. El manantial está rodeado, a modo de protección, por un empedrado</p>		

SAN FELIPE TEOTLALCINGO 2



Figura 2.36 Río que fluye por un canal semirústico entre las parcelas agrícolas en San Felipe. (LCAYE, marzo, septiembre-2014)

ID	54	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 553301W	2127460 N	
Altitud	2386 m		
Cobertura del suelo:	Agrícola	Uso del suelo:	Urbano
Pendiente del terreno:	2 °	Pendiente del cauce:	3.6 °
Caudal promedio	0.03 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.375 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	3.07 m		
Características agua:	La temperatura promedio fue de 12.5°C, con conductividad de 289 μS cm ⁻¹ , susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 6.97, adecuado para usos diversos. Buena oxigenación con un valor promedio de 5.1 mg O ₂ L ⁻¹ . Aguas blandas en lluvias y duras en estiaje, ambas con mayor proporción de calcio. La alcalinidad baja (21 mg CaCO ₃ L ⁻¹) en lluvias y media en el estiaje (145 mg CaCO ₃ L ⁻¹). Los sólidos sedimentables fueron de 0.1 mL L ⁻¹ . Con concentraciones bajas de nitratos, nitritos y amonio, con tendencia a un ligero incremento en lluvia. El fósforo total tuvo una concentración promedio de 0.260 mg L ⁻¹ . Con agua de excelente calidad en la sequía y de buena calidad en época de lluvia, función de la DBO ₅ y aceptable en función de la DQO.		
Características del suelo	Arenoso, con espacio poroso de 57%, moderadamente ácido, muy ligeramente salino. Porcentaje de materia orgánica muy bajo, así como niveles bajos de nitrógeno total.		
Vegetación:	Zona agrícola con estrato arbóreo conformado por <i>Alnus sp.</i> , <i>Quercus sp.</i> , perales, manzanos, duraznos y capulines, el cultivo principal en la zona es la milpa, hay presencia de <i>Cletra sp.</i> , <i>Salvia sp.</i> y <i>Garrya sp.</i>		
Observaciones:	El arroyo proviene de las zonas de cultivo, su apariencia olor y color es desagradable, transporta basura (pet, textiles, otros plásticos, etc.) La orilla del cauce está medianamente consolidada, por el crecimiento de pastos.		

SAN FELIPE TEOTLALCINGO 3 (Asilo)



Figura 2.37 Vista del río contaminado que sale de San Felipe Teotlalcingo y pasa junto al asilo. (LCAyE, marzo, septiembre 2014)

ID	52	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 553435 W	2127623 N	
Altitud:	2380 m.		
Cobertura del suelo:	Agrícola	Uso del suelo:	Urbano
Pendiente del terreno:	2 °	Pendiente del cauce:	2.3 °
Caudal promedio	0.131 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.45 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	4.1 m		
Características agua:	La temperatura promedio fue de 13.9°C, con conductividad de 171 μS cm ⁻¹ , susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.2, adecuado para usos diversos. Buena oxigenación con un valor promedio de 7.75 mg O ₂ L ⁻¹ . Aguas blandas con proporción similar de calcio y magnesio. La alcalinidad baja (27 mg CaCO ₃ L ⁻¹) en lluvias y media en el estiaje (80 mg CaCO ₃ L ⁻¹). Los sólidos sedimentables fueron de 1 mL L ⁻¹ . Con concentraciones aceptables de nitratos, nitritos y amonio, con tendencia a su incremento en la lluvia. El fósforo total tuvo una concentración promedio de 0.486 mg L ⁻¹ . Con agua de excelente calidad en función de la DBO ₅ y contaminada en función de la DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, con tendencia mineral arcillosa, con espacio poroso de 57%, moderadamente ácido, muy ligeramente salino. Porcentaje de materia orgánica muy bajo, así como niveles bajos de nitrógeno total.		
Vegetación:	Zona agrícola con estrato arbóreo conformado por <i>Alnus sp.</i> , <i>Quercus sp.</i> , perales, manzanos, duraznos y capulines, con maíz como cultivo principal. En la vegetación ribereña está representada con <i>Cletra sp.</i> , abundante <i>Garrya sp.</i>		
Observaciones:	El río es alimentado por 3 fuentes, un canal proveniente de los campos de cultivo, un afluente que proviene de la zona urbana y de cultivo y el agua del manantial que se encuentra 100 m antes. En el hemos observado basura (plástico, vidrio, textiles, llantas, etc.), animales muertos, restos de vegetales que son lavados aguas arriba. la orilla sur del cauce no está consolidada y la norte lo está parcialmente con presencia de gramíneas. En el cauce hay afloramientos rocosos redondeados, así como la presencia de riolitas y andesitas con alto grado de oxidación.		

CALPAN AMEYAL



Figura 2.38 Manantial en la Cañada de la Amargura, donde los pobladores llenan sus garrafones para consumo. (LCAyE, febrero-2014)

ID	22	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 556695 W	2113392 N	
Altitud:	2347 m.		
Cobertura del suelo:	Manantial	Uso del suelo:	Urbano
Pendiente del terreno:	18°	Pendiente del cauce:	1.5 °
Caudal promedio	0.0031 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.310 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	2.0 m		
Características agua:	La temperatura del agua en promedio fue de 15.5°C, según la conductividad promedio (200 µS cm ⁻¹) se puede ver que, si hay concentración salina, pero el agua puede ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.38, adecuado para los diferentes usos. La concentración promedio de oxígeno disuelto fue de 6.7 mg O ₂ L ⁻¹ , el agua que sale del manantial por el tubo tiene tuvo entre 4.2 y 4.9 mg O ₂ L ⁻¹ y el agua que sale del manantial y corre por el cauce entre 7.4 y 10.08 mg O ₂ L ⁻¹ . Las aguas fueron muy duras en estiaje y blandas en época de lluvia, con gran proporción de calcio y alcalinidad media (88.3 mg CaCO ₃ L ⁻¹), con sólidos sedimentables en concentración de 0.1 mL L ⁻¹ . Los nitratos se incrementan notablemente en la época de lluvia y el amonio se incrementa en el estiaje, en ningún caso rebasan lo establecido en los límites permisibles. El fósforo total se mantuvo de manera similar en las dos épocas (0.776 mg L ⁻¹). Con excelente calidad conforme a la DBO ₅ , pero contaminada en función de la DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico con espacio poroso de 58.24%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica muy bajo y nivel bajo de nitrógeno total.		
Vegetación:	Bosque mixto de <i>Pinus sp</i> y <i>Quercus sp.</i> , con presencia de <i>Buddleja sp.</i> , <i>Cletra sp</i> y <i>Cestrum sp.</i>		
Observaciones:	Es una cañada con acceso desde una calle pavimentada en el centro de Calpan. Hay manantiales, uno de ellos tiene un tubo donde la mayoría de las personas van a llenar sus garrafones de agua para consumo propio y otros se incorporan su flujo al cauce, en ambos se tomaron las muestras para conocer las propiedades del agua.		

SAN SIMÓN ATZIZINTLA



Figura 2.39 Vista del río contaminado en San Simón y el lavado de productos agrícolas. (LCAYE, junio, 2014)

ID	59	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 555835 W	2129956 N	
Altitud:	2314 m.		
Cobertura del suelo:	Agrícola	Uso del suelo: Urbano	
Pendiente del terreno:	6 °	Pendiente del cauce:	2.5 °
Caudal promedio	0.36 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.58 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	2.35 m		
Características agua:	La temperatura promedio fue de 15°C, con conductividad de 199 μScm ⁻¹ , susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 6.83, adecuado para usos diversos. Buena oxigenación con un valor promedio de 6.67 mg O ₂ L ⁻¹ . Aguas moderadamente duras con proporción similar de calcio y magnesio. La alcalinidad fue media (138 mg CaCO ₃ L ⁻¹) en la época de lluvia y baja (30.9 mg CaCO ₃ L ⁻¹) en la época de estiaje. Sólidos sedimentables 0.7 mL L ⁻¹ . Con concentraciones aceptables de nitratos, nitritos y amonio, en la época de lluvia, pero con incrementos muy fuertes sobre todo para el amonio en la sequía, donde rebasa los límites permisibles y genera riesgo para la vida acuática. El fósforo total tuvo una concentración promedio alta de 1.26 mg L ⁻¹ . Con agua de buena calidad en función de la DBO ₅ y aceptable en función de la DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, con espacio poroso de 51%, moderadamente ácido, muy ligeramente salino. Porcentaje de materia orgánica muy bajo, así como niveles bajos de nitrógeno total y fósforo. Los suelos agrícolas muestran alta pedregosidad superficial.		
Vegetación:	El estrato arbóreo está representado por <i>Quercus sp</i> , <i>Alnus sp</i> , <i>Prunus capulí</i> como vegetación secundaria. En el estrato herbáceo se encontraron <i>Senecio sp</i> , <i>Salvia sp</i> y leguminosas. La vegetación ribereña es secundaria. Los cultivos de la zona son principalmente amaranto y maíz. El suelo del ambiente ribereño está cubierto de césped con un espesor de 1 m.		

SAN RAFAEL TLANALAPAN – II



Figura 2.40 Vista del arroyo muy contaminado de San Rafael Tlanalapa después del cruce carretero. (LCAyE, junio, noviembre-2014)

ID	58	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 556617 W	2133356 N	
Altitud:	2279 m.		
Cobertura del suelo:	Urbana	Uso del suelo:	Urbano
Pendiente del terreno:	2 °	Pendiente del cauce:	1.1 °
Caudal promedio	0.64 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.35 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.20 m		
Características agua:	La temperatura promedio fue de 18°C, con conductividad de 664 μS cm ⁻¹ , susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.28, adecuado para usos diversos. Deficiente oxigenación con un valor promedio de 1.3 mg O ₂ L ⁻¹ . Aguas moderadamente duras con mayor proporción de calcio. La alcalinidad media (135 mg CaCO ₃ L ⁻¹) en estiaje y alta (189 mg CaCO ₃ L ⁻¹) en lluvias. Los sólidos sedimentables tuvieron un promedio de 0.4 mL L ⁻¹ . Con concentraciones muy altas de nitratos, y amonio, rebasando los límites permisibles para consumo. El fósforo total tuvo una concentración promedio de 2.34 mg L ⁻¹ . Con agua de excelente calidad en función de la DBO ₅ y en función de la DQO, fuertemente contaminada en el estiaje y contaminada en la época lluviosa.		
Características del suelo	Franco arenoso, con espacio poroso de 50%, moderadamente ácido, muy ligeramente salino. El suelo es de tipo fluvisol, con bajo contenido de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo extractable.		
Vegetación:	La estructura de la vegetación está conformada por tres estratos: el arbóreo, con 8-10 m de altura, representado por pirul, álamo, <i>Alnus sp</i> y laurel; el Arbustivo: 2-4 m de altura, compuesto por higuera y <i>Cupressus sp</i> ; y el herbáceo: 0.5-1 m de altura representado con ricino y pastos. La presencia de vegetación ribereña es casi nula, solo hay pasto sobre la ribera.		
Observaciones:	Este arroyo, corre muy sucio a simple vista con desechos sólidos tales como plástico, textiles, vidrio, sanitarios, inclusive animales muertos, el agua tiene olor fétido y color oscuro, con espuma evidente por la presencia de jabones. La orilla del cauce está consolidada por compactación del suelo y gramíneas. La zona ribereña está drásticamente afectada por el uso intensivo como pastoreo de pequeños animales como cabras y borregos. El cauce ha sido impactado por dos vías de comunicación que representan un serio daño a la estructura de la zona ribereña y los asentamientos que se encuentran prácticamente dentro de la zona ribereña.		

SAN RAFAEL TLANALAPAN MANANTIAL



Figura 2.41 Manantial a un costado del centro de San Rafael.
(LCAyE, septiembre-2013)

ID	56	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 554450 W	2133872 N	
Altitud:	2275 m.		
Cobertura del suelo:	Manantial	Uso del suelo:	Urbano
Pendiente del terreno:	10 °	Pendiente del cauce:	1.2 °
Caudal promedio	0.004 m seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.4 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.27 m		
Características agua:	<p>La temperatura promedio fue de 15.8°C, con conductividad de 219 $\mu\text{S cm}^{-1}$, susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 6.69, adecuado para usos diversos. Buena oxigenación con un valor promedio de 6.33 mg O₂ L⁻¹.</p> <p>Aguas moderadamente duras con proporción similar de calcio y magnesio en estiaje y aguas muy duras con baja proporción de calcio en las lluvias. La alcalinidad fue media (111.9 mg CaCO₃ L⁻¹). Sin sólidos sedimentables.</p> <p>Con concentraciones aceptables de nitratos, nitritos y amonio, registrándose un incremento de nitratos en el estiaje. El fósforo total tuvo una concentración promedio de 0.119 mg L⁻¹. Con agua de buena calidad en función de la DBO₅ y en función de la DQO, aceptable en el estiaje y contaminada en la época lluviosa.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, con espacio poroso de 52%, moderadamente ácido, muy ligeramente salino. Porcentaje de materia orgánica muy bajo, así como niveles bajos de nitrógeno total y fósforo.</p>		
Vegetación:	<p>El estrato arbóreo está representado por <i>Alnus sp.</i> y <i>Quercus sp.</i>. La presencia de vegetación ribereña es mínima.</p>		
Observaciones:	<p>Es un manantial rodeado por una estructura de concreto, que permite la salida del agua por un tubo que conecta directamente al río contaminado. El sitio está inmerso en el centro del pueblo y en el área hay cultivos agrícolas y una residencia, que utiliza en ocasiones el agua del manantial para alimentar su alberca.</p>		

SAN RAFAEL TLANALAPAN - RÍO



Figura 2.42 Río a dos cuadros del Centro de San Rafael Tlanalapa. (LCAyE, septiembre-2013, febrero-2014)

ID	57	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 554450 W	2133872 N	
Altitud:	2275 m		
Cobertura del suelo:	Agrícola	Uso del suelo:	Urbano
Pendiente del terreno:	10 °	Pendiente del cauce:	3 °
Caudal promedio	0.038 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.23 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.4 m		
Características agua:	<p>La temperatura promedio fue de 15.9°C, con conductividad en lluvia de 172 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y en sequía de 707 $\mu\text{S cm}^{-1}$ susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.11, adecuado para usos diversos. Deficiente oxigenación con un valor promedio de 5.2 mg O₂ L⁻¹.</p> <p>Aguas duras en estiaje y muy duras en lluvias, con mayor proporción de calcio que de magnesio. La alcalinidad fue media (125 mg CaCO₃ L⁻¹) en lluvias y alta (260 mg CaCO₃ L⁻¹) en estiaje. Con 0.65 mL L⁻¹ de sólidos sedimentables en promedio.</p> <p>Con concentraciones aceptables de nitratos y muy altas de nitritos y amonio, rebasando los límites permisibles para consumo. El fósforo total tuvo una concentración promedio de 0.392 mg L⁻¹. Con agua de buena calidad en estiaje y aceptable en lluvias en función de la DBO₅ y conforme a los valores de la DQO, se encuentra contaminada en la época lluviosa y muy contaminada en el estiaje.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, con espacio poroso de 52%, moderadamente ácido, muy ligeramente salino. Porcentaje de materia orgánica muy bajo, así como niveles bajos de nitrógeno total.</p>		
Vegetación:	<p>El estrato arbóreo está representado por <i>Alnus sp.</i> y <i>Quercus sp.</i> La presencia de vegetación ribereña es mínima.</p>		
Observaciones:	<p>El río transporta mucha basura, inorgánica y tiene apariencia (olor y color) desagradable a pesar de que 50 m antes y en el sitio de muestreo recibe aportes de agua de los manantiales.</p>		

DISTRITO ATOYAC-ZAHUAPAN



Figura 2.43 Vista del río y el canal en la zona de confluencia y tratamiento Atoyac-Zahuapan. (LCAyE, noviembre-2014)

ID	26	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 561239 W	2132340 N	
Altitud:	2243 m.		
Cobertura del suelo:	Urbana	Uso del suelo: Urbano	
Pendiente del terreno:	2°	Pendiente del cauce:	1.4 °
Caudal promedio	13.35 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.794 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	2.8 m		
Características agua:	<p>La temperatura tuvo un valor promedio de 17.9°C, con conductividad elevada (450 μS cm⁻¹); con un pH promedio de 7.18, adecuado para los diferentes usos. Con oxigenación deficiente, con un valor promedio de 3.2 mg O₂ L⁻¹.</p> <p>Aguas moderadamente duras, con mayor proporción de calcio en la época de lluvias y similar al magnesio en el estiaje; con alcalinidad media (78 mg CaCO₃ L⁻¹).</p> <p>Las concentraciones de nitratos y amonio son muy altas y rebasan los límites permisibles para consumo. La concentración de fósforo es de 2.35 mg L⁻¹. El agua según la DBO₅ es de buena calidad, pero contaminada en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	Suelo muy contaminado con residuos sólidos y construcción de canales de concreto y represa		
Vegetación:	El río se encuentra dentro de la zona urbana y únicamente en la zona ribereña hay vegetación escasa, <i>Alnus sp.</i> en el estrato arbóreo, la vegetación ribereña se encuentra perturbada por desechos de diferentes tipos vidrio, textiles, plástico, llantas, aluminio, residuos sanitarios, de comida, etc.		
Observaciones:	El río es adyacente a los asentamientos urbanos, cruza directamente con varias vías de transporte terrestre, se localiza junto a una planta de tratamiento de agua de San Martín Texmelucan. Antes del punto de muestreo se encuentra una poza de oxidación, la cual está severamente contaminada con residuos sólidos visibles.		

SN. BALTAZAR ATLIMEYAYA ARROYO



Figura 2.44. Río de San Baltazar Atlimeyaya con uso agropecuario. Visto desde dos puntos diferentes. (LCAyE, diciembre-2013; agosto-2014)

ID 1		Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 554529 W	2099704 N	
Altitud:	2199 m		
Cobertura del suelo:	Agrícola	Uso del suelo:	Agropecuario
Pendiente del terreno:	8°	Pendiente del cauce:	6 °
Caudal promedio	0.064 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.342 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	2.5 m		
Características agua:	<p>La temperatura del agua tuvo en promedio 13.3°C, con conductividad promedio de 183 $\mu\text{S cm}^{-1}$, se puede ver que, si hay concentración salina, pero el agua puede ser potabilizada. El pH promedio fue de 6.68, adecuado para los diferentes usos. La concentración promedio de oxígeno disuelto fue de 6 mg O₂ L⁻¹.</p> <p>Las aguas fueron muy duras en estiaje y blandas en época de lluvia, con gran proporción de calcio y alcalinidad media (102.8 mg CaCO₃ L⁻¹). El nivel de nitrógeno y fósforo es bajo, pero ambos se incrementan en la época lluviosa los nitratos, el amonio, los ortofosfatos y el fósforo total.</p> <p>Con excelente calidad con respecto a la DBO₅, pero contaminada en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico con espacio poroso de 63%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica bajo, nivel bajo de nitrógeno total.</p>		
Vegetación:	<p>En el estrato arbóreo alto tenemos la presencia de algunos ahuehuetes, y en el estrato medio de <i>Alnus sp.</i> Además, encontramos helechos diversos y <i>Salix</i></p>		

SN. BALTAZAR ATLIMEYAYA MANANTIAL



Figura 2.45 Vista del Manantial y su efluente en Atlimeyaya. (LCAyE, agosto, 2014)

ID	2	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 554440 W	2099623 N	
Cobertura del suelo:	Manantial	Uso del suelo:	Agropecuario
Altitud:	2198 m.		
Pendiente del terreno:	5°	Pendiente del cauce:	11°
Caudal promedio	0.023 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.141 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.85 m		
Características agua:	<p>La temperatura del agua tuvo en promedio 12.9°C, según la conductividad promedio de 192 $\mu\text{S cm}^{-1}$, el agua puede ser potabilizada. El pH promedio fue de 6.46, en la época de lluvias disminuye un poco del límite inferior permisible para consumo y aguas naturales, pero al salir del manantial aumenta fácilmente. La concentración promedio de oxígeno disuelto fue de 7.2 mg O₂ L⁻¹. Agua dura debido principalmente al calcio y alcalinidad media (100.4 mg CaCO₃ L⁻¹).</p> <p>El nivel de nitrógeno fue bajo en ambas épocas y el del fósforo, aunque bajo, se incrementó en las lluvias.</p> <p>Agua con buena calidad conforme a la DBO₅, pero contaminada en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico con espacio poroso de 63%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable, porcentaje de materia orgánica bajo y nivel de nitrógeno total bajo.</p>		
Vegetación:	<p>En el estrato arbóreo alto tenemos la presencia de algunos ahuehuetes, y en el estrato medio de <i>Alnus sp.</i> El estrato herbáceo tiene presencia de <i>Senecio sp.</i>, <i>Marchantia sp.</i>, <i>Potentilla sp.</i>, <i>Salix paradoxa</i>, <i>Salvia elegans</i>.</p>		
Observaciones:	<p>Este manantial se encuentra rodeado por un medio muro de piedra y alambrado, el nivel del manantial varía en diferentes épocas del año.</p>		

SAN PEDRO ATLIXCO



Figura 2.46 Cascada y caudal del Río muy contaminada en San Pedro Atlixco. (LCaYE, diciembre-2013, agosto-2014)

ID	55	Cuenca	Balsas
Coordenadas UTM:	14Q 555107 W	2098092 N	
Altitud:	2129 m.		
Cobertura del suelo:	Agrícola	Uso del suelo:	Agropecuario
Pendiente del terreno:	6 °	Pendiente del cauce:	4.3 °
Caudal promedio	1.06 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	2.15 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	2.25 m		
Características agua:	La temperatura promedio fue de 14.6°C, con conductividad de 185.5 μS cm ⁻¹ , susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 8.13, adecuado para usos diversos. Oxigenación muy deficiente con un valor promedio de 1.16 mg O ₂ L ⁻¹ , lo que limita el desarrollo de la vida acuática. Aguas blandas con proporción similar de calcio y magnesio en lluvia y muy duras en estiaje debido únicamente a la concentración de calcio. La alcalinidad fue media (101.42 mg CaCO ₃ L ⁻¹). Los sólidos sedimentables fueron de 0.1 mL L ⁻¹ . Con concentraciones aceptables de nitratos, nitritos y amonio, con tendencia a su incremento en la lluvia. El fósforo total tuvo una concentración promedio de 0.486 mg L ⁻¹ . Con agua de excelente calidad en función de la DBO ₅ ; calidad aceptable en lluvias y contaminada en sequía según la DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico, con espacio poroso de 63%, fuertemente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica medio, así como niveles bajos de nitrógeno total.		
Vegetación:	Hay presencia de manchones de <i>Pinus sp</i> y <i>Quercus sp.</i> , así como ejemplares de <i>Alnus sp.</i> , en una zona eminentemente agrícola, con cultivo de maíz, haba, frijol, etc.		
Observaciones:	El río en esta zona viene de haber atravesado el poblado, parte de la zona agrícola y una zona recreativa que existe gracias a una cascada que se desarrolló el mismo río en una pendiente y que ha sido adaptada por la población para ser atractivo turístico, aunque su olor a veces es desagradable, a pesar de la oxigenación que le da la caída.		

TOCHIMILCO MANANTIAL



Figura 2.47 Vista del manantial protegido y canal que conduce el agua al pueblo de Tochimilco. (LCAyE, agosto, 2014)

	Cuenca	Balsas
ID	70	
Coordenadas UTM:	14Q 544694 W	2089955 N
Altitud:	2120 m.	
Cobertura del suelo:	Manantial	Uso del suelo: Urbano
Pendiente del terreno:	3.5°	Pendiente del cauce: 1.7°
Caudal promedio	0.018 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media 0.275 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.45 m	
Características agua:	<p>La temperatura promedio fue de 13.8°C, con conductividad de 169.5 μS cm⁻¹, susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 6.72, con mayor acidez que la requerida para consumo. Concentración de oxígeno disuelto promedio de 8.2 mg L⁻¹. Aguas muy duras con proporción de calcio mayor que la de magnesio. Alcalinidad media (81.67 mg CaCO₃ L⁻¹). Con sólidos sedimentables de 0.5 mL L⁻¹. Con concentraciones de nitratos y amonio bajas y despreciables de nitritos. El fósforo total tiene una concentración promedio baja de 0.48 mg L⁻¹ apta para usos diversos. Con agua de Buena calidad en función de la DBO₅ y aceptable según la DQO.</p>	
Características del suelo	<p>Franco arenoso, con 67% de arena, con espacio poroso de 72%, ligeramente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica bajo, así como niveles muy bajos de nitrógeno total y bajos de fósforo total.</p>	
Vegetación:	<p>Esta es un área con abundante vegetación secundaria arbórea, arbustiva y herbácea. En el estrato arbóreo hay escasos representantes de <i>Quercus sp</i>, <i>Cupressus sp</i> y <i>Alnus sp</i>. Helechos abundantes y diversos,</p>	
Observaciones:	<p>El manantial está cercado y cubierto por una caseta, la muestra se tomó del efluente que se vierte en un canal de concreto con el que distribuye el agua para agricultura y sobre todo uso en el pueblo. En la parte de la canal cercana al camino se encuentran lajas de piedra, para ser usadas como lavadero.</p>	

TOCHIMILCO-EI CALVARIO



Figura 2.48 Arroyo en la zona conocida como el Calvario en Tochmilco.
(LCAyE, octubre-2013)

	Cuenca	Balsas
ID	68	
Coordenadas UTM:	14Q 544689 W	2089760 N
Altitud:	2115 m.	
Cobertura del suelo:	Urbana	Uso del suelo: Urbano
Pendiente del terreno:	6 °	Pendiente del cauce: 8°
Caudal promedio	0.031 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media 0.519 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.27 m	
Características agua:	La temperatura promedio fue de 13.9°C, con conductividad de 159 μS cm ⁻¹ , susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.08, adecuado para usos diversos. Concentración de oxígeno disuelto entre 8.5 y 9.6 mg L ⁻¹ . Aguas muy duras con proporción de calcio muy superior a la de magnesio. Alcalinidad baja (61.9 mg CaCO ₃ L ⁻¹). Con sólidos sedimentables menores de 0.1 mL L ⁻¹ . Con concentraciones de nitratos bajas y ausencia de nitritos y amonio. El fósforo total tiene una concentración promedio baja de 0.33 mg L ⁻¹ . Con agua de Excelente calidad en función de la DBO ₅ y DQO.	
Características del suelo	Franco arenoso, con 77% de arena, lo que se corrobora con su densidad aparente, con espacio poroso de 68%, ligeramente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica muy bajo, así como niveles bajos de nitrógeno total y de fósforo total.	
Vegetación:	En el estrato arbóreo hay representantes de <i>Pinus sp.</i> , <i>Quercus sp.</i> , <i>Cupressus sp</i> y <i>Alnus sp.</i> con poca abundancia. Vegetación ribereña discontinua.	
Observaciones:	Esta parte del río presenta evidente perturbación, pero poca basura acumulada.	

TOCHIMILCO-ARROYO-CIÉNEGA



Figura 2.49 Agua del arroyo y ojos de agua que inundan esta ciénega con extensión entre 40 y 80 m². (LCyE, octubre, 2013, agosto, 2014)

	Cuenca	Balsas
ID	69	
Coordenadas UTM:	14Q 544642 W	2089903 N
Altitud:	2104 m.	
Cobertura del suelo:	Agrícola	Uso del suelo: Urbano
Pendiente del terreno:	5.8 °	Pendiente del cauce: 5°
Caudal promedio	0.043 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media 0.335 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.1 m	
Características agua:	<p>La temperatura promedio fue de 14.7°C, con conductividad de 197 μS cm⁻¹, susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.27, adecuado para usos diversos. Concentración de oxígeno disuelto entre 5 y 6.5 mg L⁻¹. Aguas muy duras con proporción de calcio menor que la de magnesio. Alcalinidad media (98.4 mg CaCO₃ L⁻¹). Con sólidos sedimentables de 0.25 mL L⁻¹.</p> <p>Con concentraciones de nitratos y amonio bajas y despreciables de nitritos. El fósforo total tiene una concentración promedio baja de 0.44 mg L⁻¹ apta para usos diversos. Con agua de Excelente calidad en función de la DBO₅ y contaminada según la DQO.</p>	
Características del suelo	<p>Arenoso franco, con 79% de arena, lo que se corrobora con su densidad aparente, con espacio poroso de 69%, ligeramente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica bajo, así como niveles bajos de nitrógeno total y de fósforo total.</p>	
Vegetación:	<p>Esta es un área con abundante vegetación secundaria arbórea, arbustiva y herbácea. En el estrato arbóreo hay escasos representantes de <i>Quercus sp</i>, <i>Cupressus sp</i> y <i>Alnus sp.</i>, helechos abundantes y diversos</p>	
Observaciones:	<p>Es un pequeño valle, que en época de lluvias se encuentra anegado lo que favorece crecimiento de vegetación exuberante, en donde se pierde el pequeño cauce. Este lugar es aledaño al manantial.</p>	

TOCHIMILCO-BARRIO SAN JUAN



Figura 2.50 Vista del río en Barrio de San Juan, Tochimilco.
(LCAyE, octubre-2013)

	Cuenca	Balsas
ID	67	
Coordenadas UTM:	14Q 543577 W	2088437 N
Altitud:	2076 m.	
Cobertura del suelo:	Urbana	Uso del suelo: Urbano
Pendiente del terreno:	6 °	Pendiente del cauce: 8°
Caudal promedio	0.081 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media 0.210 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.8 m	
Características agua:	<p>La temperatura promedio fue de 16°C, con conductividad de 214 μS cm⁻¹, susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.18, adecuado para usos diversos. Concentración de oxígeno disuelto entre 7 y 8 mg L⁻¹. Aguas duras con proporción de calcio mucho menor que la de magnesio. Alcalinidad media (98.4 mg CaCO₃ L⁻¹). Con sólidos sedimentables menores de 0.3 mL L⁻¹.</p> <p>Con concentraciones de nitratos y amonio bajas y ausencia de nitritos. El fósforo total tiene una concentración promedio baja de 0.26 mg L⁻¹ por lo que es poco productiva y apta para usos diversos. Con agua de Buena calidad en función de la DBO₅ y fuertemente contaminada según la DQO.</p>	
Características del suelo	<p>Arenoso franco, con 79% de arena, lo que se corrobora con su densidad aparente, con espacio poroso de 62%, ligeramente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica muy bajo, así como niveles bajos de nitrógeno total y de fósforo total.</p>	
Vegetación:	<p>En el estrato arbóreo hay escasos representantes de <i>Pinus sp.</i>, <i>Quercus sp</i>, <i>Cupressus sp</i> y <i>Alnus sp</i>. Zona con abundante vegetación secundaria arbustiva y herbácea abundantes helechos. Vegetación ribereña discontinua.</p>	
Observaciones:	<p>Esta parte del río forma un vallecito, con mucha basura acumulada. En esta zona se encuentran viveros y actividades de floricultura.</p>	

Cuenca de México

DOÑA BLANCA 1



Figura 2.51 Vista del descenso a Doña Blanca y el nacimiento de agua con evidencia de rituales.
(LCAyE- marzo, diciembre-2012)

ID: 27		Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 536932 W	2116380 N	
Altitud:	3870 m		
Cobertura del suelo:	Pastizal montano	Uso del suelo: Manantial	
Pendiente del terreno:	34°	Pendiente del cauce:	19°
Caudal promedio	0.0128 m ³ seg ⁻¹	Velocidad corriente media:	0.31 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.7 m		
Características agua:	La temperatura del agua registró variaciones entre 5.5 y 7°C. Conforme con sus valores de conductividad (121 μS cm ⁻¹) el agua es de buena calidad para cualquier uso; con pH entre 5.85 y 7.10, con tendencia a la acidez. Muy buen nivel de oxígeno disuelto, alcalinidad baja, con aguas blandas. Con baja concentración de nitrógeno en sus diferentes formas, y fósforo total bajo (promedio 0.244 mg L ⁻¹). Con excelente calidad de acuerdo con DBO ₅ y calidad aceptable según el valor promedio de DQO.		
Características del suelo	El suelo es arenoso franco, volcánico con 91% de espacio poroso, fuertemente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica alto y nitrógeno total medio.		
Vegetación:	En esta zona, no hay presencia de estrato arbóreo, es un manantial entre roca desnuda y rodeado de pastizal montano (<i>Festuca sp.</i>) muy bien desarrollado, que oculta la corriente a través de la joya. Ocasionalmente se observa <i>Eryngium carlinae</i> .		
Observaciones:	Este es un manantial, se llevan a cabo diversos ritos y tradiciones, por lo que generalmente se encuentran restos de veladoras, adornos de flores naturales y elementos plásticos, así como cruces de madera. Representa un centro ceremonial y cultural en la montaña.		

LA JOYA



Figura 2.52 Vista del descenso a la Joya y el arroyo en invierno con hielo.
(LCyE abril-2013; febrero-2010)

ID: 3		Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 536501 W	2116231 N	
Altitud:	3832 m		
Cobertura del suelo:	Pastizal montano	Uso del suelo:	Pradera de alta montaña
Caudal promedio:	0.0190 m ³ seg ⁻¹	Velocidad corriente media	0.29 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio:	0.34 m		
Características agua:	<p>La temperatura del agua registró variaciones entre 10 y 13.3°C, potencialmente adecuada para ser potabilizada según su conductividad (79.33 $\mu\text{S cm}^{-1}$). Con pH adecuado para vida acuática y consumo entre 6.5 y 6.7. Con oxígeno disuelto entre 4.28 y 5.24, lo que indica bajo nivel de oxígeno en función de la altitud y la temperatura, sin llegar a ser grave, esto se debe a los procesos de degradación de materia orgánica que se presentan por la acumulación de material y el descenso en la velocidad de corriente por la disminución de la pendiente en este sitio. Presenta aguas blandas con magnesio y calcio en mayor proporción y baja alcalinidad. Con baja concentración de nitratos y amonio, pero presencia de nitritos sin llegar a rebasar los límites permisibles para agua potable. Fósforo total promedio bajo (0.461 mg L⁻¹), adecuado para cualquier uso. Calidad excelente de acuerdo con DBO₅, pero contaminada en función de DQO.</p>		
Características del suelo	<p>El suelo es arenoso franco, volcánico con 89.8% de espacio poroso, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica medio y nitrógeno total bajo.</p>		
Vegetación:	<p>En esta zona se tiene la presencia principal de pastizal montano (<i>Festuca sp.</i>) y <i>Pinus hartwegii</i>. Además de <i>Senecio angulifolius</i>, <i>Eryngium carlinae</i>, <i>Alchemilla pinnata</i>, <i>Stachys rotundifolia</i>, <i>Eupatorium rivale</i>, <i>Potentilla sp</i>, <i>Gnaphalium roseum</i>, <i>Asplenium monanthes</i>, y <i>Cirsium ehrenbergii</i>.</p>		
Observaciones:	<p>En esta zona el arroyo está descubierto, con la ribera protegida por pastizal montano, generalmente con orillas bien consolidadas, material del cauce con grava y algunas rocas de tamaño medio entre 15 y 60 cm.</p>		

DOÑA BLANCA 2



Figura 2.53 Vista descendente del área y arroyo proveniente de Doña Blanca.
(LCAyE, marzo, diciembre- 2012)

ID: 28		Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 536151 W	2116238 N	.
Altitud:	3816 m		
Cobertura del suelo:	Bosque de pino/Pastizal	Uso del suelo:	Pradera de alta montaña
Caudal promedio:	0.1381 m ³ seg ⁻¹	Velocidad corriente media:	0.66 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.2 m		
Características agua:	<p>La temperatura del agua registró variaciones entre 5.0 y 10°C, de acuerdo con sus valores de conductividad media (84 μS cm⁻¹) tiene sales que pueden ser fácilmente eliminadas, por lo que es potencialmente potabilizable, con pH entre 6.99 y 7.8 adecuado para vida acuática y uso múltiple, con oxígeno disuelto promedio 8.63 mg L⁻¹, con disminución en el estiaje.</p> <p>Presenta aguas blandas con magnesio y calcio en proporciones similares y baja alcalinidad. Con baja concentración de nitratos y amonio, pero presencia de nitritos sin llegar a rebasar los límites permisibles para agua potable. Fósforo total promedio bajo (0.313 mg L⁻¹), adecuado para cualquier uso. Calidad excelente según la DBO₅, pero contaminada en función de DQO.</p>		
Características del suelo	<p>El suelo es arenoso franco, volcánico con 91.1% de espacio poroso, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica alto y nitrógeno total medio.</p>		
Vegetación:	<p>En esta zona hay presencia principal de pastizal montano (<i>Festuca sp.</i>) y <i>Pinus hartwegii</i>. Además de <i>Senecio angulifolius</i>, <i>Alchemilla pinnata</i>, <i>Stachys rotundifolia</i>, <i>Eupatorium rivale</i>, <i>Potentilla sp</i>, <i>Gnaphalium roseum</i>, <i>Asplenium monanthes</i>, y <i>Cirsium ehrenbergii</i>.</p>		
Observaciones:	<p>En esta zona el arroyo está descubierto, con la ribera protegida por pastizal montano, generalmente con orillas bien consolidadas, material del cauce con grava y algunas rocas de tamaño medio entre 15 y 60 cm.</p>		

CISTERNA PALO RECHINO



Figura 2.54 Vista del arroyo que alimenta la zona de captación de agua en la Cañada Palo Rechino antes de llegar a la carretera a Paso de Cortés. (LCAyE, diciembre-2011)

ID	23	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 536566 W	2110136 N	
Altitud:	3659 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque de pino/ Pastizal montano	Uso del suelo:	Forestal perturbado
Pendiente del terreno:	9.5°	Pendiente del cauce:	11°
Caudal promedio	0.001 m ³ seg ⁻¹	Velocidad corriente media:	0.2 m seg ⁻¹ :
Ancho del cauce promedio	0.5		
Características agua:	La temperatura del agua se mantuvo alrededor de 6°C, con una conductividad de 64 μS cm ⁻¹ , que la hace susceptible de ser potabilizada. Con pH promedio de 6.4. y baja concentración media de oxígeno disuelto con 5.4 mg L ⁻¹ . Presenta aguas con baja alcalinidad, duras con mayor proporción de calcio. Niveles bajos de nitrógeno y fósforo total en muy baja concentración. Calidad de agua excelente de acuerdo con la DBO ₅ , pero fuertemente contaminada en función de DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico con 84% de espacio poroso, fuertemente ácido, con salinidad despreciable, porcentaje de materia orgánica medio y nitrógeno total bajo.		
Vegetación:	En esta zona tenemos asociación de pastizal montano (<i>Festuca sp.</i>), <i>Pinus sp.</i> y <i>Abies religiosa</i> , además de la presencia de <i>Muhlenbergia sp.</i> y <i>Lupinus montanus</i>		

AMALACAXCO



Figura 2.55 Vista del área y del arroyo Amalacaxco. (LCAyE, octubre-2010; noviembre-2011)

ID:	9	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 535323 W	2112480 N	.
Altitud:	3651 m		
Cobertura del suelo:	Bosque de Pino/ Pastizal montano	Uso del suelo:	Forestal
Caudal promedio:	0.021 m ³ seg ⁻¹	Velocidad corriente media:	0.368 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.6 m		
Características agua:	La temperatura del agua registró variaciones entre 4 y 11°C, según su conductividad media (43.77 μS cm ⁻¹) es de buena calidad. Con pH adecuado para vida acuática y consumo entre 6.9 y 7.5. Con oxígeno disuelto entre 3.92 y 15.06, en función de la variación térmica. Presenta aguas blandas con mayor proporción de calcio que de magnesio y alcalinidad baja. La concentración de nitrógeno en las tres especies químicas fue baja. Las concentraciones de fósforo total fueron siempre bajas, dando un promedio de 0.072 mg L ⁻¹ , aguas poco productivas. Con buena calidad de acuerdo con la DBO ₅ , pero contaminada en función de DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico con espacio poroso de 65%, de ácido a moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica alto y nitrógeno total medio.		
Vegetación:	En esta zona tenemos asociación de pastizal montano (<i>Festuca sp.</i>) con <i>Pinus hartwegii</i> . Y Presencia de <i>Stellaria cuspidata</i> , <i>Senecio cinerarioides</i> , <i>Senecio multidentalis</i> , <i>Senecio osizabencis</i> , <i>Potentilla sp.</i> , <i>Gnaphalium roseum</i> , <i>Gnaphalium semiaplexicaule</i> , <i>Tagetes erecta</i> y <i>Lupinus montanus</i>		
Observaciones:	Esta zona es importante ya que está casi en el límite del parque nacional, en donde si existe un alambrado que lo delimita y fuera del alambrado se encuentra el camino, lo que modifica las condiciones del ecosistema de manera severa.		

PALO RECHINO



Figura 2.56 Vista del arroyo que corre por la cañada Palo Rechino. (LCAyE, junio-2011)

ID	40	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 536986 W	2108782 N	
Altitud:	3642 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque de Pino/ Pastizal montano	Uso del suelo: Forestal perturbado	
Pendiente del terreno:	10°	Pendiente del cauce: 12°	
Caudal promedio:	0.001 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.17 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.1 m		
Características agua:	La temperatura del agua registró variaciones entre 8 y 11°C, según su conductividad media de 73 (μS cm ⁻¹) es potencialmente potabilizable. Con pH entre 5.81 y 6.25 por abajo del intervalo recomendado como adecuado para diferentes usos, esto probablemente por la presencia de gran cantidad de hojarasca de pino que imprime un carácter ácido. Con bajas concentraciones de oxígeno disuelto entre 0.98 y 4.86, por procesos de descomposición en la cañada. Aguas con baja alcalinidad, duras y con mayor proporción de calcio. Con bajas concentraciones de nitratos, nitritos y amonio en estiaje; aumentando casi al límite permisible para consumo humano el amonio y superando ese límite los nitritos, ambos en época de lluvias. Con concentraciones promedio bajas de fósforo total (0.082 mg L ⁻¹), aguas poco productivas. Con buena calidad de acuerdo con la DBO ₅ , pero fuertemente contaminada en función de la DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico con espacio poroso de 83.4%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica alto y nivel bajo de nitrógeno total.		
Vegetación:	En esta zona se halla asociación de pastizal montano (<i>Festuca sp.</i>) con <i>Pinus pseudostrobus</i> y <i>Abies religiosa</i> . Además, se registró la presencia de <i>Senecio cinerarioides</i> , <i>Senecio multidentalis</i> , <i>Senecio multidentalis</i> , <i>Senecio osizabencis</i> , <i>Potentilla sp.</i> , <i>Gnaphalium roseum</i> , <i>Gnaphalium semiaplexicaule</i> , <i>Penstemon gentianoides</i> , <i>Tagetes erecta</i> y <i>Lupinus montanus</i> .		

AMALACAXCO 2



Figura 2.57 Vista de la cañada y el arroyo Amalacaxco, fuera del PNIP.
(LCAyE, febrero-2010; octubre-2011)

ID:	10	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 535323 W	2112480 N	.
Altitud:	3520 m		
Cobertura del suelo:	Bosque de Pino/ Pastizal montano	Uso del suelo: Forestal	
Pendiente del terreno:	8.2°	Pendiente del cauce:	6°
Caudal promedio:	0.01 m ³ seg ⁻¹	Velocidad corriente media:	0.2708 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio:	1.4 m		
Características agua:	La temperatura del agua registró variaciones entre 4 y 8°C, según su conductividad media (45.87 μS cm ⁻¹) es de buena calidad. Con pH adecuado para vida acuática y consumo entre 7 y 7.5. Con oxígeno disuelto entre 3.92 y 5.84, en función de la variación térmica. Presenta aguas blandas con mayor proporción de calcio que de magnesio y alcalinidad baja. La concentración de nitrógeno en las tres especies químicas fue baja. Las concentraciones de fósforo total fueron siempre bajas, dando un promedio de 0.03 mg L ⁻¹ , aguas poco productivas. Con buena calidad de acuerdo con la DBO ₅ y la DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico con espacio poroso de 66.28%, de ácido a moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica medio, nitrógeno total y fósforo extractable bajos.		
Vegetación:	En esta zona tenemos asociación de pastizal montano (<i>Festuca sp.</i>), en el estrato arbóreo se registró <i>Pinus sp.</i> y <i>Abies religiosa</i> . Además, la presencia de <i>Senecio cinerarioides</i> , <i>Senecio multidentalis</i> , <i>Senecio osizabencis</i> , <i>Potentilla sp.</i> , <i>Tagetes erecta</i> y <i>Lupinus montanus</i>		
Observaciones:	Se encuentra fuera del Parque Nacional, pero presenta buenas condiciones aparentes.		

AGUA EL MARRANO



Figura 2.58 Vista noroeste del arroyo Agua el Marrano. (LCAyE, octubre-2010)

ID	3	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 532298 W	2125050 N	
Altitud:	3522 m		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo: Forestal	
Pendiente del terreno:	9°	Pendiente del cauce:	4°
Caudal promedio	0.0196 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.383 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.49 m		
Características agua:	La temperatura del agua registró valores alrededor de 11°C, con buena calidad según su conductividad media de 34 (μS cm ⁻¹). Con pH promedio (6.1) por debajo de 6.5, intervalo recomendado como adecuado para diferentes usos. Con bajas concentraciones de oxígeno disuelto promedio de 5.67, las cuales sin presentar anoxia son bajas de acuerdo con la altitud y temperatura. Aguas blandas con magnesio y calcio en proporciones similares y muy baja alcalinidad (5.6 mg CaCO ₃ L ⁻¹), Con mínimas concentraciones de nitrógeno y fósforo (0.24 mg L ⁻¹). Con buena calidad conforme a la DBO ₅ , pero fuertemente contaminada en función de DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico con espacio poroso de 81.2%, fuertemente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica alto, nivel bajo de nitrógeno total y alto de fósforo disponible		
Vegetación:	Asociación <i>Abies religiosa</i> con <i>Pinus sp.</i> Están presentes además <i>Cirsum ehrenbergii</i> , <i>Thelypteris sp.</i> , <i>Tagetes erecta</i> , y <i>Lupinus montanus</i> .		

NEXCOLANGO



Figura 2.59 Vista suroeste del Rio en Nexcolango. (LCAyE, octubre-2010; marzo 2012)

ID	36	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 531957 W	2122821 N	
Altitud:	3489 m		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo: Forestal	
Pendiente del terreno:	15°	Pendiente del cauce:	11°
Caudal promedio	0.132 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.44 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.5 m		
Características agua:	<p>La temperatura del agua mantuvo un promedio de 7°C, de acuerdo con su conductividad puede ser potabilizada, con un promedio de 141 μS cm⁻¹. Con pH promedio fue de 5.89, el sistema siempre mantuvo valores por debajo de 6.5 que el límite inferior permisible para aguas naturales y de consumo. Con oxígeno disuelto promedio de 5.93 mg O₂ L⁻¹ bajo de acuerdo con la altitud y temperatura. Presenta aguas blandas, con proporción similar de calcio y magnesio y alcalinidad baja (12 mg CaCO₃ L⁻¹). Las concentraciones de nitratos, nitritos y amonio son bajas y el fósforo total con un promedio de 0.521 mg L⁻¹, prevaleciendo el fósforo orgánico.</p> <p>Según la DBO₅ el agua es de buena calidad, pero se clasifica como fuertemente contaminada en función del valor de DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico con tendencia a la mineralización, con espacio poroso promedio de 81%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica medio, nivel bajo de nitrógeno total y alto de fósforo disponible.</p>		
Vegetación:	<p>Este bosque mixto está conformado por una asociación entre <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus pseudostrobus</i>, que conforman el estrato arbóreo alto entre 25 y 35 m. El estrato medio entre 15 y 25 m, son representantes de las mismas especies, pero menor edad. Y en el estrato herbáceo se presentan <i>Marchantia sp</i>, <i>Senecio sp</i>, <i>Fuchsia microphylla</i>, <i>Dryopteris cinnamonea</i>, <i>Asplenium monanthes</i> L, <i>Thelypteris sp</i>, <i>Senecio Barba-johannis</i>, <i>Alchemilla pinnata</i>.</p>		

POTRERO



Figura 2.60 Vista del arroyo y entubamiento, en el área de Potrero propiedad de Bienes comunales de Amecamec. (LCAyE, octubre-2010, junio-2011)

ID 43		Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 533890 W	2111719 N	.
Altitud:	3368 m	Uso del suelo:	Forestal perturbado
Cobertura del suelo:	Bosque mixto		
Pendiente del terreno:	6 °	Pendiente del cauce:	3°
Caudal promedio	0.041 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente	0.472 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.55 m		
Características agua:	La temperatura del agua registró valores entre 5 y 7.1°C, con calidad para ser potabilizada según su conductividad media de 45.6 μS cm ⁻¹ . Con pH promedio de 7.37, adecuado para los diferentes usos. Con muy buena oxigenación, con un valor promedio de 12.63 mg O ₂ L ⁻¹ . Aguas blandas, con baja proporción de calcio y alcalinidad baja (46.1 mg CaCO ₃ L ⁻¹). Con mínimas concentraciones de nitrógeno y fósforo (0.166 mg L ⁻¹). Con aceptable calidad de acuerdo con la DBO ₅ , pero contaminada en función de DQO.		
Características del suelo	Arenoso franco, con espacio poroso de 60%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica bajo, así como los niveles de nitrógeno total y fósforo disponible.		
Vegetación:	Bosque mixto con asociación en el estrato arbóreo alto y medio <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus patula</i> . Están presentes además <i>Senecio cinerarioides</i> , <i>Senecio multidentalis</i> , <i>Senecio angulifolius</i> , <i>Senecio osizabencis</i> , <i>Stellaria cuspidata</i> , <i>Dichondra seríceea</i> , <i>Alchemilla pinnata</i> , <i>Eupatorium rivale</i> , <i>Marchantia sp.</i> , <i>Potentilla sp.</i> , <i>Salix paradoxa</i> , <i>Gnaphalium roseum</i> , <i>Gnaphalium semiaplexicaule</i> , <i>Tagetes erecta</i> , <i>Lupinus montanus</i> .		
Observaciones:	En este sitio se observaron modificaciones en el tiempo, por el manejo. En 2011, se introdujo una tubería por parte del municipio, lo que afectó severamente al ecosistema. Con incrementos muy elevados de DQO.		

TUNEL TIERRA AMARILLA



Figura 2.61 Inicio del río en la zona Tierra amarilla, con abundante vegetación alpina. (LCyE, octubre-2010)

ID	73	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 530852 W	2126924 N	.
Altitud:	3311 m		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo: Forestal	
Pendiente del terreno:	3 °	Pendiente del cauce:	14.3 °
Caudal promedio	0.008 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.32 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.50 m		
Características agua:	La temperatura promedio fue de 11°C, con conductividad de 52 μS cm ⁻¹ , susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 5.97, es más ácido que lo permitido en los límites para consumo y vida acuática. Baja oxigenación con un valor promedio de 4.57 mg O ₂ L ⁻¹ . Aguas blandas con mayor proporción de calcio. Alcalinidad baja (5 mg CaCO ₃ L ⁻¹). Con concentraciones bajas de nitratos, nitritos y amonio. El fósforo total tuvo una concentración promedio de 0.16 mg L ⁻¹ . Con agua de excelente calidad en función de la DBO ₅ y aceptable en función de la DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico, con espacio poroso de 80%, fuertemente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica alto, así como niveles bajos de nitrógeno total y altos de fósforo total.		
Vegetación:	La vegetación arbórea está representada por <i>Pinus sp.</i> y <i>Abies religiosa</i> con presencia en el estrato herbáceo de <i>Marchantia sp.</i> , <i>Senecio sp.</i> y <i>Thelypteris sp.</i> , y pastizal montano en general.		
Observaciones:	Este cauce tiene incorporación de pequeños afluentes en su trayectoria, desgraciadamente, aunque no es muy amplio presenta basura. Es un buen cauce para llevar a cabo restauración de la ribera.		

RANCHOTITLA



Figura 2.62 Pequeño arroyo del paraje Ranchotitla, que lleva agua a Santa Isabel Chalma. (LCyE, febrero-2011; junio-2012)

ID	44	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 530742 W	2120239 N	.
Altitud:	3280 m		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	
		Forestal	
Pendiente del terreno:	19 °	Pendiente del cauce:	21 °
Caudal promedio	0.003 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.349 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.27 m		
Características agua:	La temperatura del agua registró valores entre 10 y 18°C, con calidad adecuada para ser potabilizada según su conductividad media de 66.5 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Con pH promedio de 7.11, adecuado para los diferentes usos. Con muy buena oxigenación, con un valor promedio de 10.33 mg O ₂ L ⁻¹ . Aguas blandas, con proporciones similares de calcio y magnesio, alcalinidad baja (45.9 mg CaCO ₃ L ⁻¹). Con mínimas concentraciones de nitrógeno y fósforo (0.166 mg L ⁻¹). Con aceptable calidad de acuerdo con los valores de DBO ₅ y DQO.		
Características del suelo	Con espacio poroso de 71%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica medio, los niveles de nitrógeno total y fósforo disponible fueron bajos.		
Vegetación:	Bosque mixto de <i>Abies religiosa</i> y en menor proporción <i>Pinus sp.</i> Están presentes además <i>Senecio cinerarioides</i> , <i>Senecio multidentalis</i> , <i>Senecio angulifolius</i> , <i>Marchantia sp.</i> , <i>Potentilla sp.</i> , <i>Salix paradoxa</i> , <i>Tagetes erecta</i> , <i>Lupinus montanus</i> .		
Observaciones:	Este sitio que tiene aparentemente poco caudal abastece, en gran proporción el agua de la población de Sta. Isabel Chalma.		

TETLACUILCO



Figura 2.63 Vista de descenso en dirección Noroeste del arroyo Tetlacuilco. (LCAyE, febrero -2010)

ID	65	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 539397 W	2111719 N	
Altitud:	3221 m		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo: Forestal	
Pendiente del terreno:	3 °	Pendiente del cauce:	14.3 °
Caudal promedio	0.038 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.39 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.9 m		
Características agua:	<p>La temperatura promedio fue de 9.6°C, con conductividad de 69 μS cm⁻¹, susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 6.95, adecuado para usos diversos. La oxigenación es suficiente con un valor promedio de 5.43 mg O₂ L⁻¹.</p> <p>Aguas blandas con mayor proporción de calcio. La alcalinidad baja (30 mg CaCO₃ L⁻¹). Con concentraciones bajas de nitratos y amonio, pero altas concentraciones de nitritos que rebasan los límites permisibles de consumo y son perjudiciales para la vida acuática. El fósforo total tuvo una concentración promedio de 0.18 mg L⁻¹. Con agua de excelente calidad en función de la DBO₅ y contaminada en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Arenoso, volcánico, con espacio poroso de 65%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica medio, así como niveles bajos de nitrógeno total y de fósforo total altos.</p>		
Vegetación:	<p>La vegetación arbórea está representada por <i>Pinus sp.</i> y <i>Abies religiosa</i> con presencia en el estrato herbáceo de <i>Marchantia sp.</i>, <i>Senecio sp.</i>, <i>Senecio cinerarioides</i> y <i>Senecio multidentalis</i>.</p>		

ALCALICA 1

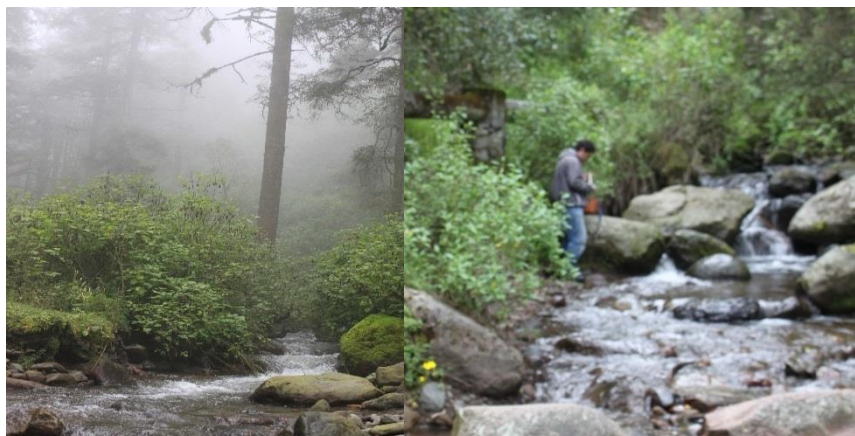


Figura 2.64 Vista del río Alcalica en la zona de Bosque mixto.
(LCAyE, febrero, septiembre-2012)

ID	4	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 533284 W	2115262 N	
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo: Forestal	
Altitud:	3200 m		
Pendiente del terreno:	7.35°	Pendiente del cauce:	6.14°
Caudal promedio:	0.4682	Velocidad de corriente media	1.03 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	4.4 m		
Características agua:	La temperatura del agua fluctúa entre 13 y 15°C, según su conductividad media de 63.3 ($\mu\text{S cm}^{-1}$) es potencialmente potabilizable. Con pH entre 6.81 y 7.39 en el intervalo recomendado como adecuado para diferentes usos. Con concentraciones adecuadas de oxígeno disuelto entre 6.4 y 7.9, por procesos de descomposición en la cañada. Aguas con alcalinidad baja, blandas y con proporción similar de calcio y magnesio. Con bajas concentraciones de nitratos, nitritos y amonio. Las concentraciones promedio de fósforo total (0.299 mg L^{-1}) clasificada con excelente calidad de acuerdo con DBO_5 , pero contaminada en función de la DQO.		
Características del suelo	Arenoso franco, volcánico, con espacio poroso de 55%, ligeramente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica bajo, así como niveles bajos de nitrógeno y fósforo totales.		
Vegetación:	En este sitio dominan en el estrato arbóreo <i>Pinus sp.</i> y <i>Abies religiosa</i> , con abundancia de vegetación arbustiva y herbácea, con presencia de <i>Erigeron Sp.</i> , <i>Plantago australis lam.</i> , <i>Cirsium ebrenbergii</i> y abundantes halófitos en la orilla.		

CERRO TESANTO

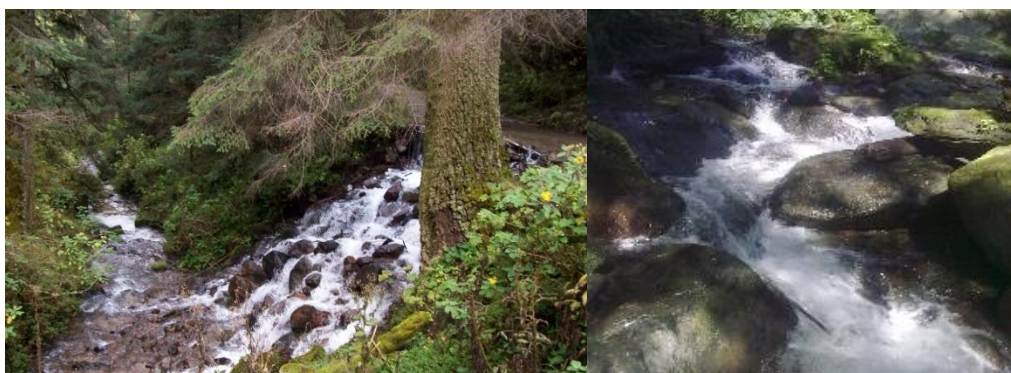


Figura 2.65 Vista del río en el paraje del Cerro Tesanto.
(LCAyE, febrero-2010; septiembre-2012)

ID 20		Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 534580 W	2101150 N	
Altitud:	3116 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Forestal
Pendiente del terreno:	11°	Pendiente del cauce:	12°
Caudal promedio	0.0001 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.103 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	3.65 m		
Características agua:	<p>La temperatura del agua mantuvo un promedio de 8°C, de acuerdo con su conductividad puede ser potabilizada (52 μS cm⁻¹). Con pH promedio (6.83) adecuado para los diferentes usos. Con concentraciones limitadas de oxígeno disuelto promedio de 5.95 mg O₂ L⁻¹. Presenta aguas duras, con alta proporción de calcio y baja alcalinidad (32 mg CaCO₃ L⁻¹), sin sólidos sedimentables.</p> <p>Las concentraciones de nitrógeno inorgánico son bajas en las tres especies químicas y el fósforo total tuvo un promedio de 0.23 mg L⁻¹. Con buena calidad según la DBO₅, pero contaminada en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico con espacio poroso de 78%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica bajo, nivel bajo de nitrógeno total y alto de fósforo disponible.</p>		
Vegetación:	<p>La vegetación es <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus sp</i>, con presencia de <i>Arbutus sp</i>, <i>Stellaria cuspidata</i>, <i>Dichondra sericea</i>, <i>Senecio angulifolius</i>, <i>Alchemilla pinnata</i>, <i>Marchantia sp</i>, <i>Potentilla sp</i>, <i>Salvia elegans</i>, <i>Eupatorium glabratum</i>, <i>Senecio sp</i>, <i>Gnaphalium roseum</i>, <i>Polystichum rachichlaena</i>, <i>Salvia polystachya</i>, <i>Sida haenkeana</i>, <i>Eupatorium pazcuarensis</i>, <i>Salvia sp</i>, <i>Gnaphalium semiaplexicaule</i>, <i>Tagetes erecta</i>, <i>Lupinus montanus</i>.</p>		

RÍO FRÍO I

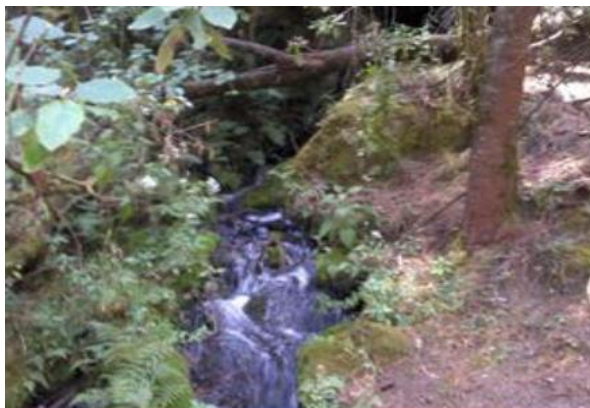


Figura 2.66 Vista del río en la zona ejidal de Río Frío.
(LCAyE, febrero-2014)

ID	50	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 532439 W	2141662 N	
Altitud:	3074 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Forestal perturbado
Pendiente del terreno:	34 °	Pendiente del cauce:	17 °
Caudal promedio	0.095 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.9 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	2.12 m		
Características agua:	<p>La temperatura tuvo un valor promedio de 9°C, con conductividad de 62 $\mu\text{S cm}^{-1}$, susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 6.77, adecuado para usos diversos. Muy buena oxigenación con un valor promedio de 12.6 mg O₂ L⁻¹. Aguas blandas con mayor proporción de calcio. Alcalinidad baja (54 mg CaCO₃ L⁻¹) Los sólidos sedimentables fueron de 0.1 mL L⁻¹.</p> <p>Con concentraciones bajas de nitratos, nitritos y amonio; el fósforo total tuvo una concentración promedio baja de 0.068 mg L⁻¹. Con agua de buena calidad en función de la DBO₅ y aceptable en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico, con espacio poroso de 73%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica medio, así como niveles bajos de nitrógeno total.</p>		
Vegetación:	<p>Bosque mixto conformado por <i>Abies religiosa</i>, <i>Pinus sp</i> y <i>Quercus sp.</i>, el primero y el segundo integran el estrato alto (20-30 m) y los tres conforman el estrato medio de 15 a 20 m. Presencia de <i>Senecio sp.</i>, <i>Senecio angulifolius</i>, <i>Bacharis sp.</i>, <i>cletra</i>, helechos y musgos.</p>		
Observaciones:	<p>El cauce con orillas consolidadas, lecho rocoso con rocas de 0.5 m o menores y abundancia de grava, con gran abundancia de hojarasca de pino sobre el suelo. Sitio erosionado.</p>		

TEPINOCO



Figura 2.67 Vista del río y su entorno en el paraje Tepinoco. (LCAyE, febrero-2011; junio 2012)

ID	64	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 530046 W	2119937 N	
Altitud:	3034 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Forestal perturbado
Pendiente del terreno:	42 °	Pendiente del cauce:	24 °
Caudal promedio	0.003 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.162 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio			
Características agua:	<p>Temperatura promedio de 8.6°C, con conductividad de 67 μS cm⁻¹, susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.79, adecuado para usos diversos. Buena oxigenación con un valor promedio de 7.83 mg O₂ L⁻¹. Aguas blandas con proporción equiparable de calcio y de magnesio. La alcalinidad baja (48 mg CaCO₃ L⁻¹). Sólidos sedimentables en concentración 0.3 mL L⁻¹.</p> <p>Con concentraciones bajas de nitratos y nitritos, pero altas concentraciones de amonio, que rebasan los límites permisibles de consumo. El fósforo total tuvo una concentración promedio de 0.164 mg L⁻¹. Con agua de calidad aceptable en función de la DBO₅ y la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico, con espacio poroso de 70%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica medio, así como niveles bajos de nitrógeno total y de fósforo total.</p>		
Vegetación:	<p>La vegetación arbórea está representada por <i>Abies religiosa</i> principalmente y presencia en el estrato herbáceo de <i>Marchantia sp.</i>, <i>Senecio sp.</i> y <i>Senecio angulifolius</i></p>		
Observaciones:	<p>Sitio en zona de Bosque perturbado, donde el agua corre de manera protegida por la vegetación.</p>		

ALCALICA 2



Figura 2.68 Vista en el descenso del río Alcalica, con señales iniciales de perturbación. (LCaYe, junio, diciembre-2012)

ID	5	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 531931 W	2114991 N	
Altitud:	3020 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Forestal perturbado
Pendiente del terreno:	12.2°	Pendiente del cauce:	6.5°
Caudal promedio	0.187 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.703 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	2.1 m		
Características agua:	La temperatura del agua registró variaciones entre 6 y 10 °C, según su conductividad media de 61.3 (µS cm ⁻¹) es potencialmente potabilizable. Con pH entre 7.15 y 8.25 con nivel adecuado para diferentes usos. Con buena oxigenación promedio de 6.96 mg O ₂ L ⁻¹ . Aguas con baja alcalinidad, blandas, con proporciones similares de calcio y magnesio. Con bajas concentraciones de nitrógeno en sus diferentes especies químicas; con concentración promedio de fósforo total (0.286 mg L ⁻¹). Con buena calidad de acuerdo con DBO ₅ y aceptable conforme la DQO.		
Características del suelo	El suelo es franco-arenoso, con 65% de espacio poroso, salinidad despreciable, bajo porcentaje de materia orgánica y niveles bajos de nitrógeno total y fósforo disponible.		
Vegetación:	En el estrato arbóreo se encuentra <i>Pinus sp.</i> , <i>Abies religiosa</i> , <i>Quercus sp.</i> y ocasionalmente <i>Cupressus, sp.</i> Con presencia de <i>Cirsium ebrenbergii</i> y <i>Lupinus montanus</i> .		

RÍO FRÍO II



Figura 2.69 Afluente en el área ejidal de Río Frío.
(LCAyE, febrero-2014)

ID	51	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 533107 W	2141437 N	
Altitud:	2996 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Agrícola - Forestal
Pendiente del terreno:	17°	Pendiente del cauce:	3.5°
Caudal promedio	0.01 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.215 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	2.9 m		
Características agua:	<p>La temperatura tuvo un valor promedio de 12°C, con conductividad de 67 μS cm⁻¹, susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.46, adecuado para usos diversos. Muy buena oxigenación con un valor promedio de 12.0 mg O₂ L⁻¹.</p> <p>Aguas blandas con proporciones similares de calcio y magnesio. Alcalinidad baja (49 mg CaCO₃ L⁻¹) Los sólidos sedimentables fueron de 0.2 mL L⁻¹. Con concentraciones bajas de nitratos, nitritos y amonio; el fósforo total tuvo una concentración promedio baja de 0.07 mg L⁻¹. Con agua de buena calidad en función de la DBO₅ y aceptable en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico, con espacio poroso de 73%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica medio, así como niveles bajos de nitrógeno total.</p>		
Vegetación:	<p>Bosque mixto conformado principalmente por <i>Quercus sp</i> y algunos ejemplares de <i>Pinus sp</i>. Presencia de <i>Senecio sp.</i>, <i>Senecio angulifolius</i>, <i>Bacharis sp.</i> y helechos.</p>		
Observaciones:	<p>El cauce con orillas consolidadas, lecho con rocas grandes y abundancia de grava, presencia de truchas en el río.</p>		

NEXPAYANTLA



Figura 2.70 Río de la cañada Nexpayantla en tres épocas diferentes (LCAyE, noviembre-2009; febrero- 2010, marzo-2010).

ID	41	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 532212 W	2107046 N	
Altitud:	2949 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Recreativo forestal
Pendiente del terreno:	8°	Pendiente del cauce:	5°
Caudal promedio	0.03 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.389 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.4 m		
Características agua:	La temperatura del agua registró valores entre 7.0 y 18.3°C, con una conductividad media de 86.7 μS cm ⁻¹ , susceptible de ser potabilizada. Con pH promedio de 7.21, adecuado para los diferentes usos. Con concentraciones de oxígeno disuelto bajas entre 4.1 y 6.5 mg O ₂ L ⁻¹ . Aguas moderadamente duras, con proporción similar de calcio y magnesio, y alcalinidad baja (25.9 mg CaCO ₃ L ⁻¹). Con mínimas concentraciones de nitrógeno y fósforo total promedio de 0.286 mg L ⁻¹ . Con excelente calidad según la DBO ₅ , pero contaminada en función de DQO.		
Características del suelo	Arenoso, volcánico con espacio poroso de 62%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica muy bajo. Nivel bajo de nitrógeno total y alto de fósforo disponible.		
Vegetación:	Bosque mixto de <i>Abies religiosa</i> y <i>Cupressus</i> sp. conformando ambos el estrato arbóreo alto y medio. Con presencia en el estrato herbáceo de <i>Stellaria cuspidata</i> , <i>Dichondra sericea</i> , <i>Stachys rotundifolia</i> , <i>Spergularia mexicana</i> , <i>Heuchera orizabensis</i> , <i>Lycianthes moziniana</i> , <i>Marchantia</i> sp., <i>Potentilla</i> sp., <i>Senecio</i> sp., <i>Senecio multidentalis</i> , <i>Senecio osizabensis</i> , <i>Salvia elegans</i> , <i>Eupatorium glabratum</i> , <i>Gnaphalium roseum</i> , <i>Polystichum rachichlaena</i> .		
Observaciones:	Este sitio sufrió severos daños en febrero de 2010, con el desprendimiento de rocas, suelo de la parte alta de la cañada, donde se había presentado erosión, aunado a una fuerte avenida, esto dio como resultado un impacto en el ecosistema, que pasarán muchos años para que pueda restaurarse naturalmente.		

ALCALICA VIVERO



Figura 2.71 Río Alcalica adyacente al vivero de Bienes comunales de Amecameca.
(LCAYE, mayo, diciembre-2012)

ID 7		Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 530493 W	2114353 N	
Altitud:	2885 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo: Agrícola Forestal	
Pendiente del terreno:	13.32°	Pendiente del cauce:	4.03°
Caudal promedio	0.2630 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.614 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	4.6 m		
Características agua:	<p>La temperatura del agua registró valores entre 8 y 11°C, con calidad para ser potabilizada según su conductividad media de 66 (μS cm⁻¹). Con pH promedio (7.74) adecuado para los diferentes usos. Con concentraciones adecuadas de oxígeno disuelto promedio de 7.05. Aguas blandas con magnesio y calcio en proporciones similares y baja alcalinidad (21.6 mg CaCO₃ L⁻¹).</p> <p>Con concentraciones de nitrógeno inorgánico y fósforo total (0.124 mg L⁻¹). Con buena calidad de acuerdo con la DBO₅, pero contaminada en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico con espacio poroso de 70%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica medio, nivel bajo de nitrógeno total.</p>		
Vegetación:	<p>Asociación <i>Pinus sp.</i>, <i>Quercus sp.</i> <i>Cupressus, sp</i> y <i>Arbutus xalapensis</i>, con abundante vegetación secundaria.</p>		
Observaciones:	<p>Esta parte del río, se encuentra en área de Bienes comunales de Amecameca y es atravesado por el camino que lleva al vivero.</p>		

ALCALICA BAJO



Figura 2.72 Río Alcalina en zona de bosque con meandro y presencia de vegetación ribereña (LCAyE, octubre-2012; febrero-2014)

ID	6	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 530806 W	2114617 N	.
Altitud:	2865 m		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Forestal
Pendiente del terreno:	11°	Pendiente del cauce:	5.9°
Caudal promedio	0.2817 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.713 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	2.3 m		
Características agua:	<p>La temperatura del agua presentó un valor promedio de 9.5°C, con buena calidad susceptible de ser potabilizada con una conductividad media de 66 (μS cm⁻¹). Con pH promedio de 6.93 adecuado para los diferentes usos. Con concentraciones de oxígeno disuelto promedio de 5.87, la cual parece baja con base en el movimiento y la oxigenación que presenta la masa de agua, por lo que se infieren procesos de descomposición abundantes.</p> <p>Aguas blandas con mayor proporción de calcio que de magnesio, con alcalinidad baja.</p> <p>Con mínimas concentraciones de nitratos y nitritos y concentración de amonio promedio de 0.154 mg N-NH₄⁺ L⁻¹ y fósforo total promedio de 0.20 mg L⁻¹). Con excelente calidad de acuerdo con la DBO₅, pero fuertemente contaminada en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico con espacio poroso de 70.5%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica alto, nivel medio de nitrógeno total y alto de fósforo disponible</p>		
Vegetación:	<p>Asociación <i>Abies religiosa</i> con <i>Pinus sp.</i> y <i>Quercus sp.</i> Están presentes además y <i>Marchantia sp.</i>, <i>Senecio sp.</i> <i>Fuchsia microphylla</i>,</p>		

AXOCHIAPA



Figura 2.73 Vista de la alimentación del agua del arroyo a las cajas de agua que abastecen a Santa Isabel Chalma. (LCAy, marzo-2011; abril-2014)

ID	17	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 529048 W	2119502 N	
Altitud:	2805 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Forestal perturbado
Pendiente del terreno:	8.8 °	Pendiente del cauce:	10°
Caudal promedio	0.0371 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.408 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	3.65 m		
Características agua:	<p>La temperatura del agua se mantuvo entre 7 y 11°C, la conductividad promedio fue de 120 μS cm⁻¹, por lo que es susceptible de ser potabilizada. Con pH promedio de 7.48, adecuado para los diferentes usos. Con concentraciones altas de oxígeno disuelto y promedio de 11.17 mg O₂ L⁻¹. Presenta aguas moderadamente duras, con magnesio y calcio en proporciones similares y alcalinidad media (promedio 74 mg CaCO₃ L⁻¹), con sólidos sedimentables promedio de 0.374 mL L⁻¹</p> <p>Las concentraciones de nitrógeno inorgánico son bajas en las tres especies químicas y fósforo total (0.175 mg L⁻¹). Con buena calidad conforme a la DBO₅, pero aceptable en función de DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico, con espacio poroso de 65%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica medio, nivel bajo de nitrógeno y fósforo totales.</p>		
Vegetación:	<p>Bosque de <i>Quercus ilex</i> y ocasionalmente <i>Pinus sp.</i> Con presencia de <i>Adiantum sp.</i> <i>Asplenium sp.</i> <i>Blechnum occidentale L.</i></p>		
Observaciones:	<p>Área donde el caudal es almacenado en cajas de agua, para su distribución en la población de Santa Isabel Chalma.</p>		

TEPEPOTL - CASCADA



Figura 2.74 Cascada y río en Tepepotl. (LCAyE, noviembre-2010; junio-2012)

ID	62	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 528500 W	2116550 N	
Altitud:	2780 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Recreativo-Forestal
Pendiente del terreno:	6 °	Pendiente del cauce:	14.3 °
Caudal promedio	0.116m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.250 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	3.1 m		
Características agua:	<p>La temperatura promedio fue de 6°C, con conductividad de 204 μS cm⁻¹, susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.67, adecuado para usos diversos. Buena oxigenación con un valor promedio de 7.73 mg O₂ L⁻¹. Aguas moderadamente duras con proporción equiparable de calcio y de magnesio. La alcalinidad baja (18 mg CaCO₃ L⁻¹). Sin sólidos sedimentables. Con concentraciones bajas de nitratos y nitritos, pero altas concentraciones de amonio, que rebasan los límites permisibles de consumo. El fósforo total tuvo una concentración promedio de 0.24 mg L⁻¹. Con agua de excelente calidad en función de la DBO₅ y contaminada en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico, con espacio poroso de 66%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica medio, así como niveles bajos de nitrógeno total y de fósforo total altos.</p>		
Vegetación:	<p>La vegetación arbórea está representada por <i>Pinus sp.</i> y <i>Abies religiosa</i> con presencia en el estrato herbáceo de <i>Marchantia sp.</i> Y <i>Senecio sp.</i></p>		
Observaciones:	<p>Este sitio se distingue por su agua de apariencia cristalina y la presencia de una bonita cascada de más de 30 m.</p>		

CUATONCO



Figura 2.75 Arroyo y cauce en el paraje Cuatonco en diferentes épocas del año. (LCAyE, julio, septiembre, noviembre-2011)

ID	25	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 528227378 W	2118961 N	
Altitud:	2752 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo: Agropecuario	
Pendiente del terreno:	14°	Pendiente del cauce:	
Caudal promedio	0.0028 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.139seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio (m):	0.70 m		
Características agua:	<p>La temperatura del agua promedio fue de 11°C, de acuerdo con su conductividad puede ser potabilizada, (121.5 μS cm⁻¹). Con un pH fluctuante entre 7.40 y 8.36, adecuado para los diferentes usos. Con concentración promedio alta de oxígeno disuelto con 11.84 mg O₂ L⁻¹. Presenta aguas moderadamente duras, con baja proporción de calcio y alta de magnesio y alcalinidad media (133 mg CaCO₃ L⁻¹), con sólidos sedimentables variables entre 0.014 y 0.159 mL L⁻¹. Las concentraciones de nitratos, nitritos y amonio son bajas, el fósforo total tuvo un promedio de 0.242 mg L⁻¹. Con aceptable calidad conforme con la DBO₅, pero contaminada en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, volcánico, moderadamente ácido, con salinidad despreciable y porcentaje de materia orgánica medio, nivel bajo de nitrógeno total y de fósforo disponible.</p>		
Vegetación:	<p>La vegetación está representada principalmente por <i>Pinus ayacahuite</i>.</p>		

ALCALICA



Figura 2.76 El afluente principal del río Alcalica, en la zona agropecuaria.
(LCAYE, octubre-2010; marzo-2011)

ID 8		Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 529075 W	2113867 N	
Altitud:	2684 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Agropecuario
Pendiente del terreno:	6.5°	Pendiente del cauce:	5°
Caudal promedio	0.1796 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente	0.582 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	3.1 m		
Características agua:	La temperatura del agua registró un promedio de 8.6°C, con calidad para ser potabilizada según su conductividad media de 63.5 (µS cm ⁻¹). pH promedio de 7.43, adecuado para los diferentes usos. Con muy buen nivel de oxigenación con una concentración promedio de 12.4 mgO ₂ L ⁻¹ . Aguas con baja alcalinidad (34.002 mg CaCO ₃ L ⁻¹); blandas con baja concentración de calcio y alta de magnesio.		
	Las concentraciones del nitrógeno inorgánico fueron bajas en general y la media de fósforo total fue de 0.226 mg L ⁻¹). Con aceptable calidad según la DBO ₅ , pero contaminada en función de DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico con espacio poroso de 67%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica medio, nivel bajo de nitrógeno total y de fósforo disponible.		
Vegetación:	Asociación <i>Pinus sp.</i> <i>Arbutus xalapensis</i> y <i>Cupressus sp.</i> Presencia de vegetación secundaria y disminución notable de vegetación ribereña.		
Observaciones:	En algunos de los muestreos el caudal de agua se vio severamente disminuido por el entubamiento y desviación para riego en zonas de mayor altitud.		

TEPEPOTL – TRUCHAS

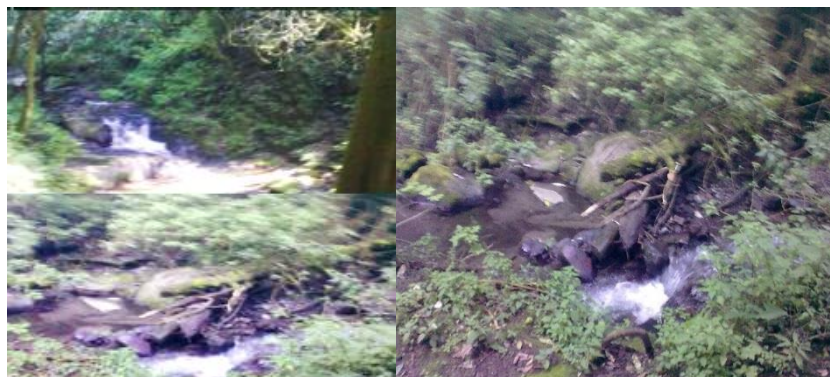


Figura 2.77 Río de Tepepotl antes de entrar a las instalaciones del cultivo de trucha.
(LCAYE, noviembre 2010; junio 2012)

ID	63	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 529123 W	2116586 N	
Altitud:	2634 m.		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Recreativo-Forestal
Pendiente del terreno:	3°	Pendiente del cauce:	6°
Caudal promedio	0.147 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.493 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.9 m		
Características agua:	La temperatura promedio fue de 6.5°C, con conductividad de 197 µS cm ⁻¹ , susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.64, adecuado para usos diversos. Buena oxigenación con un valor promedio de 7.06 mg O ₂ L ⁻¹ . Aguas moderadamente duras con proporción equiparable de calcio y de magnesio. La alcalinidad baja (19.2 mg CaCO ₃ L ⁻¹). Con concentraciones bajas de nitratos y nitritos, pero altas concentraciones de amonio, que rebasan los límites permisibles de consumo. El fósforo total tuvo una concentración promedio de 0.11 mg L ⁻¹ . Con agua de excelente calidad en función de la DBO ₅ y contaminada en función de la DQO.		
Características del suelo	Franco arenoso, volcánico, con espacio poroso de 73%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica medio, así como niveles bajos de nitrógeno total y de fósforo total altos.		
Vegetación:	Zona perturbada, con vegetación arbórea representada por <i>Quercus sp.</i> Y algunos ejemplares de <i>Abies religiosa</i> con presencia en el estrato herbáceo de <i>Marchantia sp.</i> Y <i>Senecio sp.</i>		
Observaciones:	Lecho rocoso, con rocas de gran tamaño, agua que alimenta el cultivo trutícola.		

PEÑA VERDE – TRUCHAS



Figura 2.78 Arroyo proveniente de Ranchotitla que alimenta un cultivo de truchas. (LCyE, mayo, diciembre-2012)

ID	72	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 527261 W	2118378 N	.
Altitud:	2612 m		
Cobertura del suelo:	Bosque mixto	Uso del suelo:	Recreativo - Forestal
Pendiente del terreno:	4.2 °	Pendiente del cauce:	2.5°
Caudal promedio	0.019 m seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.22 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.75 m		
Características agua:	La temperatura promedio fue de 10 °C, con conductividad de 117 μS cm ⁻¹ , susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 5.9 en la época de estiaje rebasando el límite permisible inferior para agua de consumo humano y pH promedio de 7.6, en época de lluvias, adecuado para usos diversos. Oxigenación media con un valor promedio de 5.9 mg O ₂ L ⁻¹ . Aguas duras en el estiaje y blandas en lluvias con proporción similar de calcio y magnesio. Alcalinidad baja (33.9 mg CaCO ₃ L ⁻¹). Con sólidos sedimentables muy abundantes en concentración de 5.1 mL L ⁻¹ . Con concentraciones aceptables de nitratos, nitritos y amonio, en el estiaje, que aumentan en la época lluviosa, donde el amonio rebasa el límite permisible y el fósforo total con una concentración promedio de 0.19 mg L ⁻¹ . Con agua de excelente calidad en el estiaje y de buena calidad en lluvias en función de la DBO ₅ y de buena calidad según la DQO.		
Características del suelo	Arenoso franco, lo que se corrobora con su densidad aparente, con espacio poroso de 65%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica medio, así como niveles bajos de nitrógeno total y de fósforo total.		
Vegetación:	Zona de cultivos mixtos, en ocasiones sin agua ya que antes es almacenadas en las cajas de agua y desviada para la siembra, con la presencia de <i>Alnus sp</i> y <i>Pinus sp</i> , en el estrato arbóreo y en el herbáceo <i>Senecio sp</i> , <i>Marchantia sp.</i> y <i>Salvia sp.</i>		
Observaciones:	Es un sitio muy perturbado donde anteriormente se realizaba cultivo de trucha y que solo en ocasiones presenta agua continua.		

TOMACOCO



Figura 2.79 Río Alcalica en el paraje Tomacoco. (LCAyE, octubre-2010, septiembre-2012)

ID	71	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 527300 W	2112627 N	
Altitud:	2573 m.		
Cobertura del suelo:	Agrícola	Uso del suelo:	Agropecuario
Pendiente del terreno:	4°	Pendiente del cauce:	3°
Caudal promedio	0.089 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.409 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	2 m		
Características agua:	<p>La temperatura promedio fue de 17.1°C, con conductividad de 66 µS cm⁻¹, susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.17, adecuado para usos diversos. Buena oxigenación con un valor promedio de 8.9 mg O₂ L⁻¹.</p> <p>Aguas blandas con proporción de calcio menor que la de magnesio. La alcalinidad es baja (20 mg CaCO₃ L⁻¹). Con sólidos sedimentables en concentración de 0.15 mL L⁻¹.</p> <p>Con concentraciones aceptables de nitratos, nitritos y amonio, y el fósforo total con una concentración promedio de 0.20 mg L⁻¹. Con agua de buena calidad en función de la DBO₅ y contaminada conforme al promedio de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Arenoso, volcánico, espacio poroso de 60%, neutro, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica medio, así como niveles bajos de nitrógeno total y de fósforo total.</p>		
Vegetación:	<p>Zona de cultivo principalmente de maíz, con presencia de pasto en las orillas, presencia de algunos ejemplares de <i>Alnus sp.</i> y en el estrato herbáceo de <i>Buddleja cordata</i> y <i>Crataegus mexicana</i>.</p>		
Observaciones:	<p>Es una zona con un paso constante donde el río es atravesado por los vehículos, presencia continua del ganado y, toda clase de desechos sólidos.</p>		

TEZAHUAC



Figura 2.80 Arroyo en Tezahuac, zona agropecuaria con descargas de basura.(LCAyE, noviembre-2010, septiembre-2011)

ID	66	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 525870 W	2113274 N	
Altitud	2518 m		
Cobertura del suelo:	Agrícola	Uso del suelo:	Agropecuario
Pendiente del terreno:	5°	Pendiente del cauce:	3°
Caudal promedio	0.072 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.520 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	0.80 m		
Características agua:	<p>La temperatura promedio fue de 7.6°C, con conductividad de 63 μS cm⁻¹, susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.3 8.88.8, adecuado para usos diversos. Buena oxigenación con un valor promedio de 8.8 mg O₂ L⁻¹.</p> <p>Aguas duras con proporción de calcio menor que la de magnesio. La alcalinidad baja (40 mg CaCO₃ L⁻¹). Con sólidos sedimentables en concentración de 0.59 mL L⁻¹.</p> <p>Con concentraciones bajas de nitratos, nitritos y amonio, y el fósforo total con una concentración promedio de 0.14 mg L⁻¹. Con agua de buena calidad en función de la DBO₅ y de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Arenoso, lo que se corrobora con su densidad aparente, con espacio poroso de 70%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica muy bajo, así como niveles bajos de nitrógeno total y de fósforo total.</p>		
Vegetación:	<p>Zona de cultivo de maíz, sin vegetación ribereña, con la presencia únicamente de pastos, con <i>Crataegus mexicana</i> como especie dominante.</p>		
Observaciones:	<p>Es un sitio severamente contaminado con escombros, toda clase de desechos sólidos, la presencia continua de ganado y de vehículos.</p>		

VÍAS LIBRAMIENTO



Figura 2.81 Vista del Río entre Amecameca y camino a Ayapango por libramiento.
(LCAyE, noviembre-2010, junio-2011)

ID	74	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 522978 W	2114682 N	
Altitud:	2463 m.		
Cobertura del suelo:	Urbana	Uso del suelo:	Urbano
Pendiente del terreno:	3 °	Pendiente del cauce:	2°
Caudal promedio	0.152 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.517 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	3.5 m		
Características agua:	La temperatura promedio fue de 15°C, con conductividad de 898.25 μS cm ⁻¹ , susceptible de ser potabilizada. El pH promedio fue de 7.54, adecuado para usos diversos. Anoxia completa sin poder detectar la concentración de oxígeno disuelto ni analítica, ni instrumentalmente. Aguas duras en lluvias y muy duras en estiaje, con proporción de calcio mucho menor que la de magnesio. Alcalinidad alta (310 mg CaCO ₃ L ⁻¹). Con sólidos sedimentables en concentración de 4.34 mL L ⁻¹ . Con concentraciones de nitratos y nitritos se elevan, pero el amonio, rebasa los límites establecidos para las adecuadas características físicas y químicas. El fósforo total tiene una concentración promedio elevada de 8.23 mg L ⁻¹ y rebasa los límites para protección de vida acuática y uso público urbano. Con agua contaminada en función de la DBO ₅ y fuertemente contaminada según la DQO.		
Características del suelo	Arenoso, lo que se corrobora con su densidad aparente, con espacio poroso de 52%, moderadamente ácido, con salinidad despreciable. Porcentaje de materia orgánica muy bajo, así como niveles bajos de nitrógeno total y de fósforo total.		
Vegetación:	Zona urbana y cerca del paso de carretera, con cultivos agrícolas cercanos. El estrato arbóreo está representado por <i>Alnus jorullensis</i> , hay pastos cerca de la orilla y la especie encontrada fue <i>Buddleia sessiliflora</i> .		
Observaciones:	Es un sitio severamente contaminado con escombros, toda clase de desechos sólidos, la presencia continua de vehículos y evidentes descargas de desechos domésticos y drenajes.		

AYAPANGO



Figura 2.82 Vista del Río en Ayapango. (LCAyE, diciembre-2010)

ID	18	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 520911 W	2115233 N	.
Altitud:	2433 m		
Cobertura del suelo:	Agrícola	Uso del suelo: Urbano	
Pendiente del terreno:	3 °	Pendiente del cauce:	5°
Caudal promedio	0.45 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.243 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	2.8 m		
Características agua:	<p>La temperatura tuvo un valor promedio de 15°C, con conductividad elevada (727 μS cm⁻¹), pero susceptible de ser potabilizada; con pH promedio de 7.05, adecuado para los diferentes usos. Con oxigenación muy deficiente, con un valor promedio de 1.2 mg O₂ L⁻¹. Aguas muy duras, con mayor proporción de calcio y alcalinidad alta (228 mg CaCO₃ L⁻¹).</p> <p>Con concentraciones aceptables de nitratos y nitritos, pero muy altas de amonio que rebasan los límites permisibles para consumo. Concentración de fósforo total alta (5.2 mg L⁻¹) y rebasa los límites máximos permisibles para protección de vida acuática, estuarios y uso público urbano. Con agua fuertemente contaminada en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Franco arenoso, con espacio poroso de 81%, medianamente alcalino, con baja salinidad. Porcentaje de materia orgánica medio, así como niveles moderados de nitrógeno total y muy elevados de fósforo disponible.</p>		
Vegetación:	<p>Esta parte del río se encuentra inmerso en una zona de cultivos agrícolas hacia uno de sus laterales y el otro expuesto a la zona urbana, además de los cultivos en el estrato herbáceo se encontró <i>Sida haenkeana</i>.</p>		
Observaciones:	<p>Canal rústico de uso urbano y agrícola, en una zona altamente perturbada con basura y agua muy contaminada a simple vista. (Color oscuro, olor desagradable, etc.)</p>		

NEPANTLA



Figura 2.83 Vista del Río en Nepantla, en época de estiaje. (LCAyE, diciembre-2010)

ID	35	Cuenca	México
Coordenadas UTM:	14Q 516771 W	2098365 N	
Altitud:	1987 m		
Cobertura del suelo:	Urbano	Uso del suelo:	Urbano
Pendiente del terreno:	12°	Pendiente del cauce:	15°
Caudal promedio	0.2 m ³ seg ⁻¹	Velocidad de corriente media	0.233 m seg ⁻¹
Ancho del cauce promedio	1.65 m		
Características agua:	<p>La temperatura tuvo un valor promedio de 17°C, con conductividad elevada (909 μS cm⁻¹), pero susceptible de ser potabilizada; con pH promedio de 78.36, adecuado para los diferentes usos. Con oxigenación baja, con un valor promedio de 4.7 mg O₂ L⁻¹. Aguas muy duras, con mayor proporción de calcio y alcalinidad alta (280 mg CaCO₃ L⁻¹). Con concentraciones altas de nitratos y amonio, este último rebasando el límite permisible para aguas de consumo humano. Concentración de fósforo total alta (6.36 mg L⁻¹) y rebasa los límites máximos permisibles para protección de vida acuática, estuarios y uso público urbano. Con agua fuertemente contaminada en función de la DQO.</p>		
Características del suelo	<p>Arenoso, con espacio poroso de 74%, neutro, con baja salinidad. Porcentaje de materia orgánica bajo, así como niveles moderados de nitrógeno total y muy elevado de fósforo disponible.</p>		
Vegetación:	<p>Existen pocos árboles, principalmente <i>Alnus sp.</i>, además del estrato herbáceo donde se encuentran <i>Marchantia sp.</i> y <i>Senecio sp.</i></p>		
Observaciones:	<p>El río se encuentra en la zona urbana, con abundante movimiento, pero olor desagradable, en una zona perturbada con basura.</p>		

Capítulo 3

Caracterización limnológica de sistemas lóticos.

INTRODUCCIÓN.

La tierra se conoce como el planeta azul, debido a la gran cantidad de agua que cubre su superficie, el 97.5% de ésta, es agua salada que forma parte de mares y océanos, el 2.5% restante, es agua dulce y de este pequeño porcentaje casi el 69% se encuentra en los polos y las altas montañas en forma de hielo, el 30% en acuíferos profundos y la humedad del suelo y solo el 1 % fluye por las cuencas a través de los sistemas lóticos o de agua corriente en forma de arroyos o ríos, que conducen el agua hacia sistemas lénticos naturales (lagos y lagunas) o artificiales (presas, embalses, etc.) donde es almacenada por diferentes periodos de tiempo o sigue su trayectoria en la cuenca para desembocar al mar (UNESCO, 2006). Por esta razón, la cantidad de agua dulce de la que se puede disponer es limitada, pero indispensable para el suministro de agua potable, la producción de alimentos, el uso recreativo y la producción industrial.

A través de la historia, el agua ha sido considerada como un recurso susceptible de ser utilizado por la naturaleza y para el desarrollo de todas las actividades realizadas por el ser humano. En 2010, tuvo lugar la resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas donde expresamente se reconoce el agua como un bien común y el acceso básico al agua y al saneamiento como un derecho humano, esto bajo una perspectiva medio ambiental para asegurar el acceso universal a este bien y garantizar una gestión integral del mismo que resulte socialmente equitativa, ecológicamente sostenible, políticamente democrática y culturalmente aceptable (ONU, 2010).

La especie humana ha utilizado el agua como un recurso infinito, pero se debe considerar que menos del 0.5% de las reservas del planeta están disponibles para el uso humano, sin alterar las reservas de agua para mantener el ciclo hidrológico (Barlow, 2006), pero esta especie ha alterado el ciclo a través del deterioro de las cuencas hidrográficas, poniendo en riesgo su supervivencia, y de toda la biota del planeta.

El incremento de la población a nivel mundial ha disminuido, su tasa de incremento, pero aún es preocupante por la demanda de insumos para supervivencia y calidad de vida como son: el agua, el oxígeno, la producción de alimentos, calidad ambiental, etc. Esto provoca una presión creciente sobre la tierra y los seres vivos que acoge. Por lo tanto, es indiscutible que la forma de uso y manejo de los bienes y los recursos naturales no ha sido la adecuada y debe cambiar de manera radical.

El agua en el ámbito mundial

Durante el siglo XX la población mundial se triplicó y su consumo de agua en lugar de incrementarse en la misma proporción lo hizo en un 700%, lo que muestra que los procesos de urbanización estuvieron aunados al uso indiscriminado de este recurso. El volumen de agua utilizado a nivel mundial ha aumentado a razón de 1% por año desde la década de 1980 (UNESCO-WWAP, 2019, ONU, 2019).

El agua considerada como un bien común, sufre una reducción importante en sus reservas con una tendencia a su agotamiento, el análisis de las actividades humanas indica que esto se ha generado principalmente por seis acciones: (1) la deforestación y la degradación de bosques y selvas con la consiguiente reducción de captación y cantidad de agua que llega al ecosistema; (2) la creación de zonas urbanizadas con altas poblaciones lo que destruye las condiciones naturales del territorio y el paisaje donde se retiene agua, dando lugar a islas de calor urbanas en donde se elimina la infiltración natural; (3) la extracción de acuíferos con fines agrícolas y de urbanización a una velocidad superior a la que la naturaleza la incorpora al manto freático; (4) el desvío de caudales o trasvases desde los lugares en donde hay disponibilidad de agua de manera natural a donde se requiere por urbanización o producción agrícola industrializada, afectando severamente la salud de los ecosistemas; (5) el comercio de agua virtual a través de la exportación de productos alimenticios que se cultivan en las cuencas con un gran consumo de agua; (6) el cambio climático que disminuye la presencia de glaciares e incrementa la evapotranspiración y la evaporación de aguas superficiales.

El mayor consumidor hasta este momento es la agricultura (incluida ganadería y acuicultura) con una extracción de 69% a nivel global mientras que el consumo industrial se calcula en aproximadamente 19% y el residencial o doméstico en 12% (PNUD, 2015., AQUASTAT, s.f.). Se estima que esta tendencia puede continuar hasta 2050, con una disminución en el consumo para la agricultura y un incremento del 20 al 30% en los sectores industrial y doméstico (OCDE, 2012; Burek, et al., 2016).

La contaminación resultante de la agricultura difusa y otros usos de la tierra tiene un impacto perjudicial sobre la calidad del agua dulce y del agua marina, que en gran medida no ha sido cuantificado. Otro grave problema es la descarga de aguas residuales que se vierte al medio, sin ningún tipo de tratamiento y que se estima que es entre un 70 y 80 % de las aguas residuales a nivel mundial. Esta contaminación multifactorial, implica costos muy importantes para los usuarios intermedios y los ecosistemas.

Con el nacimiento del siglo XXI, inicio una etapa, en la que se ha despertado una mayor atención gubernamental y social al problema del agua y en general de las condiciones ambientales. Esto se hizo manifiesto en la propuesta de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y el compromiso de diferentes países, para llevarlos a cabo y cumplir las metas.

En los ODM se señaló la importancia de invertir más en el diagnóstico de calidad de agua y supervisión para lograr el mejor rendimiento y por primera vez se incluyó la calidad del agua, como un riesgo creciente para la salud humana, pero también para remediar las fuentes de agua contaminada y se reconoció la necesidad de invertir en capacitación, equipo e investigación a nivel mundial para abordar la contaminación química. Enfatizando que es indispensable conocer la calidad del agua, para asegurar la provisión de agua con calidad y en cantidad conveniente.

En 2015, al concluir el periodo propuesto para los ODM y analizar los resultados positivos que se obtuvieron, se acordó una nueva agenda para el desarrollo (ONU, 2015a), a la que se denominó Agenda 2030, encaminada al Desarrollo Sostenible con un plan de acción en favor de las personas, el planeta y la prosperidad con 17 Objetivos (ODS) con un enfoque integral, formulados para erradicar la pobreza, promover la prosperidad y el bienestar para todos, proteger el medio ambiente y hacer frente al cambio climático a nivel mundial, en un entorno de responsabilidad por país y la oportunidad de emprendimiento a través de nuevas vías (ONU, 2015b).

Al ritmo actual de consumo de agua, para 2050, más de la mitad de la población mundial, correrá el riesgo de escasez de agua, según Make Every Drop Count. (HLPW, 2018). Teniendo en cuenta, que el mundo ha perdido 70% de sus zonas húmedas naturales durante el último siglo y el deterioro de los ecosistemas y la presión a la que son sometidos ha sido un proceso continuo que pone en riesgo su calidad permanentemente, por incorporación de materiales minerales y químicos, agentes biológicos, infecciosos, tóxicos y radiactivos. Por ello, se propusieron dos etapas: (1) De 2015 a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos. (2) De 2015 a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez y reducir considerablemente el número de personas que sufren por la falta de este bien (PNUD, 2015).

Si se quiere mitigar la escasez de agua y mejorar su disponibilidad (calidad y cantidad) es fundamental proteger y recuperar los ecosistemas relacionados con este recurso, como bosques, montañas, humedales y ríos (Giovanini, 2019). Se deben conocer a fondo, considerando sus cambios en el tiempo y el espacio. Además, se requiere mayor cooperación internacional para estimular la eficiencia hídrica y apoyar tecnologías de tratamiento en los países en desarrollo.

Para abordar el tema de la calidad del agua acorde con los Objetivos del Desarrollo Sostenible se plantearon 7 desafíos (Fig. 3.1). La discusión del papel del sector académico se centró en la calidad y cantidad del agua en relación con el ámbito biosanitario a nivel mundial, para mantenimiento de la biota de manera sostenible, el reto de mantener la calidad del agua a grandes escalas, la comprensión de las interacciones entre aguas superficiales y subterráneas alteradas por los procesos edáficos y climáticos, con una visión de inversión para la protección y restauración; el desarrollo de mejores políticas e infraestructura que favorezca la protección del ambiente; así como, la evaluación cuantitativa de riesgos microbiológicos como una herramienta para mejorar la calidad del agua en pro de la salud y el establecimiento de estrategias de monitoreo y diagnóstico como base científica para la toma de decisiones.

El agua en el ámbito nacional

En México las primeras acciones para la protección del agua fue el papel asignado a los Parques Nacionales que en gran parte se localizan en regiones de alta montaña donde se ubican las fuentes de agua que circula por la cuenca, Liniger (1998) estimó que en algunos casos el agua proveniente de la zona montañosa puede ser hasta el 95% del flujo total en la cuenca y el adecuado manejo de este bien natural debe iniciar en estas áreas protegidas.

Con las proyecciones en la variabilidad climática que predicen un aumento en las temperaturas, el reto para México es qué cantidad y calidad de agua se debe asignar para los servicios ambientales, de tal forma que se mantenga una biota acuática saludable, se purifiquen los flujos de agua, se

mantenga la biodiversidad y se suministre una cantidad mínima que asegure la sobrevivencia y sustentabilidad del sistema (Jiménez et al. 2006).

Es necesario, que aunado al conocimiento del caudal ecológico y a las condiciones adversas que se presentan en los ecosistemas fluviales, se asegure y provea ese caudal a los sistemas riparios, (Garrido y Enríquez, 2010). Además, es imprescindible conocer cuáles son las causas que están provocando de manera específica esas condiciones adversas que se presentan en el 50 % de los ambientes riparios, así como definir la magnitud del desvío de caudales y la contaminación como consecuencia de la agricultura o la ganadería. La capacidad de autodepuración y resiliencia de los ecosistemas riparios depende en gran medida del flujo de agua y las condiciones ambientales que prevalecen en su entorno.

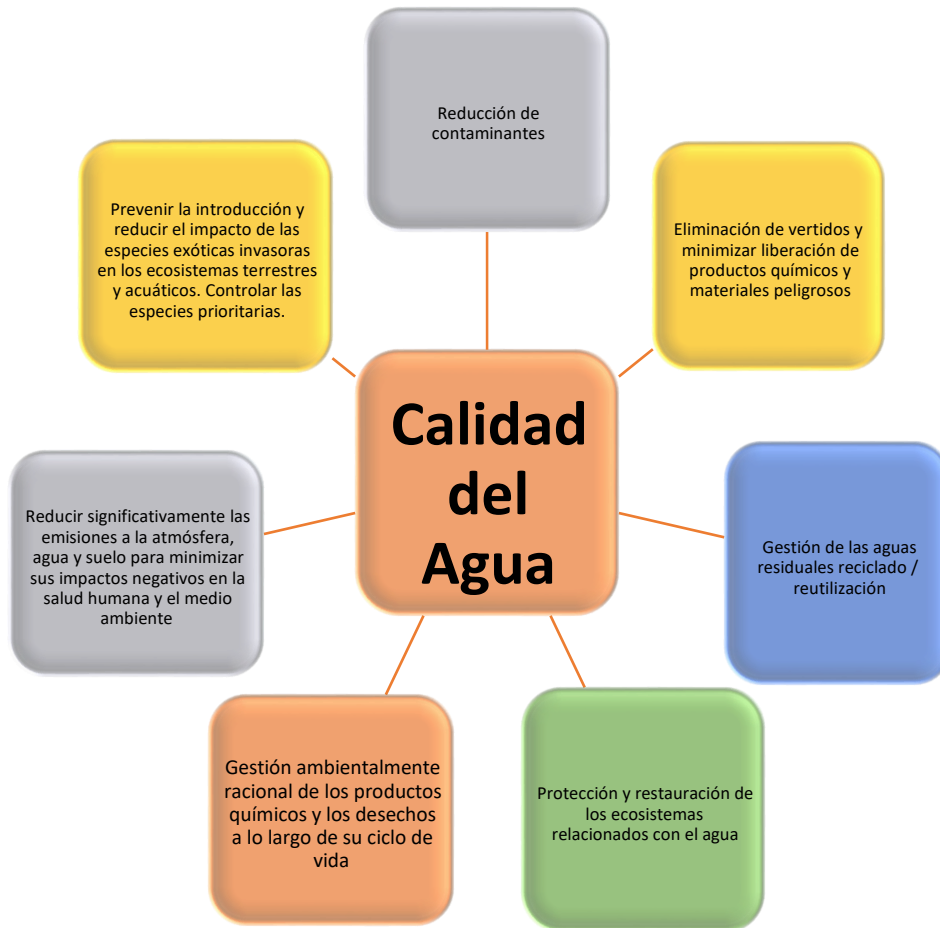


Figura 3.1 Desafíos en cuanto a calidad del agua que deben abordarse de acuerdo a los objetivos del desarrollo sostenible

La dinámica fluvial y el ambiente de ribera

Los ambientes fluviales al interactuar de forma continua con los sistemas terrestres, dan lugar a los ecosistemas ribereños, que se definen como zonas transicionales con gran heterogeneidad, reguladas por el flujo de agua dulce, que favorece la presencia de fuertes gradientes biofísicos y

energéticos que se manifiestan en alta variabilidad espacio-temporal y desarrollo de procesos ecológicos diversos y multidimensionales (Naiman, 2010; Naiman et al., 2005); cumplen la función de filtro y amortiguadores por su capacidad de almacenamiento y absorción, lo que los convierte en sistemas depuradores, complejos y difíciles de estudiar (Chovanec et al., 2000; Reed y Carpenter 2002; Allan 2004; Kutschker, 2009). La vegetación ribereña que se encuentra asociada a los sistemas lóticos de montaña tiene la capacidad de controlar la temperatura e intensidad de luz que llega al agua, aumenta la estabilidad de las orillas y contribuye con materia orgánica de origen vegetal que favorece la disminución de la velocidad de corriente, propiciando ambientes estables para el desarrollo de un hábitat adecuado para diversas especies animales (Granados et al., 2006). Esta vegetación se considera la base de la cadena trófica en los cuerpos de agua y evita la erosión de las riberas (Ceccon, 2003).

Los bosques juegan una función vital en la captación, la conservación, la purificación y el mantenimiento de los recursos hídricos, son adicionalmente una reserva de suelos de buena calidad. La cubierta vegetal, el sistema radical y la calidad del estrato superior del suelo permiten una buena infiltración y retención de agua (Brüschweiler et al., 2004). Es primordial reconocer la importancia de zonas de amortiguamiento en la interfaz suelo-agua, un ecosistema de gran relevancia no solo para estudios de biodiversidad, sino también de restauración ecológica en ambientes dulceacuícolas. Su importancia es de tal magnitud, que se considera impostergable la realización de actividades tendientes a su conservación y restauración (Granados, 2006).

La integridad funcional de una cuenca o microcuenca depende en gran medida de la interrelación de sus componentes biofísicos y socioeconómicos. Bajo esta perspectiva, las condiciones ecológicas de los arroyos y los ríos reflejan muchos de los procesos de alteración que afectan esta integridad.

Los impactos más comunes sobre arroyos y ríos se pueden subdividir en tres categorías:

- 1) Alteraciones en la forma física
- 2) Cambios en la descarga de agua
- 3) Incorporación de materia orgánica o sustancias químicas, además de la introducción de especies no nativas, que provocan contaminación biológica (Lindegaard, 1995).

Raven en 1998, mencionó que el hábitat y la diversidad biológica en sistemas lóticos están estrechamente relacionados, cualquier cambio a nivel físico o químico que se presente, altera los procesos de interacción en el ecosistema generando cambios en el mismo. Los sistemas ribereños tienen la capacidad de amortiguar esos cambios y mantener el equilibrio, pero cuando estos son alterados, esta capacidad disminuye y en consecuencia la estructura física y funcional de arroyo o río se modifica, impactando la estabilidad del cauce, la biodiversidad y sobre todo la vegetación ribereña, lo que da lugar a la degradación del suelo adyacente, la disminución en la capacidad de fijación de carbono, el deterioro de la calidad del agua y los patrones de escurrimiento e infiltración.

Los corredores ribereños son hábitats diversos, dinámicos y complejos, ya que como se mencionó anteriormente son la interfaz entre los sistemas terrestres y los acuáticos, por lo que abarcan diferentes entornos ambientales, comunidades y procesos ecológicos, conforman un hábitat crítico para la conservación de especies raras y amenazadas, por lo que se consideran refugios para estas especies. Estos corredores ribereños abarcan el canal del río y la porción más alta del cauce, la posición y tamaño del río en la red hídrica, el régimen hidrológico y la geomorfología local, a través de ellos se mantiene la conectividad del paisaje a lo largo de gradientes ambientales extensos y dinámicos (Franco y Vázquez, 2017).

Calidad del agua y monitoreo

El cambio climático ha dado lugar al planteamiento de diferentes escenarios, pero con una problemática clara por atender, la sostenibilidad de los recursos naturales para cubrir las necesidades de más de 7600 millones de habitantes en 2020 y los 9700 millones que se estima poblarán el mundo en el 2050, lo que permite pronosticar conflictos sociales y económicos por estos recursos.

Los cambios en la distribución del agua tendrán un impacto directo en el funcionamiento y en la estructura de los ecosistemas actuales. Los tipos de vegetación que se verán más afectados serán los bosques de coníferas y encinos, seguidos del matorral xerófilo, el bosque mesófilo de montaña, la vegetación acuática y subacuática y el pastizal (Villers y Trejo, 1998; Sarukhán y Dirzo, 2001)

El agua y el suelo constituyen recursos naturales estratégicos que requieren un monitoreo permanente para el diagnóstico oportuno y la mejora de las condiciones con vistas a la productividad, la competitividad y la sostenibilidad de los ecosistemas. La gestión de dichos recursos invaluable, se concibe como el proceso por medio del cual se decide la manera en que el escenario futuro debe ser conservado o variado con respecto al presente. Como parte de los servicios ambientales que ofrecen los ecosistemas, se encuentran estos dos elementos, como factores insustituibles para la conservación, el mantenimiento y la sostenibilidad de los bienes y recursos naturales a fin de que se pueda dotar de beneficios básicos a la sociedad, para contribuir a mejorar su calidad de vida y garantizar la perpetuidad.

Además, la correlación que existe entre las características del paisaje y la calidad de los recursos hídricos y edáficos son indiscutibles, los cambios en la vocación del suelo modifican su calidad y por ende esta relación. En la medida que se conserve y se recupere la calidad de estos recursos, se mantendrá la biodiversidad, la estructura ribereña y del bosque, se proporcionará estabilidad al hábitat y al ecosistema, restableciendo también la belleza paisajística.

En los Estados Unidos Mexicanos se realiza el monitoreo de la calidad del agua en los sistemas hídricos más importantes por su caudal y su aprovechamiento; para la evaluación de la calidad del agua se utilizan tres indicadores principales: la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO_5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST). La DBO_5 y la DQO se utilizan para la estimación de la materia orgánica en los cuerpos de agua, mientras que los SST miden todos aquellos sólidos que no se disuelven en el agua y quedan flotando. El monitoreo de dichos parámetros es muy importante, para identificar los niveles de contaminación por aguas residuales tanto domésticas como industriales, además de los desechos agrícolas y los procesos erosivos en tierras de cultivo y zonas deforestadas.

Sin embargo, el monitoreo de la calidad de este bien insustituible que es el agua, debe ser una prioridad, detectar los cambios y las alteraciones e impactos a tiempo, debe ser prioritario para tomar las medidas pertinentes en el momento, con la finalidad de conservar o restaurar las condiciones naturales y evitar el deterioro, la experiencia muestra que resulta más costoso ambiental y económicamente recuperar, que prevenir cuando se tiene la posibilidad de hacerlo.

Este trabajo se realiza con los datos de monitoreo de calidad del agua a través de la medición de 20 parámetros físicos y químicos, durante el periodo 2010- 2014, en 78 sitios dentro de la RBLV y su zona de influencia, con la finalidad de identificar las variables hídricas más representativas para este ecosistema, que permitan un monitoreo más eficiente en tiempo y costo, que además, sea de utilidad para la toma rápida de decisiones, para evitar que estas decisiones o acciones se realicen

cuando el ecosistema ya ha sido dañado severamente y tardará cientos de años en recuperarse o será prácticamente imposible esa recuperación.



Figura 3.2 Paisaje de ribera, en San Felipe Teotlalcingo, Puebla. (RBLV) (LCAyE, octubre, 2014)

OBJETIVOS

En este capítulo se plantearon los siguientes objetivos

- Caracterizar física y químicamente el agua de ecosistemas ribereños asociados a sistemas lóticos permanentes con diferente cobertura y uso de suelo en la RBLV y área de influencia.
- Analizar el comportamiento físico y químico de los sistemas lóticos y seleccionar las propiedades que explican de manera significativa la dinámica espacial y temporal.
- Comparar con base en las variables seleccionadas, el comportamiento de los sitios de muestreo en función de:
 - ▣ La cobertura y usos del suelo.
 - ▣ La cuenca a la que pertenecen.
- Elaborar los mapas de zonificación que representen el comportamiento de las variables hídricas con mayor significancia en los ambientes ribereños de la RBLV, con base en los resultados estadísticos obtenidos.

■

MÉTODOS

Como ya se ha hecho mención, se eligieron 78 sitios de muestreo en la RBLV y su zona de influencia. La selección de estos sitios se realizó tomando en cuenta que pertenecieran a afluentes permanentes, con diferentes usos de suelo y cobertura, en ambas cuencas, además de considerar su accesibilidad.

El trabajo en campo se realizó en varias fases, como se indica en la Figura 3.3.

Parámetros físicos

TEMPERATURA. Determinar la temperatura en los sitios donde se va a hacer un estudio ecológico o biológico es fundamental, este elemento, en combinación con la topografía y las condiciones atmosféricas, define el clima de un lugar, lo que determinará el tipo de vegetación, la fauna, las interacciones ecológicas, etc. En los cuerpos de agua junto con la incidencia solar, determina los procesos químicos y el metabolismo biótico, con énfasis en los procesos fotosintéticos y la captura de carbono (De la Lanza, 1990).

En los sistemas lóticos el comportamiento térmico difiere del de los sistemas lénticos en lo siguiente:

- 1) Debido a que en su mayoría son poco profundos, las variaciones durante el día son muy evidentes.
- 2) La turbulencia que se presenta de manera natural en las aguas corrientes tiende a impedir la formación de gradientes y por lo tanto de termoclinas.
- 3) La masa de agua que se mueve longitudinalmente tiende a mantenerse en equilibrio con la atmósfera local por radiación y evaporación, presentando fluctuaciones en su trayectoria y en el tiempo (Margalef, 1983).
- 4) Su influencia en el comportamiento biológico es definitiva, así como en los procesos de producción y degradación en el ecosistema, afectando también la solubilidad de gases y sales.

Se mide en el ambiente y en el agua con un termómetro analógico de inmersión total y con termómetro digital del Combo Hanna modelo HI 98129.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA. Este parámetro es una medida de la capacidad para conducir la electricidad que tiene una solución, la cual está en función de la concentración iónica, la movilidad de los iones y la temperatura. La conductividad eléctrica actualmente es de gran utilidad para dar respuesta rápida a los impactos en los sistemas acuáticos por descargas de origen doméstico, agrícola y de algunas industrias alimentarias.

SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS. (STD) Se registra también de manera indirecta por la energía eléctrica que conduce la solución como medida de las sales y residuos orgánicos disueltos en un medio acuoso. En las aguas continentales la concentración salina se da por la presencia principalmente de tres aniones carbonato, sulfato y cloruro, así como de cuatro cationes calcio, magnesio, sodio, potasio. Existe una correlación directa entre la conductividad y la concentración de sólidos totales disueltos, para sistemas de agua dulce (Wetzel, 2001). Los sólidos totales disueltos son indicadores de la eficiencia de tratamiento biológico y físico de aguas residuales

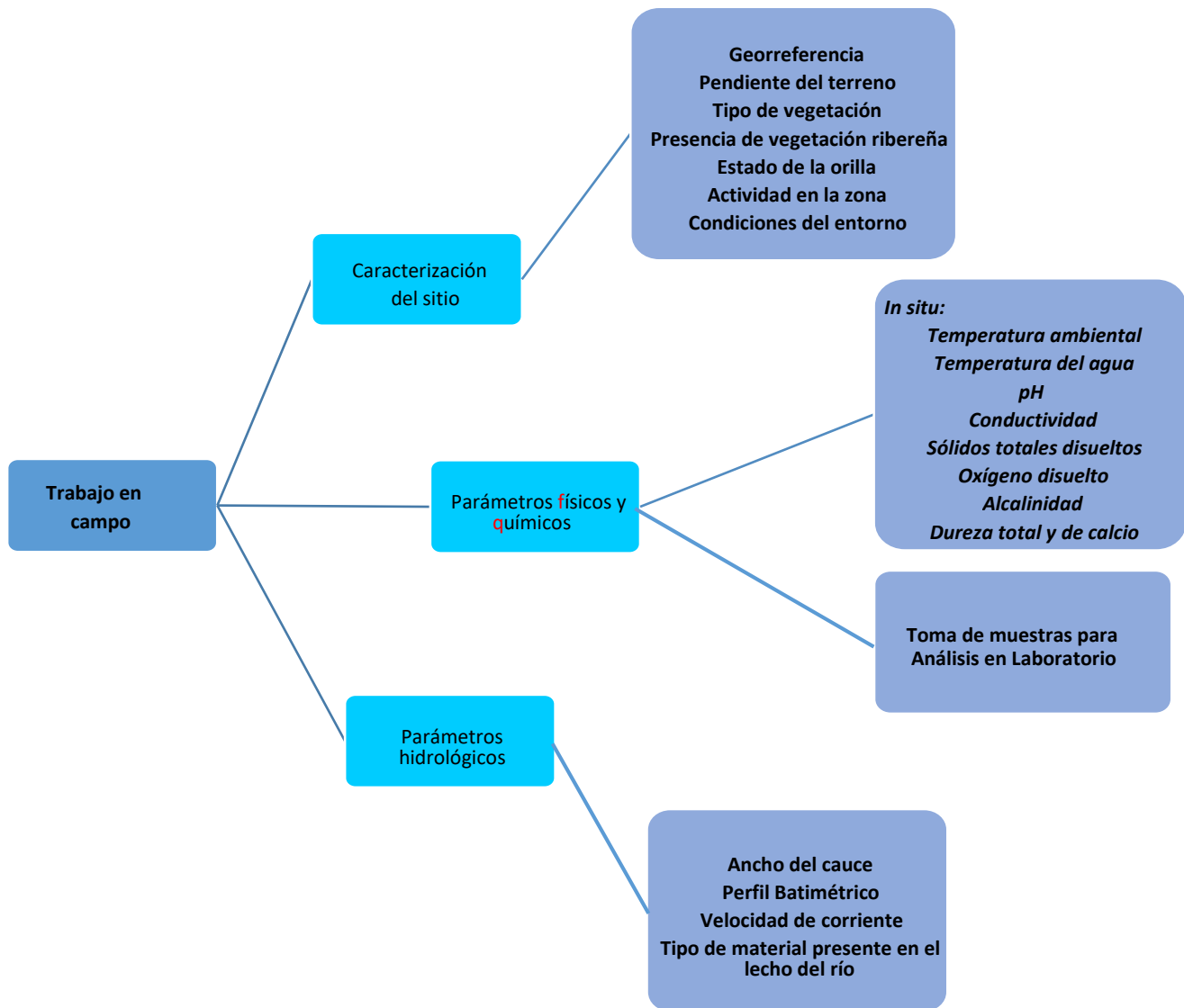


Figura 3.3 Diagrama de las fases del trabajo en campo para los parámetros de agua en cada sitio de muestreo

pH. Este parámetro es una medida indirecta de la concentración de iones hidronio en una solución, determinada a través del potencial eléctrico que estos iones generan en un medio acuoso. La escala que se utiliza para medirlo va de 0 a 14, donde el siete representa la neutralidad, y por debajo de este valor se dice que existen condiciones ácidas y por encima condiciones básicas. Es muy importante para identificar las especies químicas del sistema carbonatos-bicarbonatos y la presencia de CO₂. (De la Lanza, 1990). En aguas naturales las condiciones óptimas se presentan en un pH entre 6.5 y 8.5.

Parámetros químicos

OXÍGENO DISUELTO. La concentración de este gas en el agua es una de las medidas más importantes para determinar las condiciones del sistema, ya que es indispensable para la respiración de los organismos aerobios y para que todos los procesos de oxidación se puedan llevar a cabo. La concentración de oxígeno disuelto es una determinación imprescindible en un cuerpo acuático, ya que este gas interviene en diferentes funciones como la respiración de los organismos y las reacciones de oxidación en el agua, otros factores que determinan su concentración son la presión atmosférica, la temperatura y la concentración de sales disueltas en el agua.

ALCALINIDAD. Este parámetro hace referencia a las sustancias hidrolizables en agua que después de este proceso generan el ion hidroxilo (OH^-), esto es las bases fuertes y los hidróxidos de los metales alcalinotérreos; en los sistemas de agua dulce además de los iones hidroxilo contribuyen de forma importante a la alcalinidad la presencia de carbonatos y bicarbonatos y en menor proporción los fosfatos, los boratos y los silicatos. Su determinación se realiza con la valoración de estas bases mediante un ácido fuerte diluido. El pH del agua es indicativo de las especies químicas que imprimen alcalinidad al agua, pudiendo estar presentes los iones hidroxilo y los carbonatos en un pH superior a 8.3; los bicarbonatos en un intervalo de pH entre 8.3 y 4.5, y por debajo de este valor de pH todos los bicarbonatos son transformados a CO_2 y agua.

Su determinación se realizó por el método volumétrico con dos indicadores que se basa en el manejo de pH utilizando fenolftaleína y anaranjado de metilo. Si las muestras se tornan rojizas al agregarles fenolftaleína ($\text{pH} > 8.3$) éstas pueden contener iones carbonato o hidróxilos y la valoración volumétrica se realiza en dos etapas, la muestra es primeramente valorada con ácido sulfúrico hasta el punto de vire de la fenolftaleína. Durante este paso los carbonatos se transforman a bicarbonatos y al cambio de color todos los carbonatos han sido valorados. Además, ningún bicarbonato originalmente presente en la muestra ha sido destruido, de manera que la muestra ahora contiene más bicarbonatos que al principio de la titulación. Luego se mide la alcalinidad total que consiste en valorar la muestra con ácido sulfúrico diluido, para tomar en cuenta los bicarbonatos de la primera reacción, con los bicarbonatos de la muestra, utilizando el anaranjado de metilo como indicador ($\text{pH} > 4.5$) hasta que todo el bicarbonato se convierte en bióxido de carbono y agua (APHA-AWWA-WPCF 1992).

DUREZA. La dureza del agua es resultado de la incorporación de cationes al agua como resultado de la disolución de rocas y minerales alcalinotérreos del suelo; así como de la incorporación aguas residuales o desechos con contenidos cálcicos y magnésicos. Se midieron dos tipos: la dureza total y la dureza cálcica. La Dureza total se debe a la presencia de iones calcio y magnesio, desempeña un papel muy importante en el metabolismo de los organismos. La alta concentración de sales impide la formación de espuma cuando se utiliza jabón y permite la formación de incrustaciones en recipientes y tuberías. La dureza cálcica como su nombre lo dice, registra la presencia de iones calcio en el cuerpo acuático, ambas se determinaron con el método complejométrico (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

Parámetros hidrológicos

VELOCIDAD DE CORRIENTE de los arroyos o ríos varía considerablemente a lo largo del cauce, pero también en cada punto de la sección inundada, tanto de una orilla hacia la otra como del fondo a la superficie. La velocidad depende también de la pendiente, la profundidad y la rugosidad del

lecho, las irregularidades de los márgenes, etc. La mayor rapidez se da en la zona superficial, por encima de los puntos más profundos. Los métodos utilizados en este trabajo para su medición fue el del flotador, registrando el tiempo que tarda el flotador en recorrer una cierta distancia a lo largo del cauce y realizando aproximadamente 20 repeticiones en las orillas y centro del cauce, para posteriormente calcular el promedio. En lugares con mayor caudal y dificultad para utilizar este método se utilizó un correntómetro digital con medición mínima del 0.1 m seg⁻¹. La velocidad del flujo varía con la topografía, geología, clima, estación, vegetación y área de drenaje.

CAUDAL O AFORO es la cantidad de agua que pasa a través de una sección del canal por unidad de tiempo. Se calcula multiplicando la velocidad del agua (m s⁻¹) por el área de la sección (m²) que puede ser calculada cuando se determina el perfil batimétrico del cauce o canal, lo que produce un volumen (m³ seg⁻¹). Es aplicable a sistemas de aguas corrientes como ríos, arroyos, cañadas. Los cambios en el caudal afectan la profundidad del agua, la morfología del cauce, la composición de los sedimentos, la carga de sedimentos en suspensión y en consecuencia la estructura física del hábitat y su variabilidad temporal, lo que a su vez determina la composición biológica del sistema.

PERFIL BATIMÉTRICO se elige una sección transversal del cauce, se mide el ancho del río o arroyo en ese punto y se registran las profundidades desde la orilla del río, en intervalos definidos en función del ancho de la corriente hasta llegar a la otra orilla. La medición debe hacerse por lo menos, en dos secciones transversales o tirantes. Con los datos registrados trazar un gráfico del perfil batimétrico en papel o de manera digital y calcular el área de las sección o secciones, para poder utilizar el método de sección velocidad para el cálculo del aforo o caudal.

TOMA DE MUESTRAS DE AGUA

La toma de muestras de agua se llevó a cabo manualmente a nivel superficial en botellas de polietileno opacas de 1 L, de 500 mL que se preservaron a un pH < 2 con H₂SO₄ concentrado, de 250 mL para las determinaciones químicas *in situ* como la alcalinidad, dureza total y de calcio, y de 125 mL a las que se les agrega acetato de zinc como conservador para la determinación de sulfuros, todas se conservaron a 4°C en una hielera durante su traslado al laboratorio o área de análisis de acuerdo al APHA, 2012 y APHA -AWWA-WPCF (1992).

In situ se midió el pH, conductividad y STD (Combo Hanna modelo HI 98129), se determinó la concentración de oxígeno disuelto con un oxímetro YSI 55 y con el método de Winkler. Además se determinaron la alcalinidad y las durezas total y de calcio.

Se obtuvo el perfil batimétrico del cauce y se midió la velocidad del caudal por el método del flotador (Aparicio, 1994).

FASE DE LABORATORIO

Las muestras de agua colectadas en campo se transportaron al laboratorio donde se analizaron los siguientes parámetros de acuerdo las técnicas en el APHA-AWWA-WPCF (1992) y las Normas Mexicanas:

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Mide la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos acuáticos que descomponen la materia orgánica disuelta en el agua, al cabo de cinco días. Se determinó por el método de Winkler con la modificación de azida de sodio, el método se emplea en aguas naturales y residuales y se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto

inicial y el oxígeno disuelto al cabo de cinco días a una temperatura de 20°C y en oscuridad total (APHA-AWWA-WPCF 1992; APHA, 2012).

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua. Suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales. Para las muestras de una fuente específica, la DQO puede relacionarse empíricamente con la DBO, el carbono o la materia orgánicos. Se valoró mediante el método colorimétrico de reflujo cerrado (APHA; 2012).

Nitratos: Suelen ser el resultado de la contaminación con residuos de fertilizantes o con aguas residuales de las composteras. Es uno de los más frecuentes contaminantes de aguas subterráneas en áreas rurales. Se determinaron de acuerdo al método del ácido fenoldisulfónico. Este método tiene un principio colorimétrico en el cual, el ácido fenoldisulfónico reacciona con el nitrato en ausencia de agua para formar un nitroderivado, que en medio alcalino es alterado ligeramente para producir un compuesto de color amarillo, la intensidad del color es proporcional a la concentración del nitrato en la muestra (Cervantes, 1985, Guerra, 2014).

Nitritos: Suelen ser el resultado de la contaminación con estiércol de ganado y orinas, en condiciones de buena oxigenación son transformados a nitratos de manera rápida. Se usó el método del ácido sulfanílico, para su evaluación.

Amonio. Las aguas superficiales generalmente contienen poco amonio. La principal fuente de contaminación de amonio son las aguas residuales. El método empleado para conocer su concentración fue el del fenato o azul de indofenol que se basa en la reacción en condiciones alcalinas del amonio con fenol e hipoclorito, catalizada por la sal manganosa, para formar indofenol de color azul (APHA-AWWA-WPCF 1992).

Fósforo total. Determinado por el método de digestión con persulfato, en donde los compuestos fosfatados son transformados a ortofosfatos por medio de una digestión con persulfato de potasio y ácido sulfúrico, ya que este método espectrofotométrico es específico para el ion ortofosfato (PO_4^{3-}), midiéndose la concentración de ortofosfatos por el método del fosfomolibdato (APHA-AWWA-WPCF 1992).

Ortofosfatos. Son el resultado de la contaminación con detergentes, aunque también con estiércol y otros tipos de materia orgánica, que generan eutrofización de los cuerpos de agua. Los ortofosfatos solubles se transforman en un complejo colorido de fosfomolibdato por reacción con el molibdato de amonio en medio ácido. Presentándose una coloración azul, que se incrementa en forma proporcional a la cantidad de ortofosfatos presente en la muestra, después de que el molibdeno reacciona con un agente reductor que generalmente es el cloruro estanoso (SCFI, 2001a).

Sulfatos: se encuentran en las aguas naturales en un amplio intervalo de concentraciones. Es uno de los principales constituyentes disueltos de la lluvia. Su determinación se realiza mediante el método turbidimétrico.

Sulfuros: Su presencia es indicativa de condiciones reductoras en el medio acuático o de la actividad volcánica cercana, su determinación se realiza mediante el método yodométrico, previa fijación de la muestra con acetato de zinc.

Se utilizaron 20 parámetros hídricos (Tabla 3.1) para hacer la caracterización y definir el comportamiento de las corrientes superficiales de la RBLV y su área de influencia.

Tabla 3.1. Abreviaturas y unidades para cada variable

AGUA

Abreviatura	Parámetro
T Amb. (°C)	Temperatura ambiental
T Agua (°C)	Temperatura del agua
STD (mg L ⁻¹)	Sólidos totales disueltos
pH	pH del agua
Cond (μS m ⁻¹)	Conductividad eléctrica
N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	Nitratos
N-NO ₂ ⁻ (μg L ⁻¹)	Nitritos
N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	Amonio
P tot (mg L ⁻¹)	Fósforo total
P-PO ₄ ³⁻ (mg L ⁻¹)	Ortofosfatos
OD (mg L ⁻¹)	Oxígeno disuelto
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO (mg L ⁻¹)	Demanda química de oxígeno
Alcalinidad (CaCO ₃ mg L ⁻¹)	Alcalinidad total
DCa (CaCO ₃ mg L ⁻¹)	Dureza de Calcio
DT (CaCO ₃ mg L ⁻¹)	Dureza total
SO ₄ ²⁻ (mg L ⁻¹)	Sulfatos
S-S ² (mg L ⁻¹)	Sulfuros
Vel. C. (m seg ⁻¹)	Velocidad de corriente
Caudal (m ³ seg ⁻¹)	Aforo o caudal

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS LIMNOLÓGICOS

Una vez obtenidos todos los datos de campo y laboratorio se conformó la base de datos completa que reúne la información obtenida para los 78 sitios de muestreo durante el periodo de enero de 2010 a diciembre de 2014. Con la base de datos completa se procedió a realizar un análisis de correlación múltiple que para seleccionar las variables con correlaciones significativas en el sistema y además eliminar las que presentaron colinealidad.

Para cada una de las variables mencionadas se realizó lo siguiente:

- Un gráfico que permitiera su analizar su comportamiento altitudinal.
- Debido a que los datos de los diferentes parámetros no cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, se realizaron algunas comparaciones entre los valores para la Cuenca de México (Vertiente occidental) y para la Cuenca del Balsas (Vertiente oriental), comparando las medianas mediante la prueba de W de Mann-Whitney y la distribución de las dos muestras por la prueba de Kolmogórov-Smirnov
- Posteriormente a cada una de las variables extraídas por el análisis de Componentes Principales se le aplicó una prueba de Kruskal-Wallis para comprobar si las medianas en los diferentes usos de suelo o coberturas se comportaban igual y una prueba de mediana de Mood's para definir si las medianas dentro de cada uno de los usos de suelo o coberturas es la misma.
- Finalmente, la información sobre las variables identificadas como primordiales y el resultado del ACP se transfirió al programa y se construyeron los mapas por variable y grupos de variables afines y mediante análisis geoestadístico IDW se generaron los mapas de calidad de sitios con base en los Componentes 1, 2 y 3.

RESULTADOS

Se monitorearon un total de 78 sitios de trabajo (Fig. 3.4) con registro de sus condiciones hídricas en época de lluvia y estiaje. La selección de los sitios se realizó bajo los siguientes criterios: ubicación en lugares con distinta cobertura y uso de suelo, que la corriente fuera permanente, que fueran sitios con accesibilidad moderada y que algunos de ellos pertenecieran a un mismo cauce en diferentes niveles altitudinales.

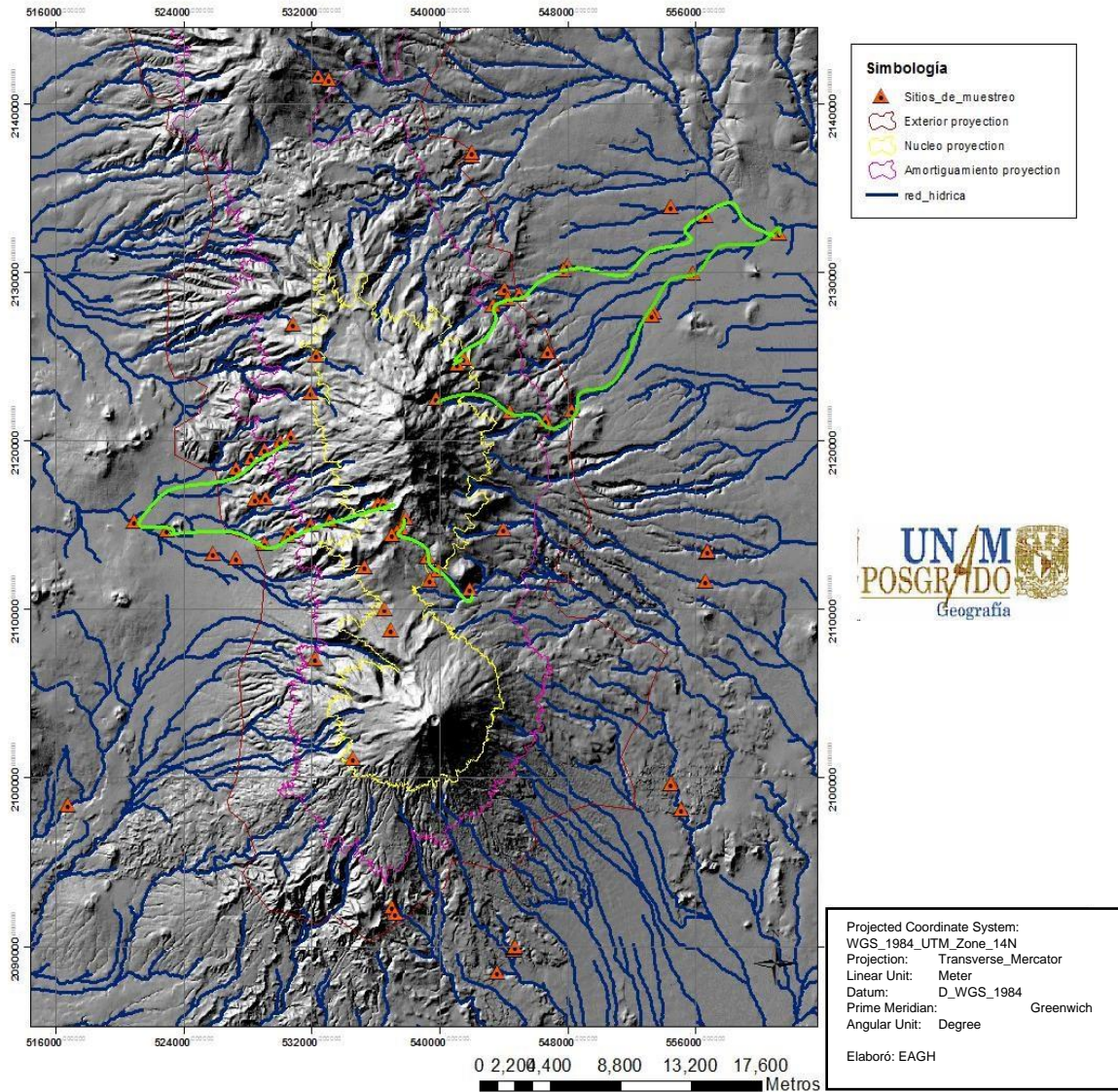


Figura 3.4 Ubicación de los sitios de muestreo sobre la Red hidrológica de la RBLV

Temperatura

Se registraron la temperatura ambiente y la del agua observando que mantienen el mismo comportamiento inverso al descenso en el gradiente altitudinal (Fig. 3.5). El menor valor registrado para la temperatura ambiente fue de 5°C y el mayor de 26°C cabe aclarar que este intervalo fue encontrado durante todo el periodo de estudio. Para la vertiente Oriental en la que se localiza la cuenca del Balsas el intervalo fue de 6 a 26°C y para la Occidental que corresponde a la cuenca de México de 5 a 22°C, en ambos casos y sin hacer el análisis estacional se rebasa la tasa de cambio de 0.68°C por cada 100 m de altitud como se menciona el Programa de Manejo del PNIP (SEMARNAT, 2013).

La temperatura del agua que además del gradiente altitudinal fue alterada por la insolación del sistema, la humedad, la estacionalidad, la hora del muestreo y las actividades que se realizan en la zona circundante, presentó un intervalo general entre 2 y 20°C, para la vertiente Oriental entre 4.6 y 20°C y para la Occidental entre 2 y 18.3°C. Con base en lo anterior se puede decir que la Vertiente Oriental mantuvo temperaturas superiores a la Occidental.

Únicamente se observaron tres sitios donde la temperatura del agua fue superior al ambiente, resaltando que esto se debió posiblemente a la insolación directa en el manantial de San Baltazar Atlimeyaya y a la hora del muestreo en el manantial de Calpan y el arroyo de Sn Rafael Tlanalapa II, todos estos sitios ubicados en la zona de influencia.

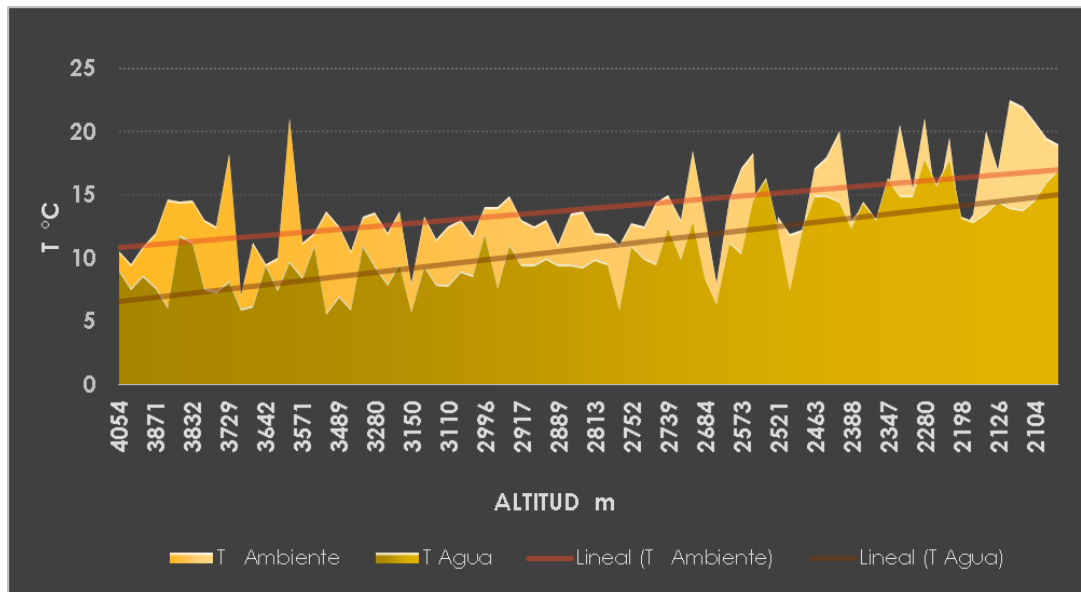


Figura 3.5 Variación altitudinal de la Temperatura ambiente y del agua

Después de aplicar la prueba de W de Mann-Whitney (W-MW) ($p_v=0.00002$) e identificar que había diferencia estadística entre las medianas de las muestras de las dos subcuencas, se realizó la prueba de distribución de Kolmogórov-Smirnov (K-S) ($p_v=0.0$), se comprobó con un nivel de confianza de 95% que la distribución con base en las medianas no fue la misma para las cuencas del Balsas y de México, lo anterior define comportamiento térmico diferente, lo que se muestra en el diagrama de cajas (Fig.3.6).

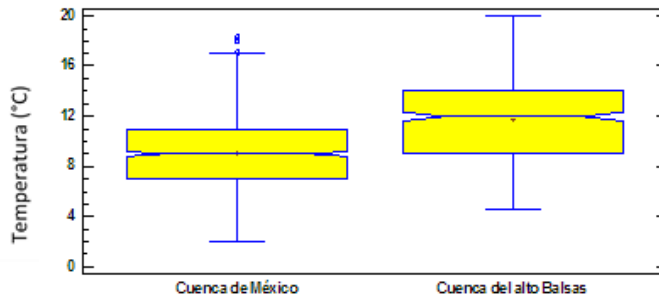


Figura 3.6 Variación de la Temperatura del agua para las cuencas de México y del alto Balsas

pH

El pH manifestó un comportamiento general ascendente, de mayor a menor altitud, la variación de este parámetro fluctuó de manera general entre 5.47 y 8.63 (Fig. 3.7). Con un intervalo entre 5.62 y 8.47 para la Vertiente Oriental y entre 5.47 y 8.63 para la Occidental. Acorde a (SCFI, 2016) los límites establecidos para aguas naturales deben encontrarse entre 6.5 a 8.5, es decir entre neutra y ligeramente alcalina. Los pH registrados rebasan los límites que establece la norma, sin embargo, se encuentran dentro de lo criterios ecológicos establecidos en México para agua potable (SEDUE, 1989).

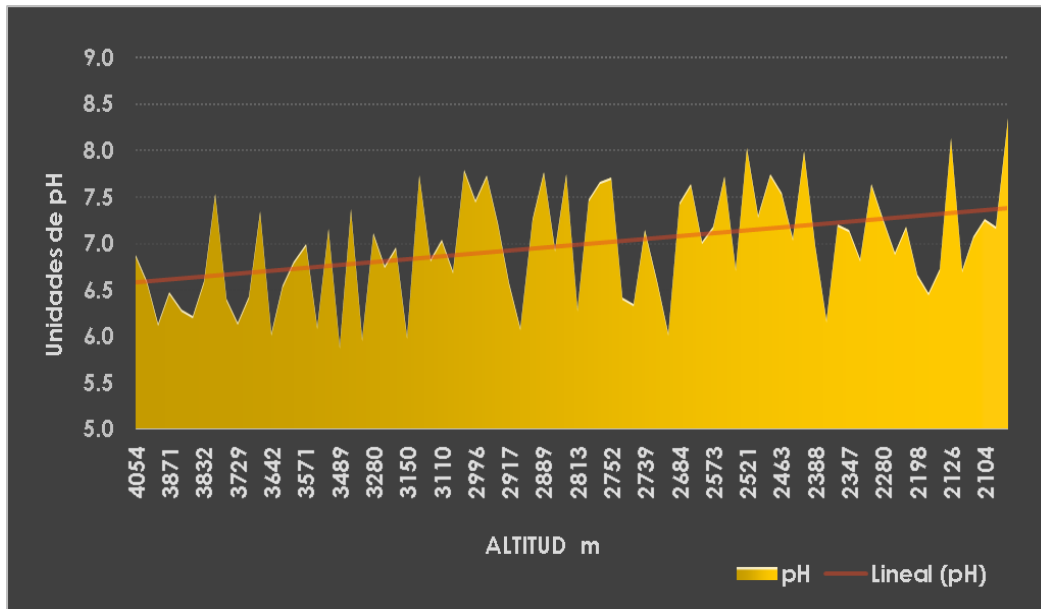


Figura 3.7 Variación altitudinal del pH

Se observa de acuerdo a la Figura 3.8, que existe un comportamiento distinto para esta variable en ambas cuencas y se comprueba con las pruebas de W de Mann-Whitney ($p_v=4.1 \times 10^{-11}$) y de Kolmogórov-Smirnov ($p_v=1 \times 10^{-7}$), con un nivel de confianza de 0.95%.

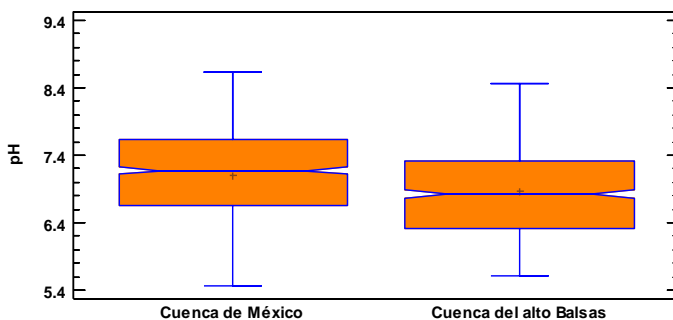


Figura 3.8 Variación del pH del agua para las cuencas de México y el alto Balsas

Conductividad

La conductividad es una variable de gran relevancia debido a su gran sensibilidad para identificar los cambios en la vocación del suelo por la cantidad de sales que se incorporan al agua al tener presencia de ganado, efluentes de zonas de cultivo y asentamientos humanos. La conductividad se ha utilizado para diversas clasificaciones, pero sobre todo definir un agua con potencial para potabilizar, para agua de riego o para determinar la salinidad de esta.

Se tomó como referencia de clasificación, las aguas con niveles menores a $50 \mu\text{S cm}^{-1}$ como aguas naturales de buena calidad y entre 50.01 y $2,500 \mu\text{S cm}^{-1}$ con potencial para ser potabilizada, por encima de estos niveles se considera de uso dudoso e inapropiado. Las concentraciones registradas fueron de 18 a $1,056 \mu\text{S cm}^{-1}$ de manera general. Con estos niveles en su totalidad pueden considerarse como aguas que pueden ser utilizadas y de acuerdo al Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos (Olías et al., 2005), el 19% son naturales de buena calidad y la mayoría de los sistemas estudiados pueden ser potabilizados con un riesgo bajo de salinidad (Fig. 3.9), únicamente dos sitios (Nepantla y Vías libramiento) presentaron un estatus de riesgo moderado, debido a las descargas de aguas residuales urbanas.

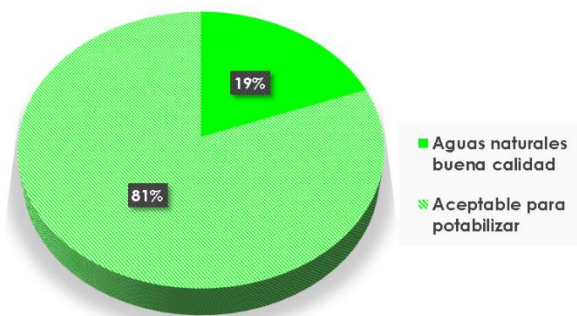


Figura 3.9 Clasificación del agua en los sitios de estudio de acuerdo a su conductividad (Olías, et al., 2005)

En la Figura 3.10 se puede apreciar como los niveles de conductividad presentan fluctuaciones naturales en relación con su entorno y se identifican a simple vista 4 cambios, el comportamiento heterogéneo en arroyos al interior del PNIP, con niveles entre 18 y 119 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Entre 3,600 y 2,900 m s.n.m. con un comportamiento más homogéneo entre 60 y 80 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y 2 picos que corresponden a los sitios de Nexcolango y Atzompa, un tercer grupo con mayores fluctuaciones entre 60 y 120 $\mu\text{S cm}^{-1}$ con valores cercanos a los 200 $\mu\text{S cm}^{-1}$ en los dos sitios de Tepepótl y finalmente el cuarto grupo en altitudes entre 2,500 y 1,900 m s.n.m. con fluctuaciones de la mayoría de los sitios entre 120 y 250 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y concentraciones de sales muy severas en algunos sitios como Nepantla, Ayapango, Vías libramiento y Sn Rafael Tlanalapa II.

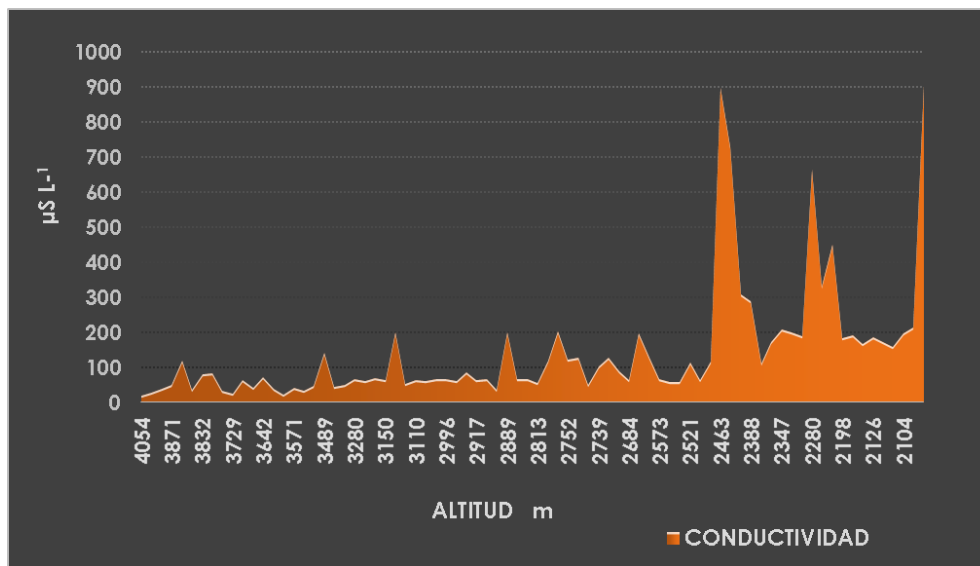


Figura 3.10 Variación altitudinal de la Conductividad

Según las pruebas de W-MW ($p_v=0.04098$) las medianas para ambas cuencas son iguales por lo tanto presentan un comportamiento similar, aunque su distribución sea diferente según la prueba K-S ($p_v=1 \times 10^{-11}$), ambas pruebas fueron realizadas a un nivel de confianza del 95% y se ilustran con el diagrama de cajas y bigotes (Fig. 3.11).

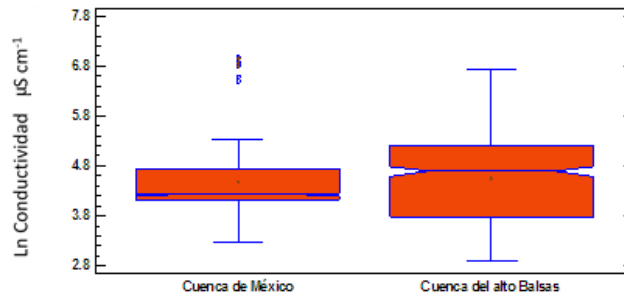


Figura 3.11 Variación de la Conductividad para las cuencas de México y el alto Balsas

Alcalinidad, dureza total y dureza de calcio

La presencia de compuestos que alcalinizan el agua es de gran importancia para mantener el equilibrio en el ecosistema, la transformación dinámica que se presenta entre los carbonatos, bicarbonatos y el CO₂ disuelto permite a los sistemas acuáticos mantener esa capacidad amortiguadora que puede ser la diferencia entre la alteración y pérdida de un ecosistema o su recuperación paulatina como consecuencia de una alteración grave en el mismo. Los grupos hidroxilos, carbonatos y bicarbonatos se encuentran asociados a cationes como el calcio, el magnesio, el sodio y el potasio; los dos primeros medidos mediante las durezas, por lo que la relación entre estas tres variables es indiscutible.

La presencia de alcalinidades durezas altas puede provocar depósitos salinos en los suelos, sobre todo en época de estiaje, además de la reducción en la capacidad del agua para formar espuma, lo que repercute en un mayor uso de detergentes.

Conforme a los niveles registrados, la mayoría de los sitios de estudio tienen alcalinidades bajas con agua blanda, pero también se registraron sitios con alcalinidades altas y aguas muy duras, aunque en menor porcentaje (Figs. 3.12 y 3.13) (SCFI, 2001b, Kevern et al., 1996).

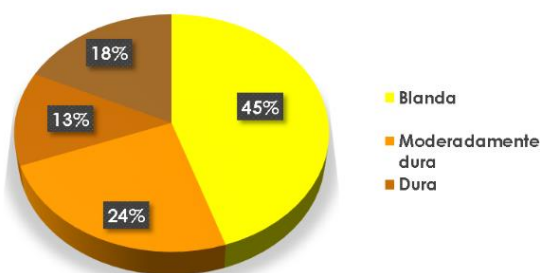


Figura 3.12 Porcentaje de sitios de acuerdo a la clasificación de la Dureza total

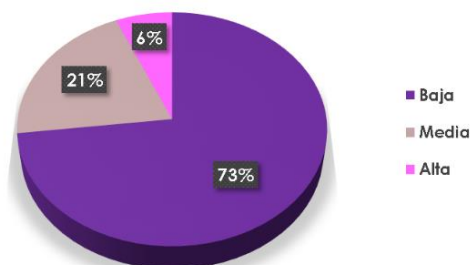


Figura 3.13 Porcentaje de sitios de acuerdo a la clasificación de la Alcalinidad

De acuerdo a la Fig. 3.14 se observa como por arriba de 3750 m s.n.m. las concentraciones salinas son muy bajas y estas se van elevando conforme se desciende en el gradiente altitudinal por causas naturales y antropogénicas, elevándose fuertemente en sitios con actividades agrícolas y sobre todo urbanas. La relación que guardan estos tres parámetros entre sí es evidente lo que implica que los aniones representados por la alcalinidad están asociados con el calcio y el magnesio, por lo que la presencia de otros cationes como sodio y potasio es probable, pero con menor impacto en el sistema. En la alcalinidad dominó la presencia de bicarbonatos en 73 de los sitios, y se registró la presencia de carbonatos en Tepinoco, Cuatonco, Ixoalco, San Pedro Atlixco y Nepantla, sitios con influencia agropecuaria y urbana en los dos últimos.

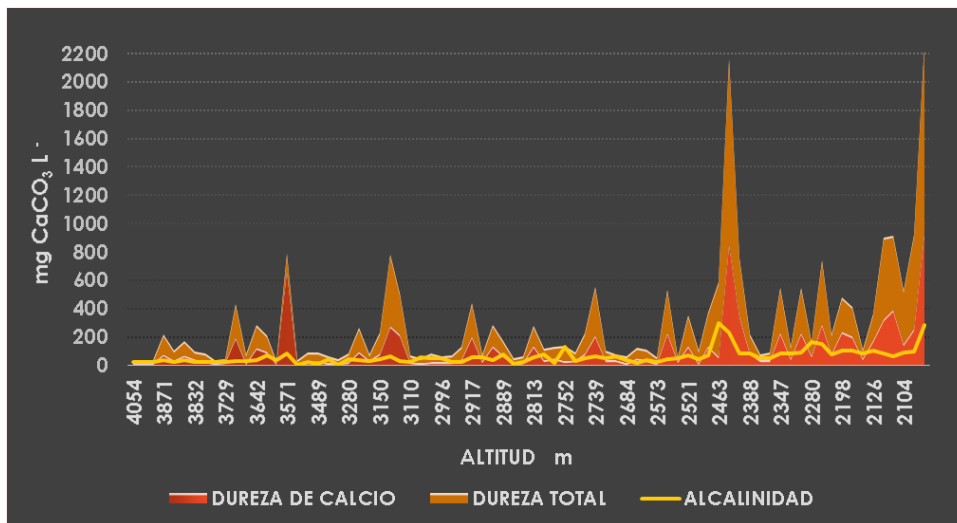


Figura 3.14 Variación de la Alcalinidad y Durezas en función de la altitud

En las figuras 3.15 y 3.16 se ilustra con los diagramas de caja y bigotes, las diferencias significativas encontradas con un nivel de confianza del 95% para las medianas de acuerdo al análisis de W-MW Alcalinidad ($p_v=0.0$) y Dureza total ($p_v=0.0005221$) y sus distribuciones de acuerdo a la prueba K-S con ($p_v=0$) para Alcalinidad y ($p_v=1 \times 10^{-10}$) para Dureza total, resaltando el comportamiento distinto que mantienen las dos cuencas estudiadas, donde la mayor variabilidad se manifiesta la Cuenca del Balsas.

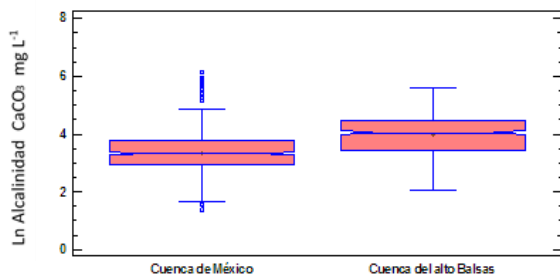


Figura 3.15 Variación de la Alcalinidad para las cuencas de México y del alto Balsas

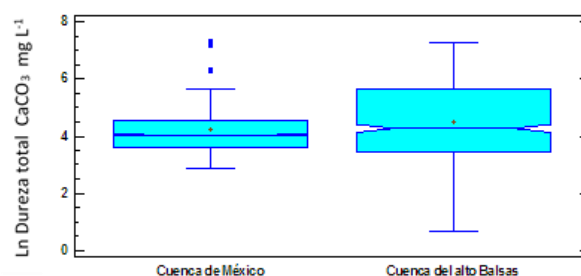


Figura 3.16 Variación de la Dureza total para las cuencas de México y del alto Balsas

Fósforo

El fósforo es un elemento indicativo de la productividad del sistema acuático, nutriente fundamental para el mantenimiento de los seres vivos. Se encuentra en el agua en forma orgánica e inorgánica, que además puede presentarse de manera particulada o disuelta, con transformaciones físicas, químicas y biológicas que definen su dinámica en el cuerpo acuático. En condiciones naturales la especie química que representa al fósforo inorgánico son los ortofosfatos; sin embargo, las

concentraciones de fósforo total han sido utilizadas para definir la contaminación de las aguas y el nivel trófico del sistema.

De acuerdo a las concentraciones de fósforo total solo el 3% de los sitios de estudio presentan condiciones de oligotrofia, según (SEMARNAT, 1996) el agua del 100% de nuestros sistemas lóticos es adecuada para riego agrícola y uso público, pero Nepantla, Ayapango y Vías libramiento no presentan las condiciones adecuadas para protección de la vida acuática (Fig. 3.17). De la misma manera en este gráfico se observa la similitud en comportamiento que guardaron estos dos parámetros.

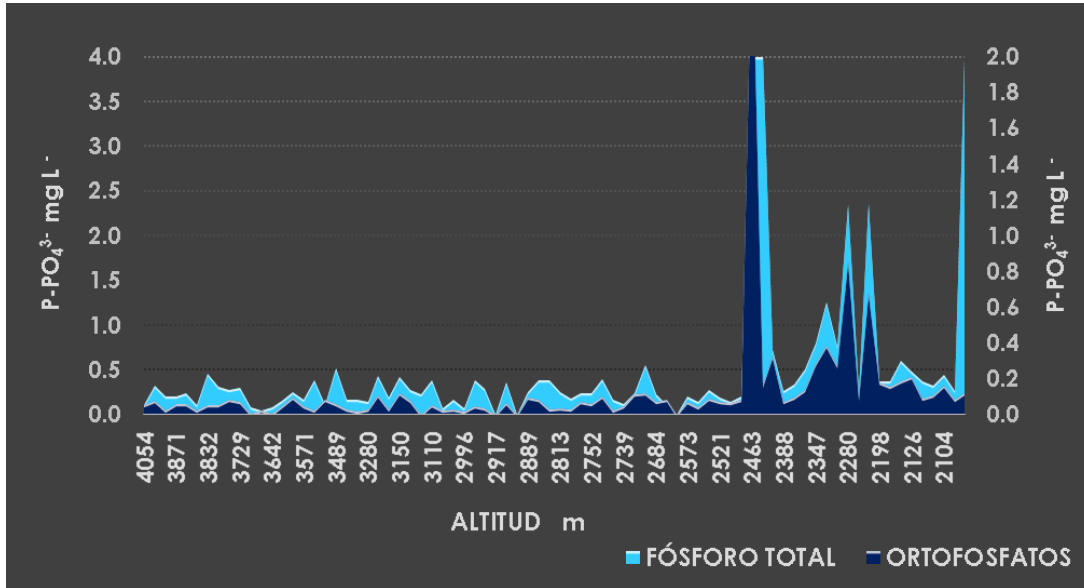


Figura 3.17 Variación altitudinal del Fósforo total y los Ortofosfatos

En las figuras 3.18 y 3.19 se puede observar la diferencia significativa que arroja la prueba de W-MW para las medianas de las dos cuencas en relación con el fósforo total ($p_v=1.62 \times 10^{-12}$) y los ortofosfatos ($p_v=1.1 \times 10^{-10}$), así como la distribución según la prueba de K-S, ambas realizadas a un nivel de confianza del 95%. Las dos cuencas presentan un gran número de valores atípicos que representan muchos sitios con fuentes de contaminación.

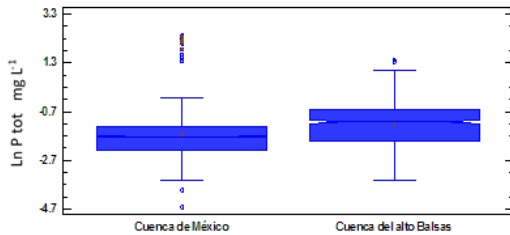


Figura 3.18 Variación del Fósforo total para las cuencas de México y de alto Balsas

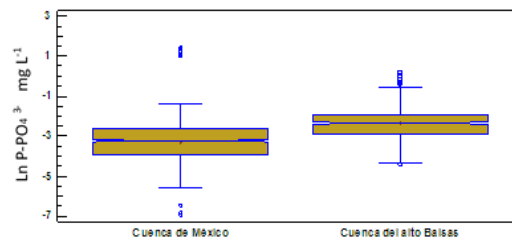


Figura 3.19 Variación de Ortofosfatos para las cuencas de México y de alto Balsas

En los ortofosfatos se manifiesta menores concentraciones y menor variabilidad en la Cuenca de México que en la del Alto Balsas.

Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento insustituible para el desarrollo de los organismos, su ciclo es sumamente complejo y es regulado fundamentalmente por la actividad biológica. Se determinaron las concentraciones de Nitrógeno inorgánico como nitratos, nitritos y amonio, resaltando la importancia de la primera especie química y la última en el comportamiento de las corrientes superficiales estudiadas.

Los nitratos fluctuaron entre concentraciones no detectables y llegaron hasta 12.34 mg N-NO₃⁻ L⁻¹, mientras que el amonio presentó un intervalo promedio entre no detectable y hasta 12.93 mg N-NH₄⁺ L⁻¹ (Fig.3.20). En la mayoría de los casos las concentraciones promedio de nitritos fueron de no detectables, sin embargo, en los sitios de Volkswagen y Palo Rechino las concentraciones promedio fueron de 4.8 y 5.8 mg N-NO₂⁻ L⁻¹ respectivamente.

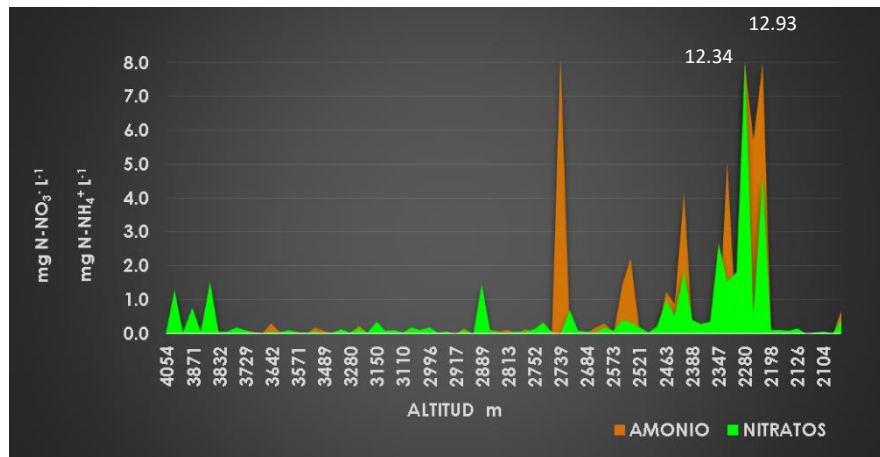


Figura 3.20 Variación altitudinal de Nitratos y Amonio

Es importante hacer notar que la relación entre los nitratos y el amonio no fue la esperada, debido a que no mantuvieron un comportamiento inverso. El comportamiento de los nitratos fue diferente significativamente en las dos cuencas según la información que se obtuvo de las pruebas de W de Mann-Whitney ($p_v=0.0$), así como la distribución según la prueba de Kolmogórov-Smirnov. ($p_v=2.1 \times 10^{-12}$). En la Cuenca del Balsas los nitratos fueron de un nivel no detectable a 10.35 mg N-NO₃⁻ L⁻¹ y en la cuenca de México de no detectable a 2.03 mg N-NO₃⁻ L⁻¹ valores que evidencian la diferencia (Fig. 3.21). Para el amonio no fue así dando como resultado que las medianas no presentaron diferencias significativas en su comportamiento (Fig. 3.22).

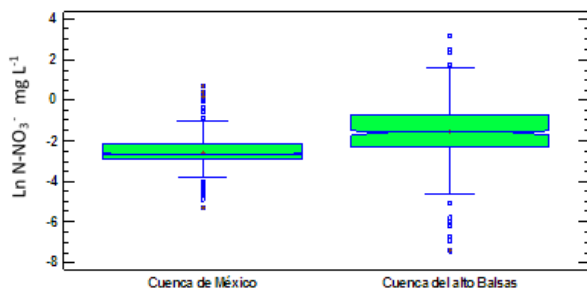


Figura 3.21 Variación de Nitratos para las cuencas de México y del alto Balsas

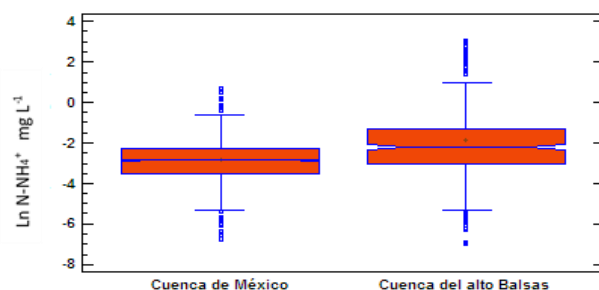


Figura 3.22 Variación del Amonio para las cuencas de México y del alto Balsas

Azufre

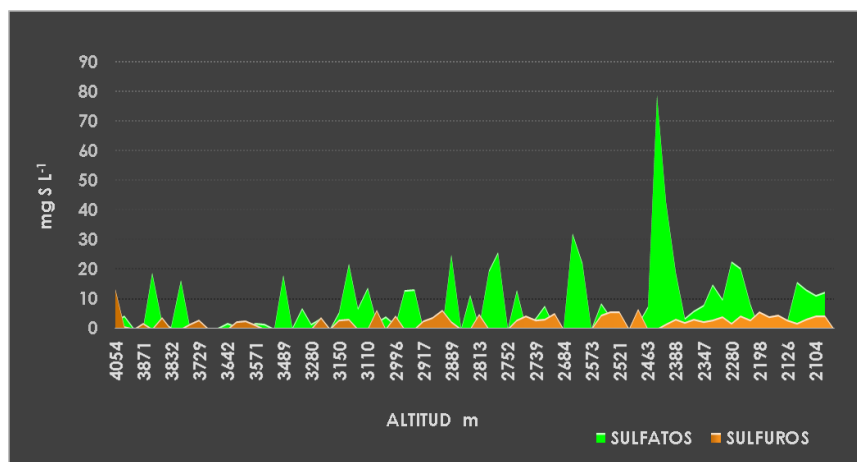


Figura 3.23 Variación altitudinal de Sulfatos y Sulfuros

Se encuentra en su forma nativa en zonas volcánicas y se presenta en su forma oxidada como sulfatos y en su forma reducida como sulfuros. Es constituyente fundamental de los aminoácidos y por ende de las proteínas. El comportamiento de sulfuros y sulfatos fue muy heterogéneo en el gradiente altitudinal (Fig. 3.23), dominando los sulfatos con un incremento hacia menores altitudes y concentraciones entre la ausencia total y $78.75 \text{ mg S-SO}_4^{2-} \text{ L}^{-1}$. Las concentraciones de sulfuros fueron menores con comportamiento heterogéneo estableciendo un patrón más homogéneo en altitudes menores a 2400 m s.n.m.

Las pruebas para las medianas de W de Mann-Whitney ($p_v=0.007740$), así como la distribución según la prueba de Kolmogórov-Smirnov ($p_v=1.8 \times 10^{-6}$), indican que no existe una homogeneidad en las medianas por lo tanto el comportamiento entre ambas cuencas difiere de forma significativa con un nivel de confianza de 95% (Fig. 3.24)

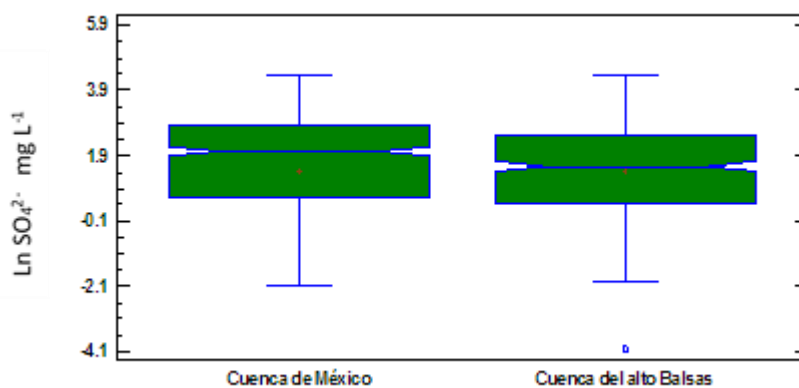


Figura 3.74 Variación de Sulfatos para las cuencas de México y del alto Balsas

Este parámetro tiene una tendencia a disminuir de manera directa con el descenso en la altitud y de manera inversa al incremento de temperatura. Su concentración varió desde la ausencia total de este gas disuelto hasta 13.96 mg O L⁻¹, en las temperaturas más bajas registradas, su papel en los procesos de óxido reducción, la respiración y la degradación de la materia orgánica son fundamentales (Fig. 3.25).

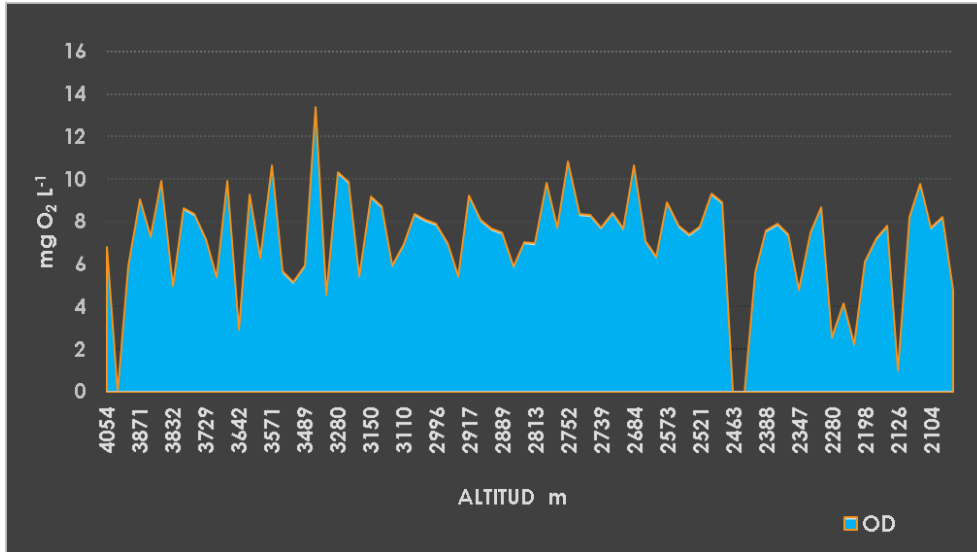


Figura 3.25 Variación altitudinal del Oxígeno disuelto

En la figura 3.26 se observa la diferencia significativa entre las medianas para la concentración de oxígeno disuelto para ambas cuencas de acuerdo a la prueba de W de Mann-Whitney ($p_v=3.32 \times 10^{-11}$), así como la distribución según la prueba de Kolmogórov-Smirnov ($p_v=1.031 \times 10^{-11}$), lo que se visualiza en diagrama de cajas

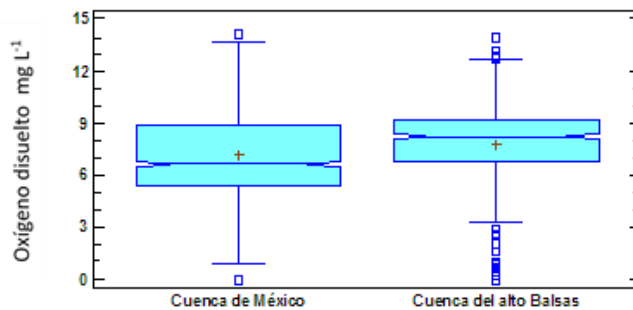


Figura 3.26 Variación del oxígeno disuelto para las cuencas de México y del alto Balsas

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días es un parámetro muy utilizado en los últimos años para definir la calidad del agua y se refiere a la cantidad de oxígeno que se consume al degradar cierta cantidad de materia biodegradable. Con respecto a este parámetro la mayor proporción de sitios presentan agua de excelente calidad, y el menor porcentaje agua de calidad aceptable, no se presentó ningún sitio con agua contaminada, ni fuertemente contaminada (Fig. 3.27).

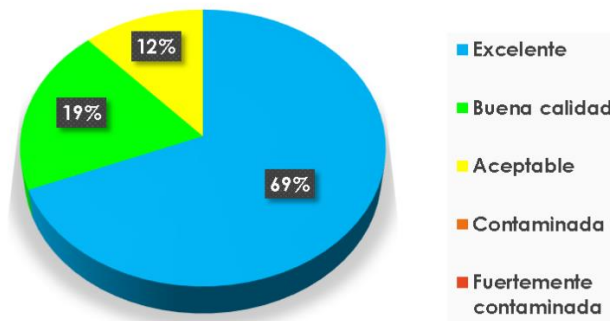


Figura 3.27 Porcentaje de sitios en las categorías de calidad del agua de acuerdo a la DBO₅

El comportamiento altitudinal no muestra ningún patrón y registra fluctuaciones muy importantes de un sitio a otro en el mismo piso altitudinal, con demandas de oxígeno que van de 0 a 22.16 mg L⁻¹ (Fig. 3.28)

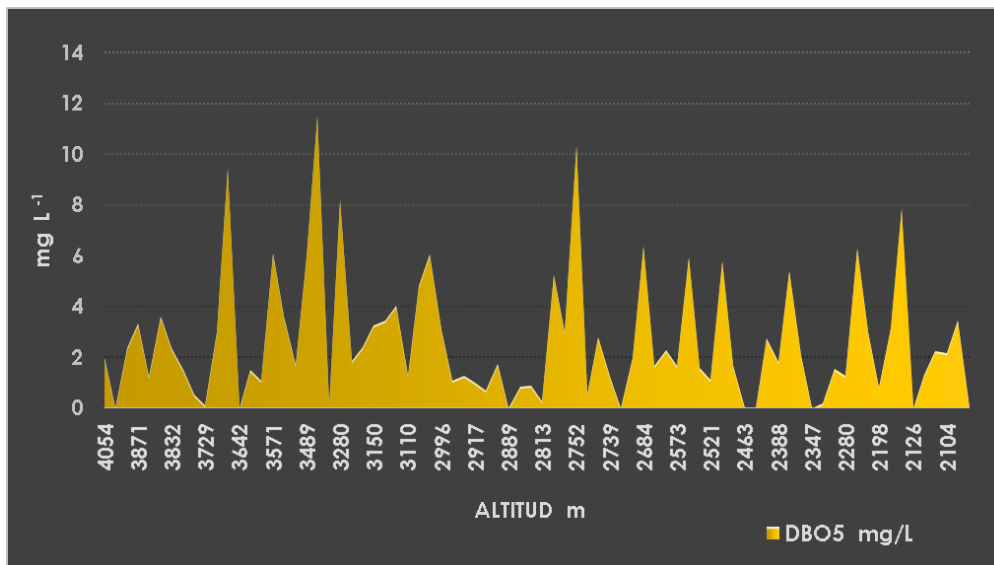


Figura 3.28 Variación altitudinal de la DBO₅

Las pruebas de W de Mann-Whitney ($p_v=6.599 \times 10^{-8}$), así como la prueba de Kolmogórov-Smirnov ($p_v=2.871 \times 10^{-6}$) para la comparación y distribución de medianas respectivamente indican que, si hay diferencia significativa entre las medianas de las dos cuencas y las distribuciones con una confiabilidad del 95%, lo que se puede observar en el diagrama de cajas (Fig. 3.29).

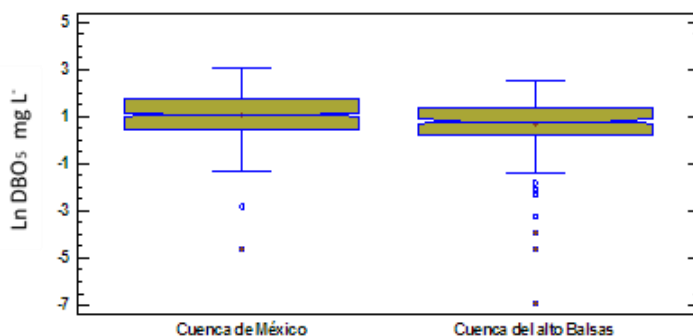


Figura 3.29 Variación de la DBO₅ para las cuencas de México y del alto Balsas

Demanda química de oxígeno (DQO)

Es la cantidad de oxígeno que se requiere para toda la materia susceptible de ser oxidada en esa muestra y por lo tanto es indicativa de los materiales contaminantes que se encuentran en ella. De acuerdo a este parámetro en nuestros 78 sitios de estudio se presentó toda la gama de calidades de agua propuestas, dominando las categorías de contaminada y aceptable; sitios con excelente y buena calidad en proporciones similares y en mayor proporción que estos últimos los que presentaron agua fuertemente contaminada (Fig. 3.30).

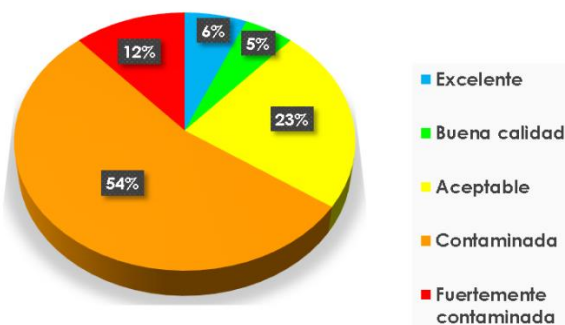


Figura 3.30 Porcentaje de sitios en las categorías de calidad del agua de acuerdo a la DQO

En la figura 3.31 se observan claramente los seis sitios que en promedio rebasan la demanda de oxígeno de 200 mg L^{-1} y consecuentemente se clasifican como fuertemente contaminados, dos de los cuales superan 600 mg L^{-1} , esto hace evidente la alta demanda en los sitios con actividades

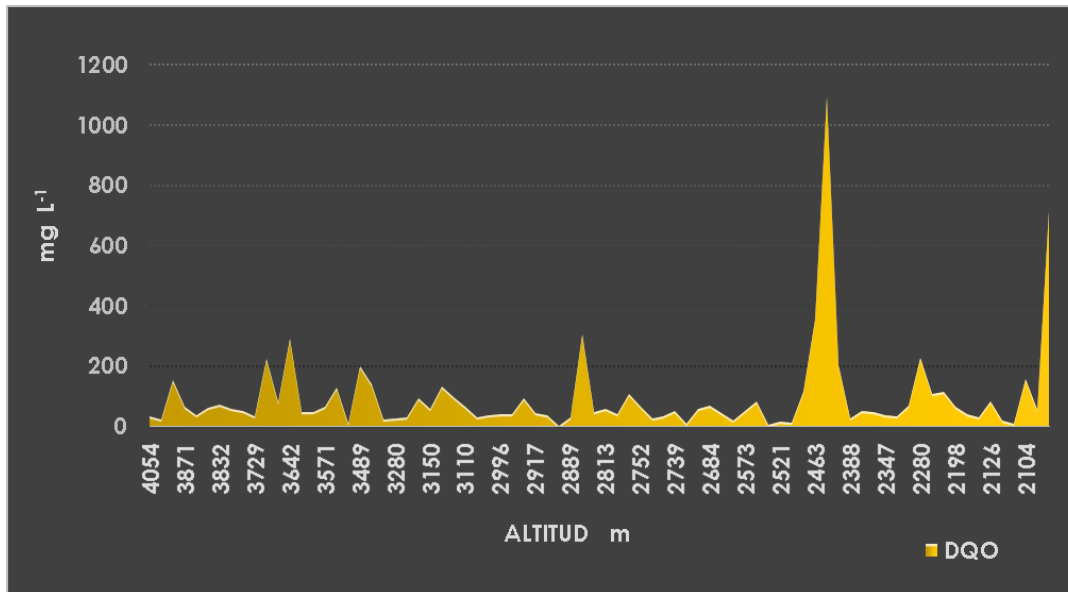


Figura 3.31 Variación altitudinal de la DQO

urbanas, pero también dentro del PNIP existen sitios que se encuentran contaminados o fuertemente contaminados.

En lo referente a la comparación de las medianas W-MW ($p_v=4.1 \times 10^{-11}$) y su distribución mediante la prueba de K-S ($p_v=0.0$) para ambas cuencas se encontró que tuvieron diferencias significativas mostrando la cuenca de México demandas de 0 a 1,092 mg L⁻¹ con un coeficiente de variación de 152% y la del Balsas un intervalo de 0 a 391.9 mg L⁻¹ con un coeficiente de variación de 111%, lo que se puede observar en el diagrama de cajas (Fig. 3.32).

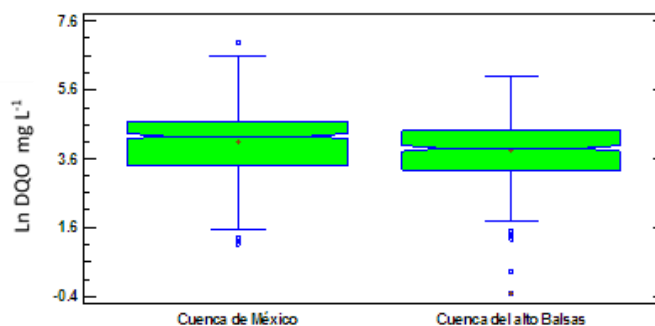


Figura 3.32 Variación de la DQO en las cuencas de México y del alto Balsas

Velocidad de corriente y caudal

Se observa en la figura 3.33, que estos parámetros hidrológicos se comportaron de manera similar a lo largo del gradiente altitudinal, sin mostrar una tendencia clara.

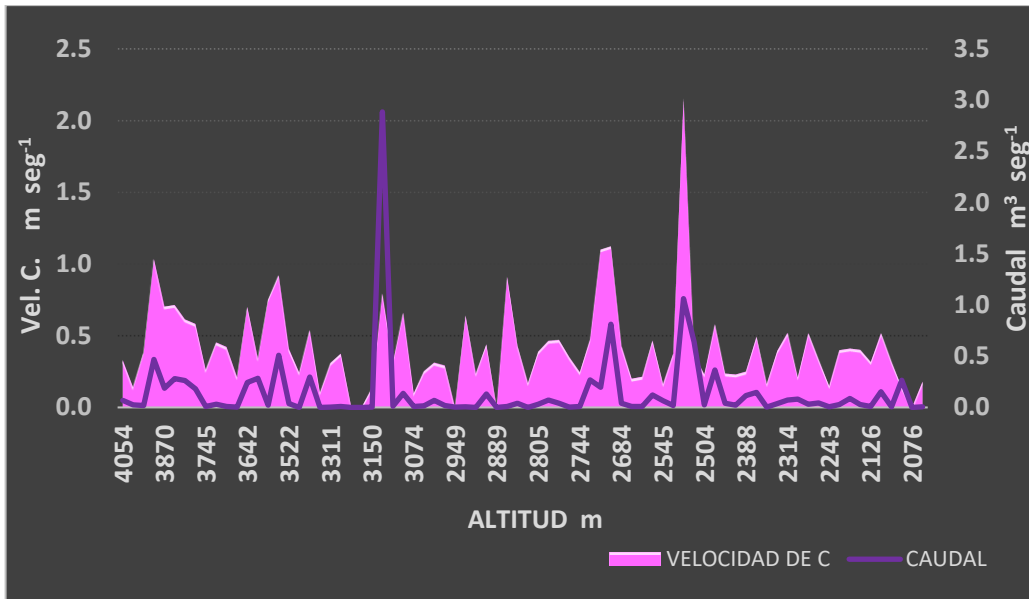


Figura 3.33 Variación altitudinal de la Velocidad de corriente y el caudal

De acuerdo con los resultados obtenidos de comparación de medianas W-MW ($p_v=0.0001751$) del caudal y ($p_v=0.03003$) para la velocidad de corriente y su distribución mediante el análisis K-S para los dos parámetros caudal ($p_v=7.35 \times 10^{-8}$) y velocidad respectivamente ($p_v=2.59 \times 10^{-7}$) con un nivel de confianza del 95% se puede decir que no fueron iguales las medianas del caudal y velocidad para las dos cuencas; lo que se ilustra en las figuras 3.34 y 3.35.

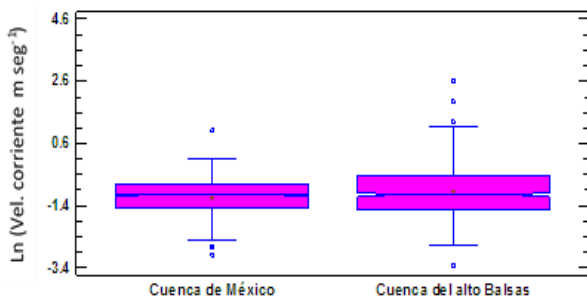


Figura 3.34 Variación de la velocidad de corriente para las cuencas de México y alto Balsas

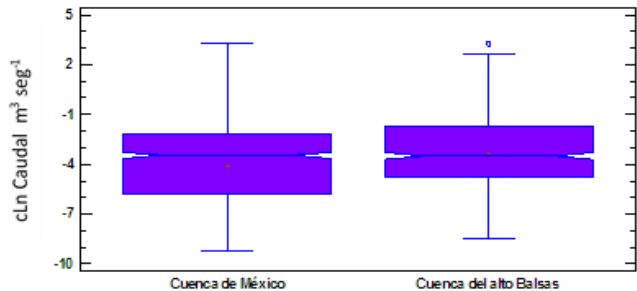


Figura 3.35 Variación del caudal para las cuencas de México y alto Balsas

Con aforos de 0.001 a 1.27 m³ seg⁻¹ y coeficiente de variación de 177% para la Cuenca de México y de 0.001 a 3.81 con coeficiente de variación de 252% para la Cuenca del Balsas.

COMPARACIÓN POR COBERTURA DEL SUELO

En la tabla 3.2 se sintetiza la información recabada en los monitoreos de sitios con diferente cobertura del suelo, los valores promedio, máximos, mínimos y el coeficiente de variación para cada uno de los parámetros en las diferentes clases de cobertura del suelo que se identificaron, resaltando así las similitudes o diferencias y la variabilidad que se presenta en cada caso.

Se realizó una comparación de muestras múltiples con la prueba de Kruskal-Wallis para comprobar si la mediana en cada una de las coberturas es la misma o presenta diferencias significativas, posteriormente se aplicó la prueba de Mood's para comprobar si las medianas de las siete muestras son iguales o no, y con ayuda de los diagramas de caja identificar cuáles son las que difieren.

En los gráficos de la figura 3.36 se observan las similitudes o diferencias que fueron identificadas mediante las pruebas estadísticas. Es muy importante mencionar que para todos los parámetros las medianas obtenidas para las diferentes coberturas del suelo no fueron iguales y presentaron diferencias significativas en todos los casos. Para hacer más visibles esas diferencias se elaboraron los diagramas de caja utilizando los logaritmos naturales de los parámetros excepto en el caso de la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto. Para la alcalinidad las mayores variaciones se registraron para las coberturas agropecuaria, urbana y los manantiales. La dureza total presentó alteraciones similares en la zona transicional entre pastizal montano/bosque de pino y la cobertura agrícola, así como entre la zona urbana y los manantiales. El fósforo total y los ortofosfatos presentaron alteraciones muy evidentes en las zonas urbanas. El nitrógeno también es fuertemente afectado por la cobertura agrícola y las áreas urbanas, pero también se encontraron fluctuaciones importantes en los manantiales. Los sulfatos tienden a elevar sus concentraciones y mostrar mayor variabilidad hacia las zonas de menor altitud con cobertura de bosque mixto, agrícola y en áreas urbanas.

El oxígeno disuelto presenta buenos niveles en las distintas coberturas a excepción de la zona urbana donde las concentraciones de este gas disminuyen severamente, sin embargo, aunque con buenos niveles el bosque de pino, el bosque mixto y la cobertura agrícola tienen mayor variación.

La demanda química de oxígeno presenta comportamientos diferentes en las coberturas de la zona transicional bosque de pino/pastizal montano y las áreas urbanas. La demanda bioquímica de oxígeno muestra alteraciones sobre todo en las coberturas de Bosque de Pino y Bosque mixto.

En el pH se observan cambios en todas las coberturas con una tendencia ascendente del pastizal montano hasta las zonas urbanas, con excepción de los manantiales que conservan valores similares a los del pastizal montano. La conductividad presenta alteraciones leves en la cobertura agrícola y en los manantiales; sin embargo, estas alteraciones son graves en la cobertura urbana.

INDICADORES HÍDRICO-EDÁFICOS DE CALIDAD PARA AMBIENTES RIBEREÑOS DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA "LOS VOLCANES"

Tabla 3.2. Valor promedio, máximo, mínima o y coeficiente de variación de cada una de las variables hídricas para cada clase de Cobertura de suelo identificada

Cobertura		Altitud	T Agua	Cond.	pH	OD	Alcalinidad	DT	Nitratos	Nitritos	Amonio	F total	Fosfatos	DBO5	DQO	Sulfatos	Sulfuros	STD	Veloc. C.	Caudal
Pastizal montano	Prom.	.	9.35	59	6.39	6.32	22.6	45.7	0.26	1.8	0.06	0.28	0.04	2.14	69.18	5.31	2.96	29.	0.39	0.0177
	Máx.	4058	13.3	133	7.56	10.29	45.6	190.7	3.1	11.6	0.4	0.73	0.1	5.44	269.44	36.21	20.0	66	1.04	0.1147
	Mín.	3832	5.5	18	5.66	4.29	8.0	12.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	9	0.05	0.0002
	Coef. Var. %	1.62	24.35	62	7.16	27.06	35.90	88.19	250.74	227.05	108.76	76.64	68.46	63.89	101.41	175.24	189.51	61	53.11	138.58
Bosque de pino/pastizal montano	Prom.		7.45	64	6.59	5.96	32.2	145.6	0.13	1.9	0.16	0.13	0.03	2.28	166.04	3.51	2.07	31	0.42	0.0601
	Máx.	3871	11.0	88	7.81	13.97	103.0	282.5	1.61	11.6	0.55	0.53	0.16	6.97	309.97	23.27	3.74	46	2.76	0.3055
	Mín.	3520	4.0	38	5.79	0.99	9.2	20.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	19	0.10	0.0006
	Coef. Var. %	2.68	26.48	22	9.36	52.17	49.33	71.68	228.44	223.90	103.33	88.82	135.19	62.59	67.62	180.65	72.56	22	92.71	151.60
Bosque de pino	Prom.		7.76	66	7.14	8.41	39.4	54.1	0.35	ND	0.08	0.17	0.06	4.37	33.44	4.90	2.23	33	0.41	0.1848
	Máx.	3745	11.0	248	7.81	13.07	206.0	129.49	2.0	ND	0.39	0.44	0.32	15.96	134.17	37.13	5.	124	1.5	1.0204
	Mín.	2889	4.0	18	6.35	5.9	8.56	2.0	0.01	ND	ND	0.03	0.01	ND	ND	ND	0.8	10	0.07	0.0100
	Coef. Var. %	8.79	31.50	104	7.11	32.12	85.07	71.85	171.66	ND	123.49	78.22	77.79	128.32	57.02	223.58	76.47	104	81.87	182.39
Bosque mixto	Prom.		8.69	93	7.14	8.09	39.9	89.71	0.09	0.11	0.07	0.22	0.04	4.38	88.52	10.79	1.43	47	0.38	0.1275
	Máx.	3571	16.0	207	8.63	13.96	299.6	936.22	0.52	11.56	1.37	0.85	0.58	22.16	613.18	33.19	8.64	102	0.76	3.54
	Mín.	2504	2.0	26	5.47	ND	4.0	18.05	ND	ND	ND	ND	0.03	ND	ND	ND	ND	17	0.04	0
	Coef. Var. %	9.33	25.45	56	10.05	37.22	86.49	117.72	84.37	1014.1	147.84	80.07	73.71	101.66	116.04	103.21	157.69	56	42.45	273.09
Agrícola	Prom.		12.25	190	7.16	7.31	71.9	232.8	0.34	0.014	1.06	0.73	0.12	2.1328	299.22	16.97	2.88	95	0.52	0.1557
	Máx.	2720	16.7	4	8.47	13.96	259.56	1294.9	2.7	0.25	13.67	5.03	4.04	12.74	1092.1	78.74	8.64	364	0.8	1.4082
	Mín.	2095	5.7	58	6.05	ND	10.8	28.0	ND	ND	ND	0.05	0.02	ND	ND	0.2	0.01	29	0.22	0
	Coef. Var. %	6.68	22.04	108	6.55	48.36	95.40	158.61	140.98	325.58	267.49	185.45	77.47	124.58	202.01	132.75	79.43	108	41.65	170.89
Urbana	Prom.		16.00	628	7.59	3.24	155.3	540.8	1.37	0.0028	3.77	4.26	1.11	1.34	248.72	16.28	2.58	304	0.48	0.5557
	Máx.	2463	20.0	1056	8.36	9.87	363.8	1541.5	12.34	0.02	16.0	10.9	4.04	6.58	718.06	78.75	4.72	530	3.1	3.8102
	Mín.	1987	13.0	108	7.08	ND	35.02	48.1	0.02	0	ND	0.07	0.02	ND	7.29	1.29	ND	54	0.06	0.0002
	Coef. Var. %	7.84	11.99	50	6.17	99.15	63.23	94.72	168.66	220.78	131.17	83.29	125.21	142.74	85.06	111.44	52.75	54	107.73	183.56
Manantial	Prom.		12.73	128	6.61	7.45	69.9	205.3	0.49	ND	0.80	0.39	0.12	2.18	36.94	3.85	3.71	63	0.39	0.0213
	Máx.	3871	16.3	220	7.76	10.64	123.6	728.2	5.1	ND	16.54	0.96	0.33	11.53	277.12	16.69	6.68	110	0.86	0.0928
	Mín.	2120	7.5	25	5.62	4.21	12.4	7.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12	0.15	0.0004
	Coef. Var. %	16.70	19.59	51	8.31	16.03	39.09	103.04	237.11	ND	414.29	68.41	79.63	128.87	81.34	118.87	46.02	51.39	51.64	113.49
Total	Prom.		9.92	136	7.01	7.26	51.19	148.41	0.27	0.47	0.51	0.55	0.12	3.26	164.57	9.96	2.4	67.5	0.4158	0.1375
	Máx.	4058	20.0	1056	8.63	13.96	363.8	1541.54	2.34	11.63	16.54	10.9	4.04	22.16	1092.1	78.75	20.0	530.0	3.1	3.8102
	Mín.	1987	2.0	18	5.47	ND	4.0	2.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	9.0	0.036	0
	Coef. Var. %	17.59	32.59	129	9.85	43.59	102.51	165.10	286.79	479.99	410.43	255.53	336.79	116.32	157.13	141.24	115.70	129.26	81.59	287.66

D: significa no detectado con el método utilizado y contabilizado como 0

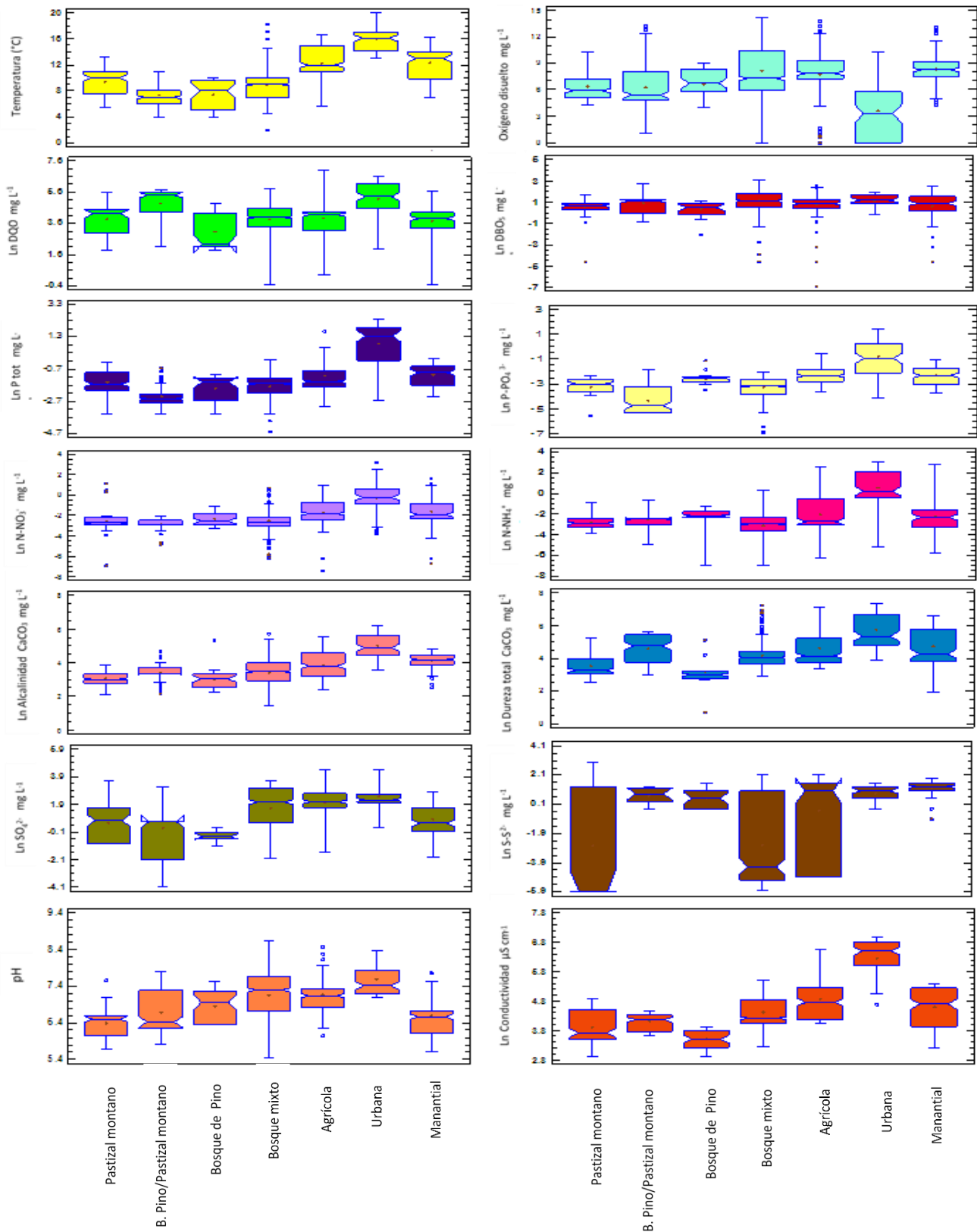


Figura 3.36 Variación en función de la Cobertura del suelo

COMPARACIÓN POR USO DE SUELO

De entrada, podemos decir que fue importante hacer la diferenciación entre la cobertura y los usos de suelo, ya que los comportamientos obtenidos difieren mucho entre ellos.

En la tabla 3.3 se conjuntó la información obtenida de los sitios con diferente uso del suelo, los valores promedio, máximos, mínimos y el coeficiente de variación para cada uno de los parámetros en las diferentes categorías de usos de suelo que se identificaron.

De la misma manera que en las coberturas de suelo, para los diagramas de caja y bigotes se utilizaron los logaritmos naturales de los parámetros, con la finalidad de resaltar las diferencias visualmente con excepción de la temperatura, oxígeno disuelto y pH.

La comparación de muestras múltiples se realizó con la prueba de Kruskal-Wallis para comprobar si la mediana en cada una de las coberturas es la misma o presenta diferencias significativas, posteriormente se aplicó la prueba de Mood's para comprobar si las medianas de las siete muestras son iguales o no, ambas con $\alpha=5\%$ y con ayuda de los diagramas de caja identificar las que difieren.

La figura 3.37 muestra los diagramas de caja que permiten visualizar las similitudes o diferencias que fueron identificadas mediante las pruebas estadísticas. Para todos los parámetros las medianas obtenidas para los diferentes usos de suelo no fueron iguales y presentaron diferencias significativas en todos los casos.

La alcalinidad sufrió cambios leves en la zona forestal perturbada y la recreativa forestal, y muy drásticas en suelos con uso agropecuario y urbano.

La dureza total manifiesta cambios ligeros en las zonas forestales perturbadas y muy acentuadas en las áreas de uso urbano. En las zonas urbanas se registra la alteración de ortofosfatos, fósforo total y nitratos, siendo en los dos últimos muy fuerte. Las concentraciones de sulfatos sufren cambios notables sobre todo en las zonas recreativas forestales y ligeros en las zonas de uso urbano.

El oxígeno disuelto se mantiene en niveles adecuados y aumenta en las zonas forestal perturbada y agropecuaria; pero tiende a bajar severamente en las áreas urbanas; la demanda química de oxígeno disminuye ligeramente en áreas forestales con recreación y actividad agrícola y se incrementa muy fuertemente en zonas urbanas. La demanda bioquímica de oxígeno tiende a bajar en las zonas urbanas, pero se incrementa en las zonas forestales y agropecuarias.

El pH sube moderadamente en la transición a través de los primeros cinco usos de suelo de la Pradera de alta montaña a la zona Agrícola-forestal y por último debemos mencionar que la conductividad sube ligeramente en zonas recreativas y de manera muy severa en las zonas urbanas.

INDICADORES HÍDRICO-EDÁFICOS DE CALIDAD PARA AMBIENTES RIBEREÑOS DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA "LOS VOLCANES"

Tabla 3.3. Valor promedio, máximo, mínimo y coeficiente de variación de cada una de las variables hídricas registradas para cada Uso de suelo identificado

Uso de suelo		Altitud	T Agua	Cond.	pH	OD	Alcalinidad	DT	Nitratos	Nitritos	Amonio	F total	Ortofosfatos	DBO ₅	DQO	Sulfatos	Sulfuros	STD	Veloc. C.	Caudal
Pradera de alta montaña	Prom.		9.02	62	6.55	6.77	23.58	54.12	0.28	1.657	0.062	0.27	0.05	2.15	66.99	6.68	2.80	30	0.387	0.3500
	Máx.	4058	13.30	133	7.81	12.8	45.60	277.39	3.10	11.630	0.400	0.73	0.13	6.87	269.44	36.21	20.00	66	1.039	0.2036
	Mín.	3832	5.00	18	5.66	4.29	8.00	12.61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0.051	0.0002
	Coef. Var. %	1.62	25.19	55	9.15	28.76	44.88	98.04	230.79	241.960	106.04	73.00	66.89	72.81	95.71	142.12	186.89	54	53.09	146.86
Forestal	Prom.		8.49	64	6.69	6.83	24.08	75.80	0.08	0.165	0.063	0.22	0.04	3.86	91.66	6.88	0.5	32	0.415	0.0820
	Máx.	3871	16.00	145	7.94	13.74	103.00	286.40	0.35	11.561	0.315	0.85	0.16	22.16	315.74	33.19	5.7	73	2.76	1.2744
	Mín.	3520	2.00	25	5.47	3.85	4.00	16.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0.103	0
	Coef. Var. %	2.68	27.54	50	9.08	33.74	74.38	111.14	76.78	809.71	100.43	88.32	88.16	113.81	90.35	130.21	249.65	52	92.09	233.55
Forestal perturbado	Prom.		8.49	78	7.05	8.54	50.93	123.33	0.14	1.195	0.35	0.19	0.04	4.47	90.80	4.79	3.73	39	0.432	0.0940
	Máx.	3745	14.00	248	8.63	14.18	192.60	936.22	2.00	11.561	16.542	0.71	0.32	21.72	309.97	37.13	8.64	124	1.500	1.0204
	Mín.	2889	4.60	18	5.74	0.99	16.40	2.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0.065	0.0004
	Coef. Var. %	8.79	25.51	53	10.72	37.97	58.65	109.93	197.11	293.060	570.02	85.59	100.65	110.63	112.28	167.4	47.25	52	81.53	201.383
Recreativo - Forestal	Prom.		9.00	138	7.4	6.95	31.91	138.53	0.10	0.004	0.13	0.21	0.06	2.07	70.75	18.52	1.56	73	0.353	0.0890
	Máx.	3571	18.30	204	8.31	12.33	123.60	1386.99	0.35	0.400	0.804	0.68	0.10	12.33	355.55	31.98	7.66	101	0.763	0.3182
	Mín.	2504	6.00	39	5.89	0	14.00	24.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0.036	0.0017
	Coef. Var. %	9.33	36.05	44	7.7	27.45	76.95	167.74	76.90	284.620	106.7	65.49	49.07	100.38	72.96	68.70	162.2	40	43.38	83.75
Agrícola - Forestal	Prom.		9.50	79	7.34	9.78	28.19	47.5	0.14	0.0004	0.053	0.21	0.06	2.94	50.5	6.63	3.44	39	0.546	0.818
	Máx.	2720	12.00	130	7.82	13.74	49.44	73.99	0.50	0.002	0.141	0.49	0.115	9.75	107.62	15.93	4.72	65	0.818	3.5400
	Mín.	2095	8.00	61	5.83	6.60	18.70	26.20	0.04	0	0	0.06	0.016	0	0	0.148	2.76	30	0.215	0.0100
	Coef. Var. %	6.68	13.40	33	7.75	25.75	42.96	26.52	96.76	159.77	71.01	71.81	58.75	104.30	56.39	89.84	21	34	38.330	185.92
Agropecuario	Prom.		11.44	102	7.15	8.87	44.74	101.98	0.18	0.006	0.187	0.25	0.092	3.48	48.50	5.89	2.62	52	0.467	0.1350
	Máx.	2463	16.30	202	8.47	13.74	119.48	485.45	1.00	0.1683	2.708	0.74	0.26	13.74	158.2	13.41	7.66	94	3.100	1.4082
	Mín.	1987	5.70	58	5.97	0	10.80	28.03	0.027	0	0	0.04	0.026	0	0	0.2	0	29	0.063	0.0013
	Coef. Var. %	7.84	21.31	49	8.64	33.14	71.73	102.50	101.30	418.300	279.47	67.46	59.90	110.91	68.05	67.27	94.22	48	115.22	200.51
Urbano	Prom.		15.23	443.33	7.28	5.53	142.00	478.51	1.75	0.011	2.770	1.78	0.561	2.28	256.9	20.98	3.25	217	0.583	0.9500
	Máx.	3871	20.00	1056	8.36	12.78	472.94	1541.54	24.20	0.247	20.796	6.36	4.037	12.74	1092.09	78.75	8.64	530	7.012	26.400
	Mín.	2120	12.00	108	6.26	0	4.00	7.01	0	0	0	0.07	0.0162	0	0	1.0	0	54	0.150	0
	Coef. Var. %	16.70	11.22	68	6.66	66.62	71.17	99.89	235.70	361.040	175.54	113.83	177.94	120.12	131.53	113.02	49.98	70	187.40	468.74
Total	Prom.		9.95	135	7.02	7.44	55.10	150.90	0.36	0.450	0.531	0.42	0.123	3.31	102.34	10.03	2.31	68	0.440	0.2200
	Máx.	4058	20.00	1056	8.63	14.18	472.94	1541.54	24.20	11.630	20.796	6.361	4.037	22.16	1092.1	78.75	20	530	7.012	26.400
	Mín.	1987	2.00	18.00	5.47	0	4.00	2.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0.036	0
	Coef. Var. %	17.59	32.86	129.27	9.79	40.86	114.09	167.55	455.24	489.310	423.90	215.53	337.633	113.74	155.67	140.12	117.66	129	120.92	750.21

ND: significa no detectado con el método utilizado y contabilizado como 0

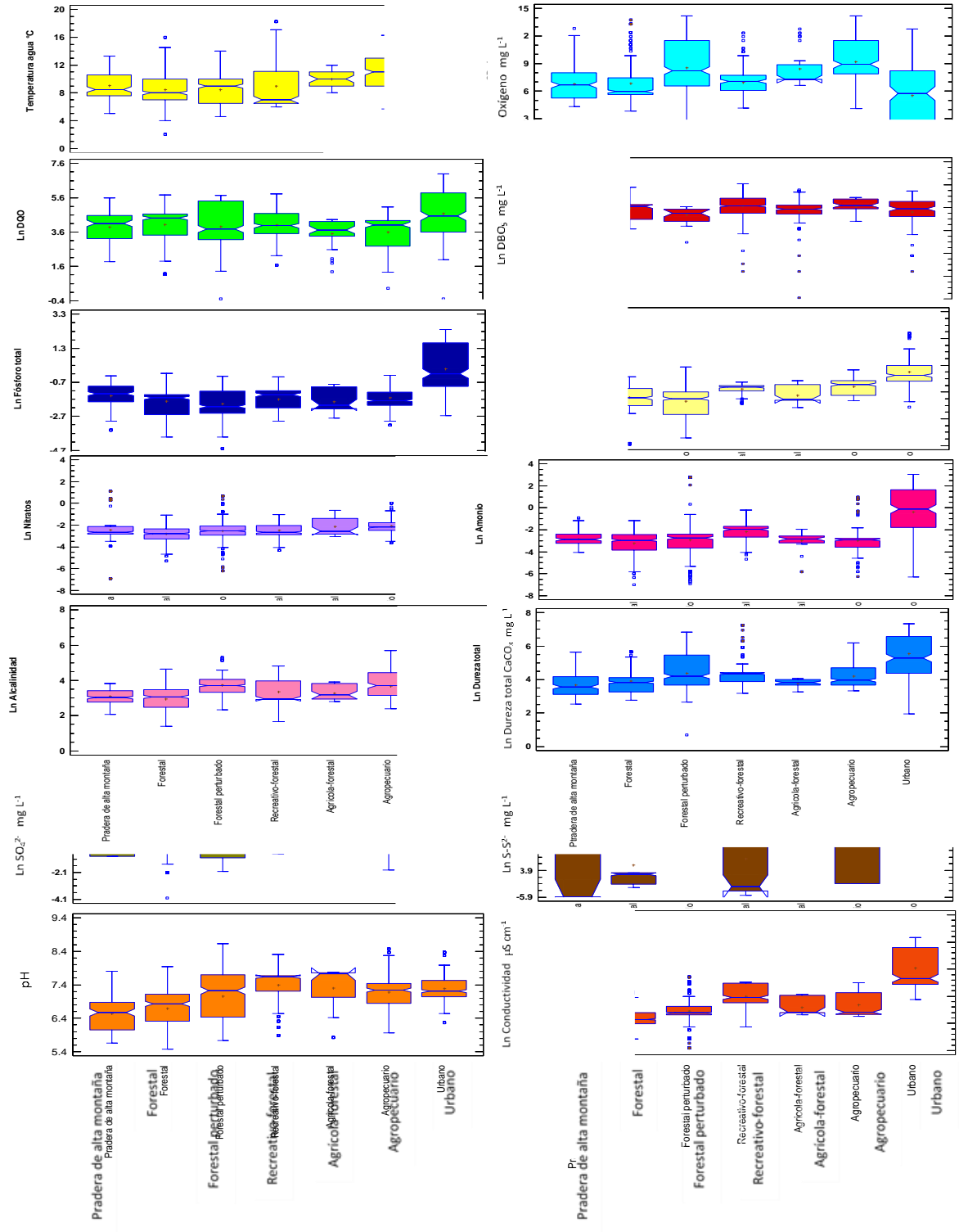


Figura 3.37 Variación de cada uno de los parámetros en función del Uso de suelo

Con la finalidad de dar a conocer toda esta información procesada de una manera visual, práctica y útil para todos los sectores de la sociedad se elaboraron mapas temáticos con la información de los cambios espaciales que se han registrado durante el periodo de estudio. Se sabe, que los cambios en las propiedades del agua solamente son válidos para ese momento; sin embargo, el resultado del monitoreo a lo largo de estos cinco años permite dar una tendencia general que es difícil de modificar o revertir en corto tiempo.

En la figura 3.38 se observan los cambios del equilibrio salino a través de tres variables importantes la conductividad, la alcalinidad que mostrará los aniones importantes y la dureza que revela la presencia de los cationes más comunes.

La figura 3.39 en donde concentramos la información de los nutrientes más relevantes el fósforo y el nitrógeno en sus especies químicas con mayor peso en el comportamiento de estos sistemas lóticos, siendo estos parámetros indicativos del riesgo de eutrofización o la eutrofización presente,

La figura 3.40 se muestran los sitios de estudio indicando mediante el color del ícono la clasificación de la calidad del agua en ese sitio de acuerdo a la Demanda bioquímica de oxígeno que fue monitoreada, esto permite comparar visualmente las localidades de las dos cuencas y los cambios en el gradiente altitudinal que ha tenido este parámetro.

La figura 3.41 es similar a la anterior, pero clasifica cada uno de los sitios de acuerdo a la categoría de calidad del agua que tiene de acuerdo a la demanda química de oxígeno, lo que además de permitir hacer la comparación de la situación en cada cuenca y en el gradiente altitudinal también facilita comparar entre el nivel de calidad del agua obtenido con DBO_5 y DQO.

Después de haber realizado el análisis del comportamiento de las variables en cada una de las cuencas, de acuerdo a la cobertura vegetal que se presenta en cada sitio y del uso de suelo que existe en cada localidad, y haber plasmado la representación espacial de algunos de los resultados, retomamos el análisis de correlaciones múltiple realizado al principio y seleccionamos los parámetros con mayor significancia en las correlaciones, evitando las variables colineales, como resultado de eso seleccionamos las trece variables más significativas y las sometimos a un análisis de componentes principales (Tabla 3.3). El resultado arrojó la conformación de cuatro componentes que explican la variabilidad de nuestro sistema en un 73.942%.

En la tabla 3.4 se muestran las variables que conforman cada uno de los componentes y en las figuras 3.42 y 3.43, su asociación vista en el plano. Identificadas las variables para cada componente y sus coeficientes; se procedió a calcular los componentes 1, 2 y 3, posteriormente utilizando ArcMap 10.3 con los valores calculados se hizo un análisis geoespacial mediante la distancia inversa ponderada (IDW) y se generaron los mapas que indican las zonas de diferente calidad hídrica de acuerdo a la información que se tiene y el procesamiento estadístico de los datos.

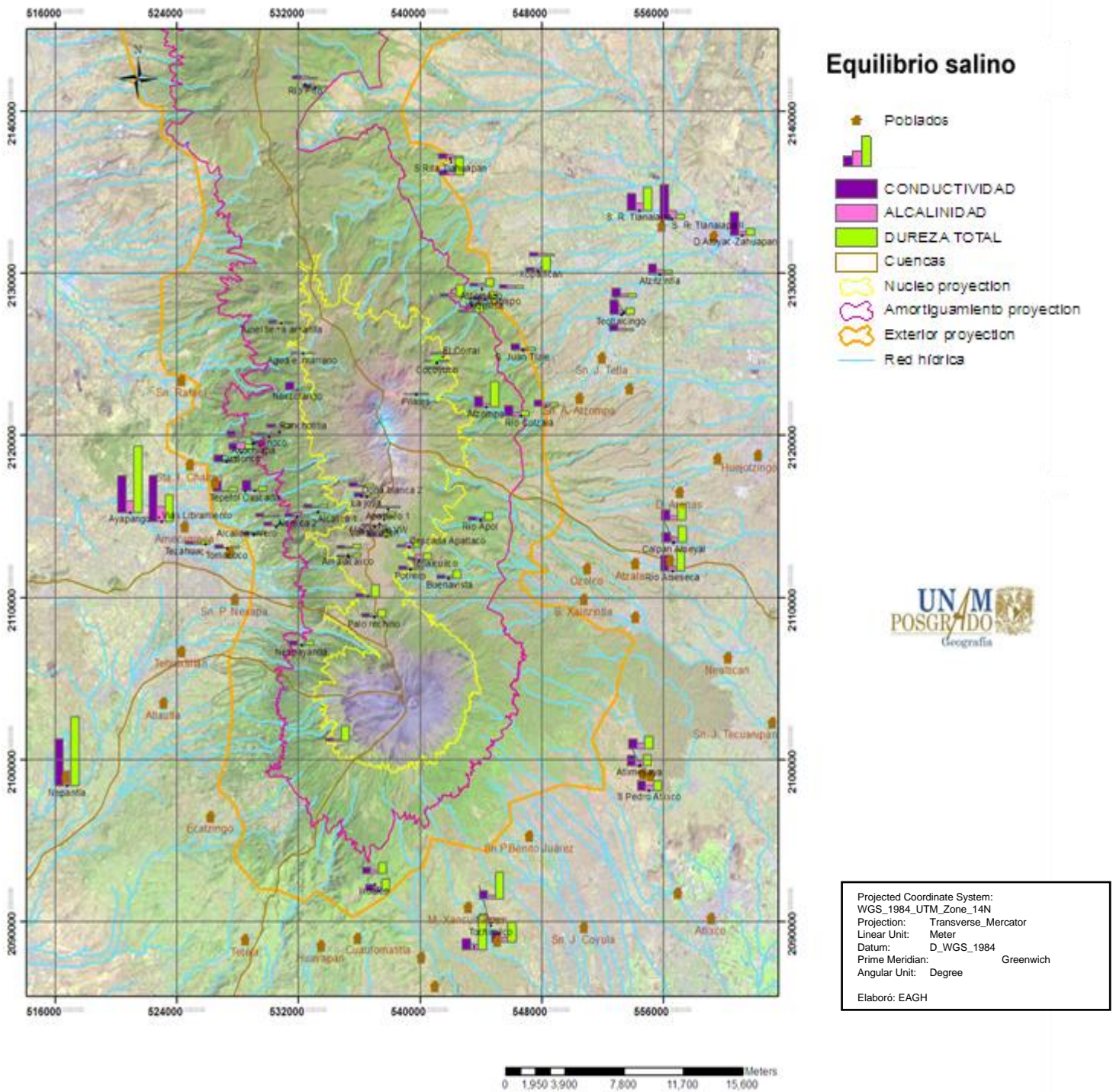


Figura 3.38 Representación espacial del Equilibrio salino en las corrientes superficiales de la RBLV y la zona de influencia

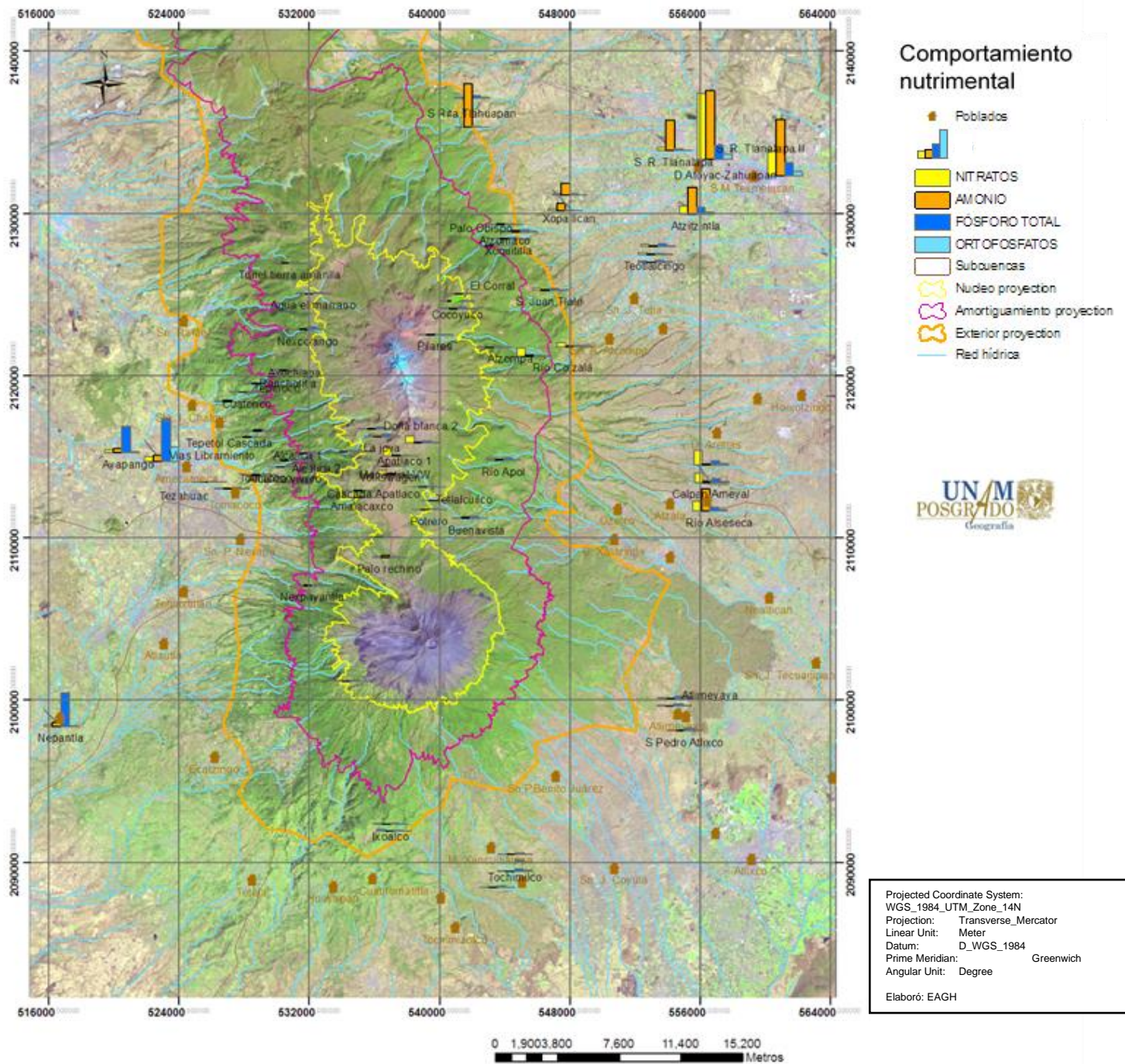


Figura 3.39 Representación espacial del Comportamiento nutricional en las corrientes superficiales de la RBLV y la zona de influencia

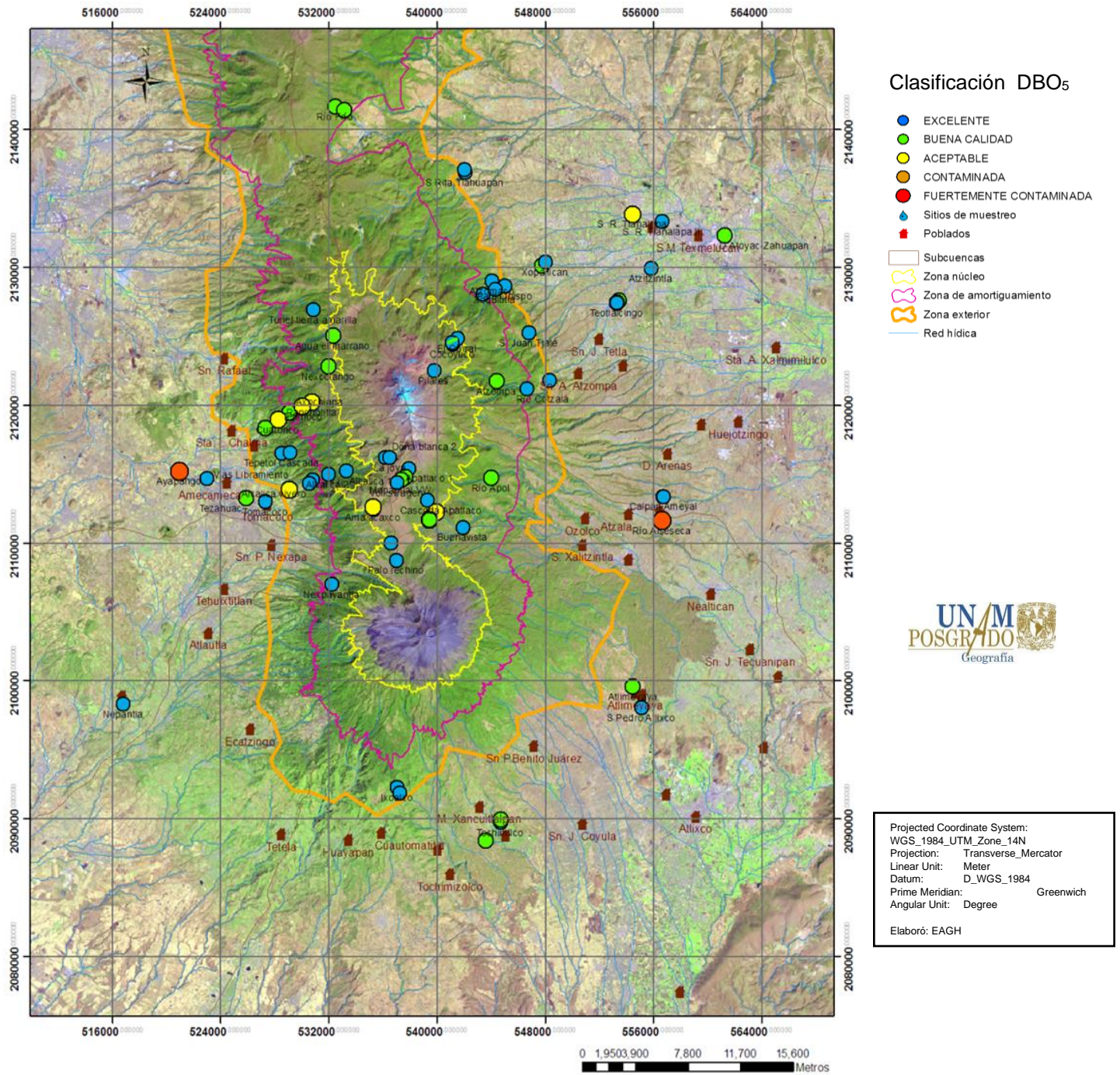


Figura 3.40 Representación espacial de la calidad del agua de acuerdo a la DBO₅ en corrientes superficiales de la RBLV y su área de influencia

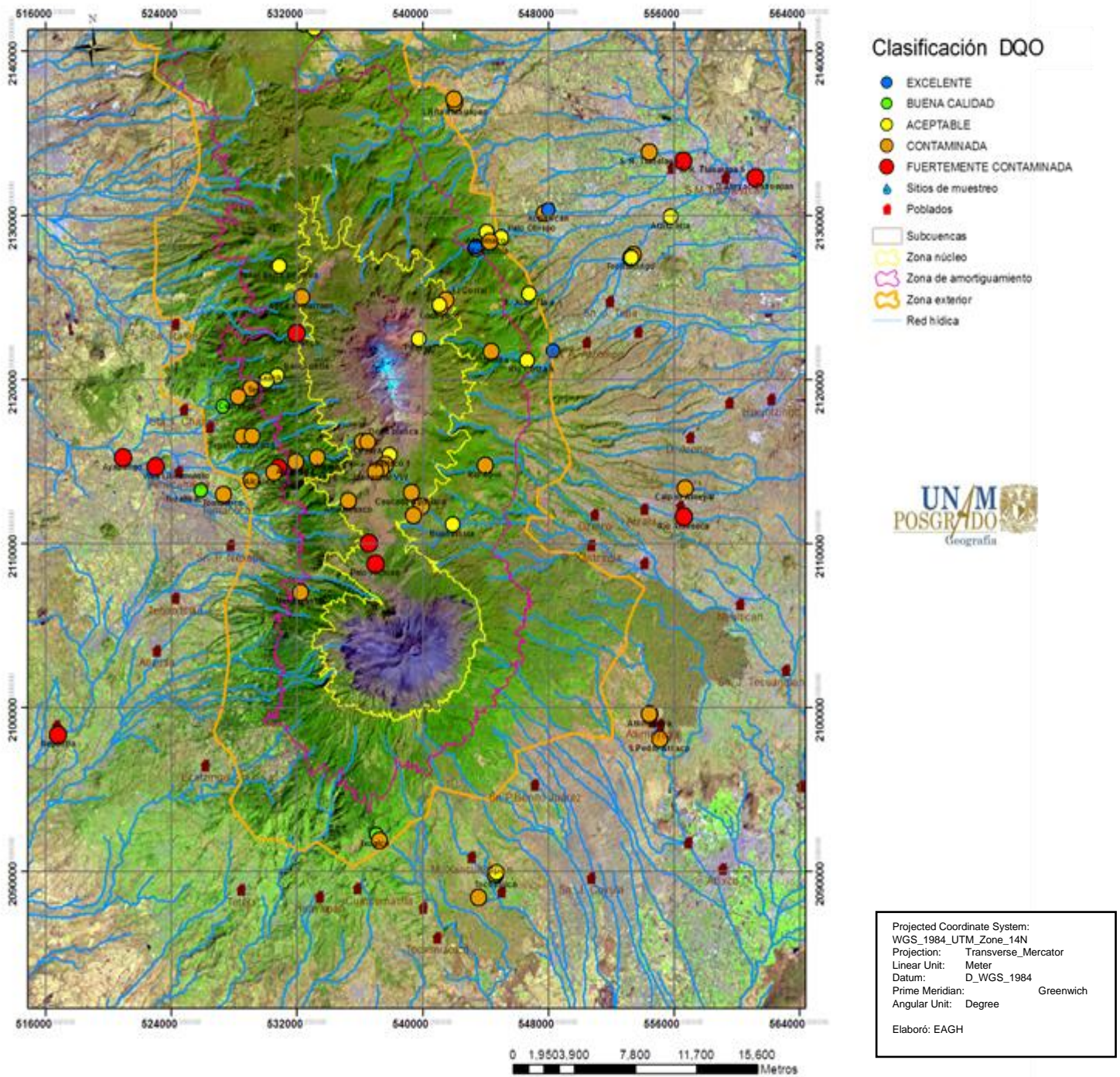


Figura 3.41 Representación espacial de la calidad del agua de acuerdo a la DQO en corrientes superficiales de la RBLV y su área de influencia

Tabla 3.4 Resultados del Análisis de Componentes principales

Componente		Porcentaje de	Porcentaje
Número	<i>Eigenvalue</i>	<i>Varianza</i>	<i>Acumulado</i>
1	5.29037	40.695	40.695
2	1.59814	12.293	52.989
3	1.46119	11.240	64.228
4	1.26272	9.713	73.942
5	0.969217	7.456	81.397
6	0.717231	5.517	86.914
7	0.403444	3.103	90.018
8	0.381639	2.936	92.953
9	0.337841	2.599	95.552
10	0.20522	1.579	97.131
11	0.199664	1.536	98.667
12	0.127572	0.981	99.648
13	0.0457537	0.352	100.000

Tabla 3.5 Pesos de los componentes

<i>Variable</i>	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
<i>Alcalinidad</i>	0.377133	-0.0515404	0.175675	0.233393
<i>Amonio</i>	0.19082	0.557343	0.0569867	-0.306634
<i>Conductividad</i>	0.414115	0.0119821	0.102929	-0.0273179
<i>DBO₅ mg/L</i>	-0.124173	-0.0167803	0.629706	-0.105864
<i>DQO</i>	0.301531	-0.325531	-0.0835521	-0.241052
<i>Dureza total</i>	0.296036	-0.317175	0.123903	-0.198036
<i>Fósforo total</i>	0.372018	-0.0932247	0.123178	0.291329
<i>Nitratos</i>	0.168182	0.580261	-0.00891597	-0.244721
<i>OD</i>	-0.266649	-0.00681561	0.527371	-0.01817
<i>Ortofosfatos</i>	0.302113	0.0876771	0.184869	0.470981
<i>pH</i>	0.0765198	0.0552562	0.433869	-0.170966
<i>Sulfatos</i>	0.234917	-0.25399	-0.0465367	-0.573646
<i>T agua</i>	0.2565	0.242953	-0.13593	0.130428

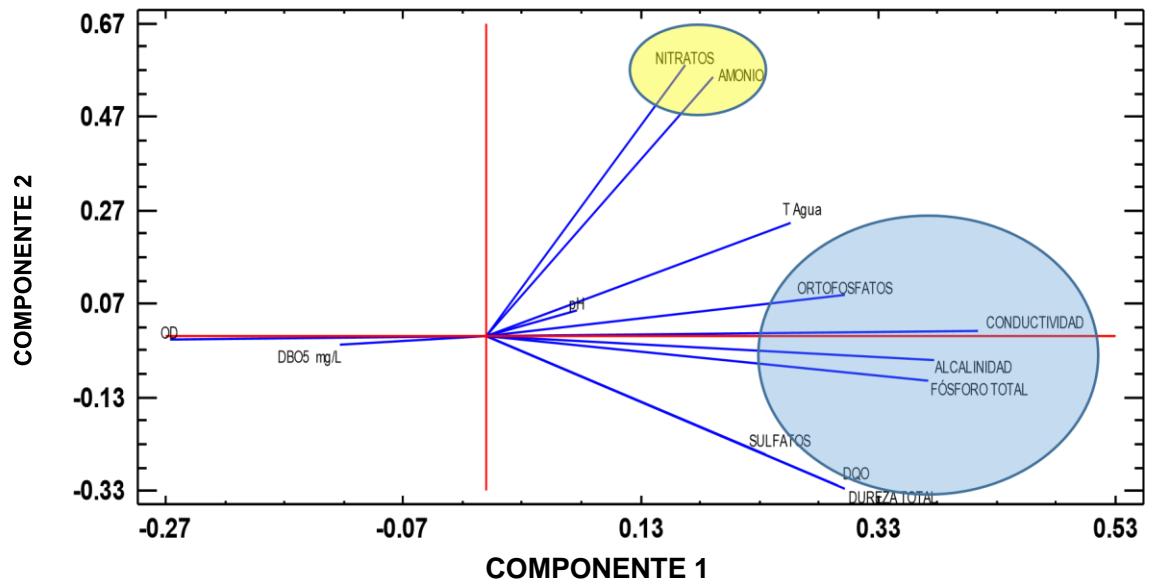


Figura 3.42 Representación gráfica de los componentes principales 1 y 2

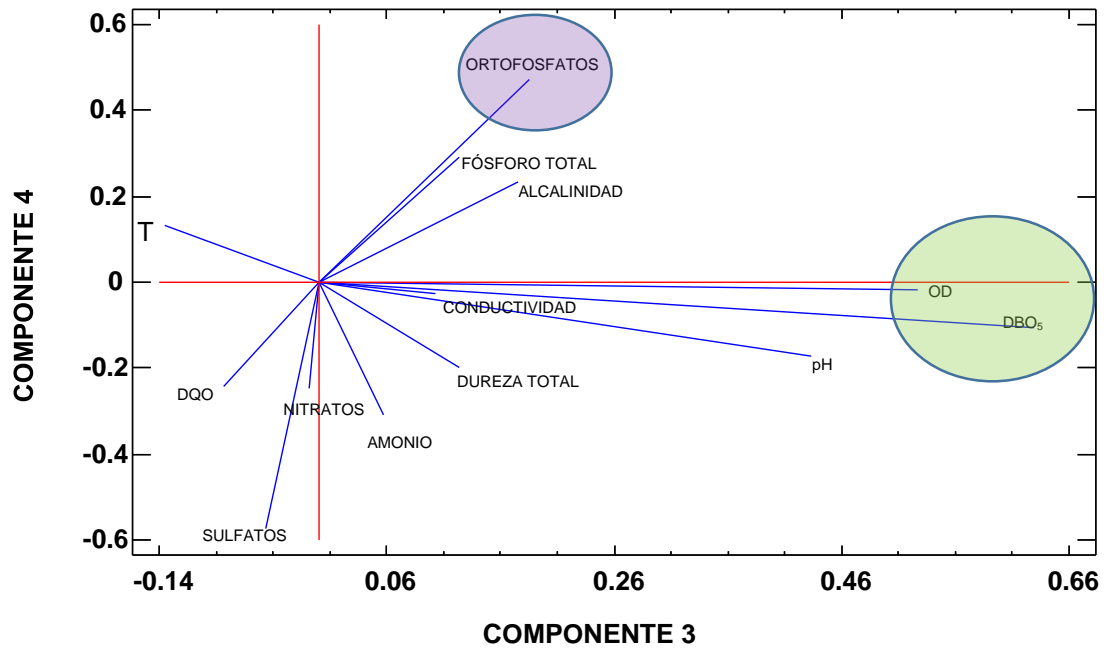


Figura 3.43 Representación gráfica de los componentes principales 3 y 4.

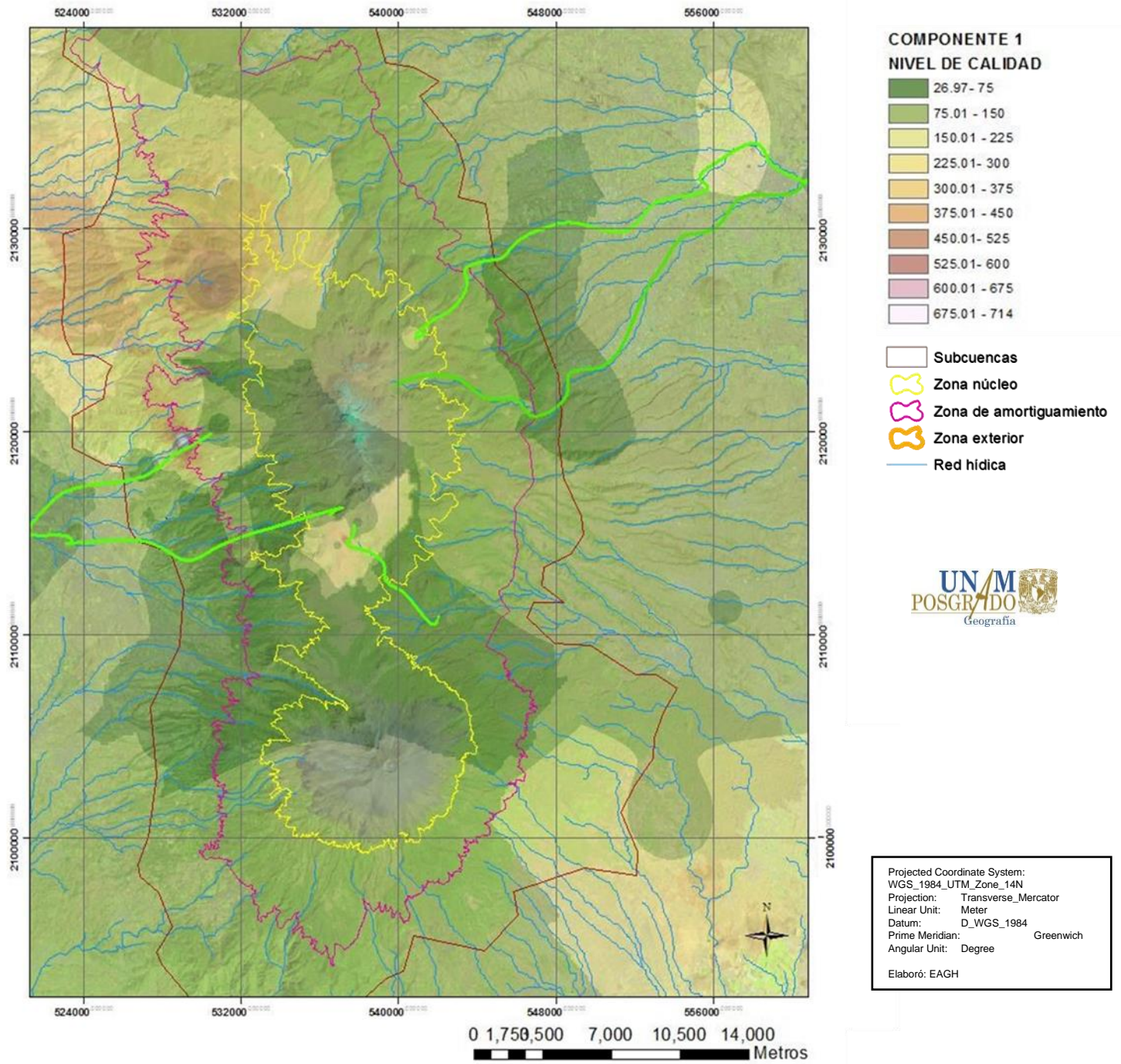


Figura 3.44 Representación espacial del primer componente

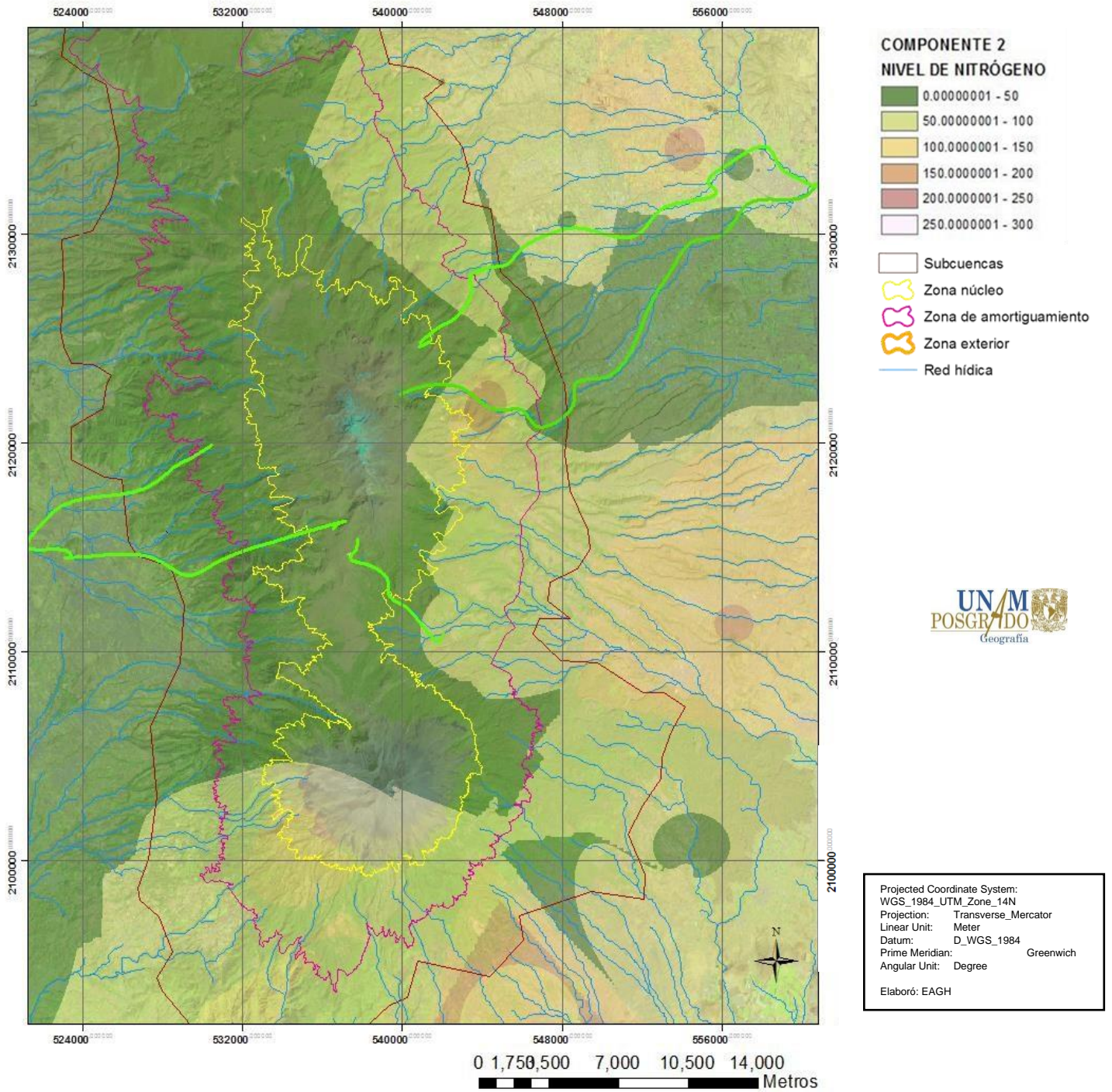


Figura 3.45 Representación espacial del segundo componente

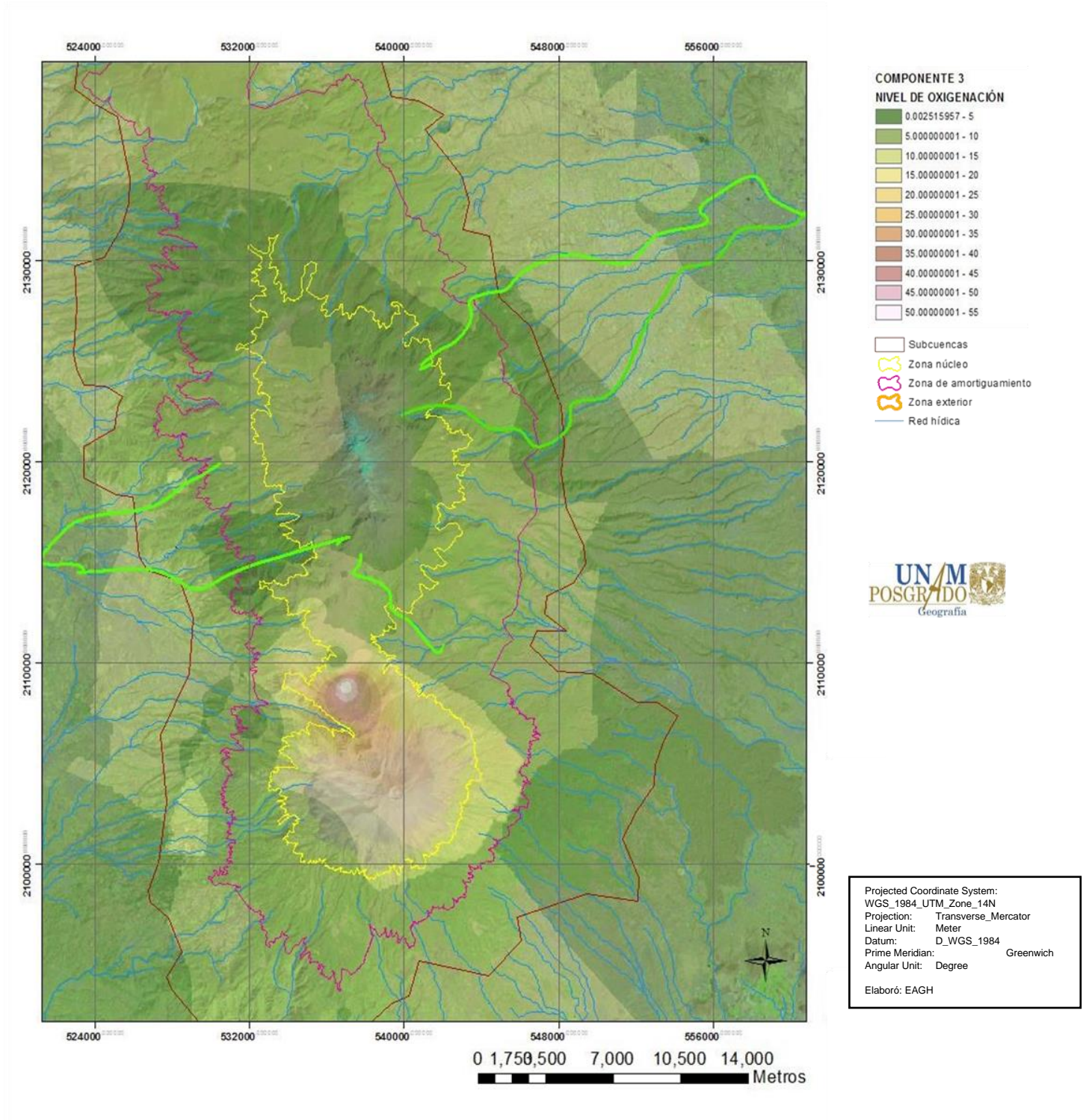


Figura 3.46 Representación espacial del tercer componente

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

El componente térmico presentó de manera general el comportamiento esperado de descenso conforme se incrementa el gradiente altitudinal, manteniéndose la temperatura ambiental por arriba de la del agua a cualquier hora del día, presentándose únicamente tres excepciones durante el tiempo de estudio. Sorprende que la tasa de cambio por cada 100 m de elevación en el gradiente altitudinal rebasa la mencionada en el Programa de manejo del PNIP (SEMARNAT, 2013), ya que los datos de este estudio abarcan la información recabada de 2010 a 2014. El análisis del comportamiento en cada una de las vertientes hace evidente que la vertiente oriental perteneciente a la Cuenca del Balsas registra temperaturas más elevadas con diferenciales térmicos máximos de 15.4 °C y para la Vertiente occidental las temperaturas registradas son más bajas de manera regular con un diferencial térmico de 16.3 °C. Factores como la exposición al sol, la topografía del terreno y su pendiente, así como la vegetación presente, permite que la vertiente oriental tenga temperaturas más elevadas que la occidental, lo cual influye seguramente en la biodiversidad y los procesos de óxido reducción que se llevan a cabo en las corrientes superficiales.

El pH presentó condiciones que salen de lo esperado para sistemas naturales registrando valores menores a 6 y mayores a 8.5, estas alteraciones se presentan en ambas cuencas, pero son más drásticas en la Cuenca de México lo que indica el impacto de actividades antropogénicas realizadas a las orillas de los arroyos. Las condiciones más ácidas de manera general se dan en las zonas de mayor altitud, lo que no sorprende dada la tendencia acidificante que se presenta en los Bosques de pino. El comportamiento de este parámetro fue significativamente diferente entre las dos vertientes.

Este parámetro presentó importantes diferencias en cuanto a los sitios con diferente cobertura con una tendencia a elevarse desde las localidades con pastizal montano a las de bosque mixto, continuando esta tendencia a las áreas urbanas, pero manteniéndose en los manantiales con un pH similar al de la cobertura del pastizal montano, lo que se explica ya que estos sitios tienden a mantener condiciones conservadas.

El pH manifestó grandes cambios según el uso de suelo con una tendencia a la neutralidad o ligera alcalinización de manera gradual, manteniéndose en general cerca de la neutralidad en los usos de suelo agropecuario y urbano.

De acuerdo a la Conductividad que es una variable altamente sensible a los cambios, se observa que la salinidad que mantiene el agua está asociada principalmente con la geología de las cuencas y después con el uso de suelo. El agua analizada presenta condiciones aceptables para ser potabilizada en lo referente a la cantidad salina y únicamente algunos de los sitios urbanos tienen riesgo moderado de salinidad lo cual es un factor que altera la calidad del suelo para esos sitios. Es muy evidente el aumento de conductividad en altitudes menores a 2500 m s.n.m. por actividades agropecuarias y asentamientos humanos. No hay evidencia que indique la diferencia entre el comportamiento de esta variable para las dos cuencas. De acuerdo a los sitios con cobertura vegetal diferente vemos que la conductividad tiene

comportamientos diversos con concentraciones ligeramente elevadas en manantiales, bosque mixto y áreas de cultivo y concentraciones muy elevadas en zonas urbanas.

En los distintos usos de suelo la alcalinidad tuvo ligeros cambios en las zonas con uso forestal en sus diferentes modalidades, sufriendo cambios mayores en el uso agropecuario y urbano.

Con respecto a la alcalinidad estuvo dominada por la presencia de bicarbonatos en el sistema y sus concentraciones fueron cambiantes, pero en general se mantienen bajas con una tercera parte de los sitios con agua con baja alcalinidad y solo 6% de los sitios con alta alcalinidad en lugares con actividad agrícola y urbana. Las durezas las asociamos con la alcalinidad de manera natural por la combinación entre los aniones que generan la alcalinidad y los cationes que provocan la dureza del agua. En este caso ambas propiedades mantuvieron un comportamiento similar a lo largo del gradiente altitudinal, aunque se presentaron todas las gamas de la dureza, el mayor porcentaje de los sitios presentó aguas blandas, el menor porcentaje aguas duras y algunos sitios con aguas muy duras. Se manifestó un comportamiento distinto de estos parámetros en las dos cuencas, con evidencia de mayor variabilidad en la Cuenca del Balsas, posiblemente por la elevada actividad agrícola de esa zona. La alcalinidad se eleva un poco conforme se desciende en el gradiente altitudinal y atraviesa las diferentes coberturas con alteraciones semejantes en el bosque de pino y el mixto, y registro de mayores alteraciones en los manantiales y las zonas agrícolas, atribuibles a diferentes causas, los primeros por la incorporación de iones en disolución al incorporar parte del material geológico en su recorrido subterráneo y en el segundo caso en las zonas agrícolas por la incorporación de sales residuales de los fertilizantes y un cambio muy conspicuo en las zonas urbanas por la incorporación de aguas residuales a las corrientes naturales. Los cambios observados en la calidad del agua por el uso del suelo es algo que se corrobora con otros estudios como los realizados por Wijesiri, Deilami, y Goonetilleke, (2018a), al analizar la relación de las modificaciones en distintos usos de suelo e identificar la importancia de los cambios según la estacionalidad, La alteración o pérdida de la zona ribereña cuando las actividades humanas, de recreación, agricultura o descargas residuales provocan un deterioro drástico de la calidad del agua como lo señala Sliva y Williams (2001)

El cambio de uso de suelo afectó las durezas con ligeras alteraciones en el uso forestal y el agropecuario y muy severas en el uso urbano

El fósforo estuvo monitoreado a través del fósforo total y los ortofosfatos, pero en particular para los sitios bajo estudio los valores del fósforo total reflejan de mejor manera el comportamiento nutrimental de las corrientes superficiales y de su tendencia trófica, presentando ambos parámetros un comportamiento similar. De acuerdo a las concentraciones de fósforo se puede considerar que el agua de todos los sitios es adecuada para riego agrícola y uso público. Algunos de los sitios con uso de suelo urbano son inadecuados para la protección de la vida acuática, esto es un elemento importante para la reflexión ya que la contaminación de los arroyos por descargas residuales principalmente de origen doméstico, elevan la carga nutrimental del cuerpo acuático pero lejos de favorecer su productividad, estas cargas tan elevadas provocan anoxia en los sistemas, con condiciones altamente reductoras que modifican el hábitat y la muerte de muchos organismos, a excepción de algunas microalgas que pueden verse beneficiadas al inicio de estas condiciones, pero que si se mantienen, les impedirá tener un crecimiento y desarrollo adecuado.

La diferencia entre el comportamiento del fósforo total y ortofosfatos para las dos cuencas es significativa, con mayor variabilidad en la Cuenca del Balsas.

Los dos parámetros del fósforo se ven fuertemente alterados solo en las coberturas de zonas urbanas. En los diferentes usos de suelo el fósforo no sufre alteraciones a excepción del uso urbano donde las dos especies químicas se incrementan de manera sustancial reflejando niveles de eutrofización.

El nitrógeno monitoreado a través de tres de sus especies químicas mantuvo buenas condiciones hasta altitudes de 2750 m, por debajo de los cuales los niveles son notablemente más altos en algunos sitios. En especial el equilibrio entre las tres especies químicas se manifiesta con una dinámica de presencia de nitratos bajo condiciones oxidantes y de presencia de amonio en condiciones reductoras; sin embargo es de llamar la atención que en los sitios con baja altitud se registraron incrementos muy importantes tanto para nitratos, como para amonio, este acontecimiento es indicativo de que esas concentraciones se deben a las descargas directas donde el sistema no ha podido restablecer las condiciones de equilibrio químico para la transformación del amonio en nitritos y nitratos. Los nitratos mostraron desigualdad en el comportamiento de las dos cuencas, pero las concentraciones de amonio no reflejan esa desigualdad. Este comportamiento químico se comprueba al analizar algunas similitudes como lo registrado por Segnini y Chacón (2005) en sistemas andinos.

Las concentraciones y variabilidad de los nitratos se alteran ligeramente en las coberturas agrícolas y urbanas, sin embargo, el comportamiento del amonio se ve fuertemente alterado por las condiciones urbanas, aunadas a descargas residuales. Los nitratos solo sufren alteraciones en su comportamiento en el uso urbano, mientras que el amonio en el uso agropecuario por la incorporación de fertilizantes y desechos orgánicos del ganado (heces y orina).

El azufre a través de los sulfatos presentó un comportamiento heterogéneo con incremento en zonas agrícolas, sin embargo, también presentó elevaciones en zonas forestales. Esta variable mostró evidencia significativa del comportamiento diferencial entre las dos cuencas. Los sulfatos se encontraron en condiciones similares en la cobertura de pastizal montano y en los manantiales por la incorporación del material geológico de la zona que es disuelto en la trayectoria subterránea del agua antes de su surgencia; posteriormente este parámetro se ve alterado en el bosque mixto, la cobertura agrícola y las áreas urbanas.

Los sulfatos mantienen una condición similar en la pradera de alta montaña, uso forestal y forestal perturbado, se incrementan y distribuyen de manera importante en el uso recreativo forestal lo que puede deberse al alimento e insumos piscícolas, su concentración y distribución disminuye en zonas de uso agropecuario y se eleva en el uso urbano.

Los sulfuros que son una especie química muy importante para esta zona por la actividad volcánica del Popocatepetl, sin embargo, no hay evidencias de cambios o alteraciones bruscas, pero sería interesante en los niveles registrados analizar las fluctuaciones en relación con las emisiones del volcán.

Las condiciones de oxigenación en la mayoría de los sitios fueron adecuadas lo que no es de extrañar, debido al movimiento continuo que presentan estas aguas. Únicamente uno de los sitios con uso de suelo urbano presenta condiciones de

anoxia, por la alta demanda de oxígeno para los procesos de degradación poniendo en riesgo la vida acuática en ese lugar. Se manifiesta un comportamiento diferente de forma significativa para ambas cuencas. Como ya se había mencionado las condiciones del oxígeno disuelto son buenas en todas las coberturas excepto en zonas de uso urbano donde llega a ver anoxia total; sin embargo, cabe hacer mención que en la cobertura del bosque mixto la cantidad de oxígeno disuelto aumenta. En cuanto a su comportamiento en los diferentes usos de suelo se observa su elevación en usos agropecuarios y su decremento de manera importante en usos urbanos.

La DBO sitúa la mayoría de los sitios presentan agua de excelente calidad y esta cambia hasta aceptable, pero no hay evidencia de sitios contaminado de acuerdo a los valores de esta demanda para la biodegradación. La DBO fue muy variable a lo largo del gradiente altitudinal, sin obedecer a ningún patrón de cambio. Se encontró diferencia significativa entre las medianas, lo que indica un comportamiento diferente entre las dos cuencas. Este parámetro se mantiene en niveles estables y adecuados excepto en las coberturas del bosque de pino y bosque mixto donde se incrementa la demanda y su variabilidad, posiblemente por la cantidad de material orgánico vegetal que es depositado en el cauce y va siendo biodegradado poco a poco, lo que propicia su acumulación y mayor demanda de oxígeno.

En cuanto al comportamiento de la DBO en los distintos usos de suelo se observa incrementos de esta demanda en el uso forestal en sus dos condiciones por la incorporación de residuos vegetales, principalmente hojarasca al cauce que tiene que ser degradada. Y otra elevación de esta demanda se da en el uso agropecuario por los desechos biológicos (vegetales y animales) que son vertidos o depositados en ríos y arroyos de forma natural o intencional, estos resultados son una alerta del impacto en la calidad del agua, que podría llegar a ser un riesgo continuo para la salud, de no controlarse.

Muy contrastante fue el resultado obtenido para la DQO ya que de acuerdo a la clasificación utilizando este parámetro y a diferencia de la clasificación con la DBO, hay sitios que presentan excelente y aceptable calidad, pero en un bajo porcentaje, dominando los que tienen agua contaminada según este parámetro y la identificación de ocho sitios con agua fuertemente contaminada, por lo que las dos clasificaciones colocan los mismos sitios en posiciones diferentes. Existen dos sitios de uso urbano que tienen una DBO muy superior a las de los otros lugares lo que habla de descargas fuertemente contaminantes de manera directa al cauce. Ambas cuencas mostraron diferencias significativas en referencia a este parámetro. Este parámetro vio alterado su comportamiento en la zona de transición entre el pastizal y el bosque de pino y también en las zonas urbanas, en estas últimas se esperaba que fuera así por la gran cantidad de descargas residuales que reciben los afluentes al atravesar estas zonas; sin embargo, la causa en el área de transición es diferente y su origen se puede atribuir a la incorporación de material litológico y edáfico a los cauces proveniente de las aguas subterráneas, del deshielo y la erosión.

La DQO se mantiene en la mayoría de los usos de suelo disminuyendo muy ligeramente en el agrícola forestal y el agropecuario; con un fuerte incremento en las zonas de uso urbano, como ya se había mencionado en el párrafo anterior por las descargas residuales en gran medida de origen doméstico.

La velocidad de corriente y el caudal mostraron un comportamiento muy similar sin embargo no obedece a la tendencia esperada de aumento de caudal al descender

altitudinalmente e incrementarse el orden de la corriente. El caudal presenta diferencia en el comportamiento por cuenca, pero esto no sucede para la velocidad de corriente, aunque ambos parámetros presentan mayor variabilidad en la cuenca del alto Balsas.

La representación espacial del equilibrio salino es muy ilustrativa sobre las condiciones de salinidad de los sitios de muestreo, identifica claramente los tres sitios fuertemente contaminados por descargas y su incremento en la conductividad asociando esta de manera directa con la dureza total, en la Cuenca de México y permite localizar los sitios con salinidad moderada en la cuenca del Balsas, observando que en los sitios de esta cuenca con mayor salinidad, esta no está asociada a la dureza y alcalinidad por lo que puede deberse a cloruros o sulfatos.

La representación espacial del comportamiento nutrimental es muy ilustrativa sobre las altas concentraciones de fósforo que se presentan en sitios con urbanización en la Cuenca de México, pero donde las concentraciones de nitrógeno son bajas. Mientras que en la Cuenca del Balsas la contaminación se da por nitratos y amonio y no por fósforo, esto a consecuencia de la gran cantidad de huertas, e invernaderos que vierten sus aguas en los afluentes del estado de Puebla.

El mapa que muestra la calidad de agua en los sitios de acuerdo a su Demanda bioquímica de oxígeno también es relevante y permite identificar sitios con alta degradación biológica que consumen gran cantidad de oxígeno y aumentan su vulnerabilidad, tanto en la RBLV, como en el área de influencia.

El mapa de calidad del agua de los sitios, de acuerdo a la demanda química de oxígeno es sumamente importante porque pone de manifiesto la contaminación que se presenta en las zonas altas por contaminantes no biodegradables, de la misma manera muestra los cambios en la calidad a lo largo de un afluente e indirectamente el proceso de autodepuración.

Estos cuatro mapas proporcionan información específica de calidad y de fácil entendimiento por lo que deben considerarse material de difusión.

El análisis de componentes principales explicó la variabilidad del sistema en 73% lo que es acertado, marcando como más relevantes nueve de las 13 variables sometidas al análisis y de las 20 iniciales que fueron reducidas en función de las correlaciones significativas. Esto disminuiría mucho la carga de trabajo, pero antes de considerarlas definitivas, tienen que ser validadas, para generar la información requerida para los indicadores y corroborar con los datos obtenidos en campo y la experiencia del trabajo en la zona.

El mapa del primer componente, con la conjunción de las variables que lo integran y sometido al análisis geoestadístico arroja zonas de 10 clases de calidad de agua, que sí son comparadas con los mapas presentados anteriormente muestran congruencia en algunos de los sitios bien conservados, pero también muestran zonas alteradas o vulnerables que es importante considerar, este primer componente es una buena simplificación de la información recabada en el periodo de estudio.

El mapa del segundo componente que está integrado por las variables del nitrógeno muestra las zonas alteradas por la presencia de nitratos y amonio y las que no tienen problemas por ello, este mapa puede ser analizado muy bien con el de nutrimentos

presentado previamente, con coincidencias en las zonas contaminadas y altamente vulnerables.

El tercer componente es menos significativo representa a dos variables importantes el oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno, sin embargo, las clases y zonas en el mapa no parecen tan representativas al compararla con el mapa de calidad del agua según la DBO.

CONCLUSIONES

- La caracterización física y química de los sistemas lóticos en la RBLV y su zona de influencia da un adecuado diagnóstico de las condiciones en que se encuentran las corrientes superficiales,
- La selección de las trece variables a partir de las veinte que se sometieron a correlaciones múltiples fue adecuada, ya que al someterlas al análisis de componentes principales se explica la variabilidad del sistema en 73%, lo que no es sencillo al tener 20 variables iniciales,
- Las variables con mayor sensibilidad según los cambios de cobertura y uso de suelo fueron la alcalinidad, la dureza total, el fósforo total, el amonio, los sulfatos, la DBO, la DQO y la conductividad.
- Existe una clara diferencia en la dinámica de los sistemas lóticos de la Cuenca del Balsas en la vertiente oriental, con la que se presenta en la Cuenca de México en la vertiente oriental.
- Las coberturas vegetales que tienen mayor influencia en la variabilidad física y química del agua son: el bosque de pino, el bosque mixto, la agrícola y desde luego la zona urbana.
- Los usos de suelo que impactan con mayor fuerza en las propiedades física y químicas del agua son: el forestal perturbado, el recreativo-forestal, el agropecuario y desde luego para todos los parámetros el uso urbano.
- La representación espacial a través de la variabilidad física y química de las corrientes superficiales a través de los SIG es muy ilustrativa, facilita la difusión de resultados y la toma de decisiones si se presenta a las instancias adecuadas, lo que implica la importancia social de la realización de este tipo de trabajos.
- La selección de la alcalinidad, la conductividad, el fósforo total, los ortofosfatos y la demanda química de oxígeno es adecuada y representativa para la conformación del primer componente.
- El amonio y los nitratos son buenos representantes de las condiciones en los sistemas lóticos, por lo tanto, conforman adecuadamente el segundo componente
- La selección de los primeros dos componentes principales es acertada y representa apropiadamente las observaciones realizadas en campo, lo que no sucede para el tercer componente.

Capítulo 4

Caracterización edáfica de ambientes ribereños de montaña.

INTRODUCCIÓN.

Los recursos naturales son bienes o servicios, que ayudan al mantenimiento de la vida y se han generado en la naturaleza, sin intervención humana.

El suelo es un recurso natural muy frágil, que necesita mucho tiempo para su regeneración, por lo que se considera no renovable, en la escala de vida humana, esto implica que es limitado y su pérdida es prácticamente irreversible. Está constituido por una mezcla compleja de minerales, aire, agua y materia orgánica, que se encuentra en diferentes capas denominadas horizontes.

Existen diferentes tipos de suelo, que están definidos por el material parental que le da origen, la topografía, el clima, la biota y el tiempo. Algunas de las características que distinguen estos tipos de suelo son la textura, estructura, consistencia, color y sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Los suelos en conjunto con el agua mantienen la vida del planeta, son la base de la sostenibilidad ecológica, la producción alimentaria y la salud. Por lo tanto, este recurso natural es patrimonio del planeta y su preservación es responsabilidad de todos, sin embargo, en la actualidad no ha sido atendido, ni valorado en toda su dimensión.

La falta de ordenamiento en el uso del territorio, las prácticas y el manejo inadecuado, que no favorecen su sostenibilidad, aunadas a otros factores como la variabilidad climática extrema, la presión demográfica, el abandono de tierras, la falta de recursos financieros y los problemas de gobernanza en este rubro, han generado la degradación del suelo en el mundo.

El suelo

El suelo es el estrato superficial de la corteza terrestre, en el que las partículas de diferentes tamaños establecen relaciones topográficas según su magnitud y a su vez forman espacios que están interconectados con poros y canales que suelen llenarse de aire o agua. Su formación es un proceso complejo, en donde diferentes factores como la humedad, el clima,

la topografía, la fauna y la flora actúan sobre el material parental, dando lugar a horizontes con diferentes características.

Tiene como origen la roca madre que proporciona al disgregarse los elementos minerales; por otro lado, la biota suministra la materia orgánica y la acción conjunta del clima y la vegetación a través del tiempo, da lugar a la mezcla de estos elementos, con diferentes grados de alteración que constituye el suelo (Villanueva, 2008, Thiers, Reyes, Gerding y Schlatter, 2014).

El material así formado y no consolidado que se encuentra sobre la superficie de la Tierra es sometido e influenciado por factores genéticos y ambientales: material parental, topografía, clima (temperatura, agua y viento), macro y microorganismos; que interactúan a través del tiempo y dando lugar a material edáfico que difiere del material originario en muchas de sus características químicas, físicas y biológicas.

Aproximadamente el 98% de la corteza terrestre está constituida por ocho elementos, de los cuales el oxígeno y el silicio constituyen cerca del 75%. Otros elementos importantes para el desarrollo de plantas y animales están presentes en cantidades muy pequeñas. La figura 4.1, muestra la composición porcentual de los elementos químicos más abundantes en los suelos (Zinck et al., 2015).

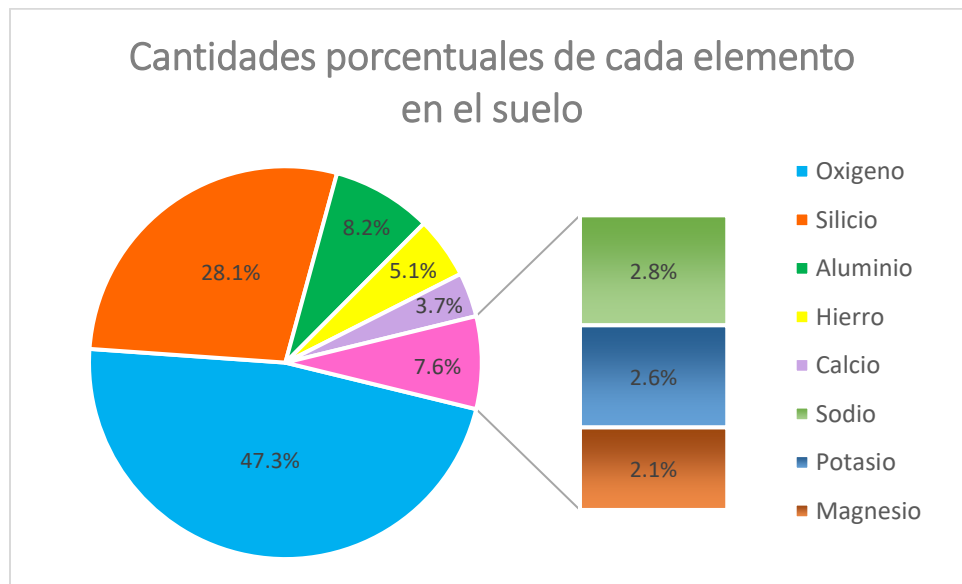


Figura 4.1 Cantidades porcentuales del contenido de elementos en el suelo (Martínez et al., 2015)

La edafología moderna, considera al suelo como un medio complejo en constante actividad en el que la formación del suelo se desarrolla a través de una serie de factores y procesos naturales, en procesos largos, complejos y continuos que interactúan con los factores del medio y presenta tres fases:

Presenta tres fases (Fig. 4.2):

1. Sólida que está integrada por:
 - a. Partículas minerales: derivados de la roca madre, de composición y tamaños muy variados. Constituyen la mayor parte del suelo (50-60% en volumen), y son modificadas con el tiempo por diversos factores.
 - b. Materia orgánica: formada por los residuos vegetales y animales, en diferentes grados de descomposición por los microorganismos. Es una pequeña parte del suelo (0.5-10%). Donde el suelo guarda una estrecha relación con los diferentes organismos vivos que se encuentre inmersos en el suelo.
2. Líquida: constituida por el agua contenida y que presenta iones y compuestos en disolución. Cuando no existe exceso de agua, ésta ocupa los poros o espacios más pequeños entre las partículas del suelo (25-30%). Conjuntamente con el aire ocupan aproximadamente la mitad del volumen del suelo.
3. Gaseosa: está en relación con la cantidad de aire que contiene y el intercambio con la atmósfera. Su composición es parecida a la atmósfera, aunque con mucho mayor contenido de anhídrido carbónico y menos oxígeno (15-25%). (Thiers et. al. 2014, Duque, 2002)

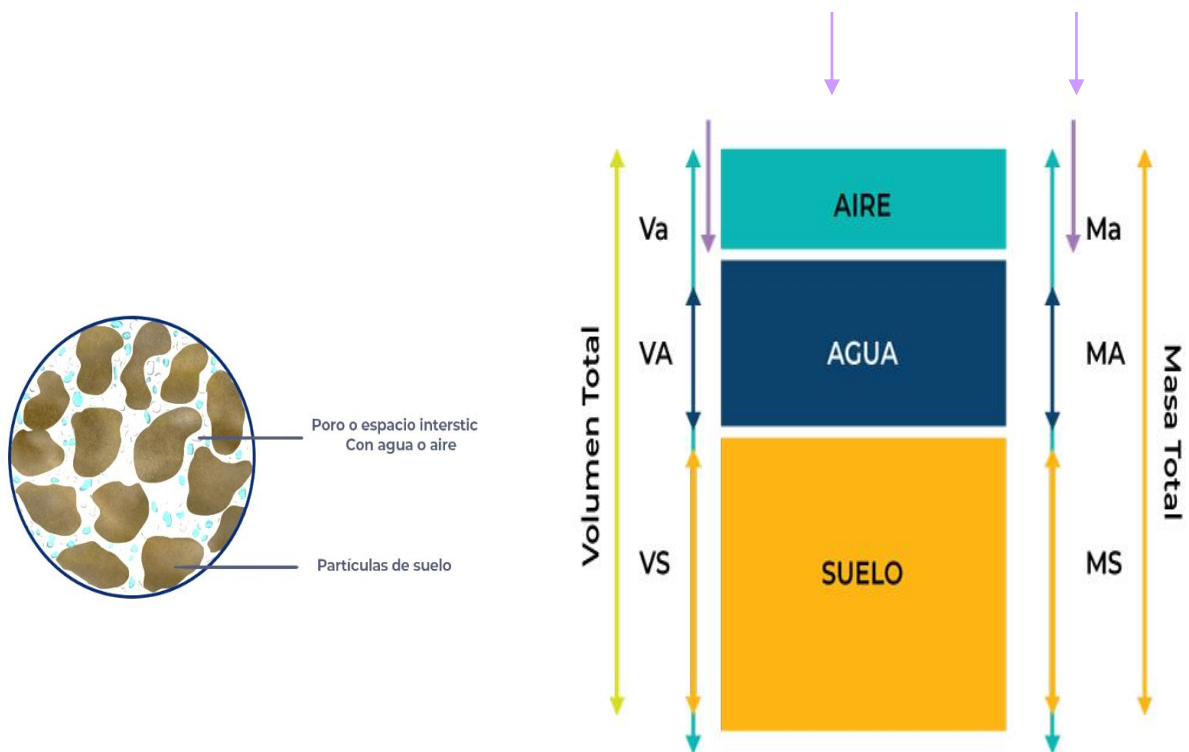


Figura 4.2 Diferentes fases del suelo. (TCLyG, 2020)

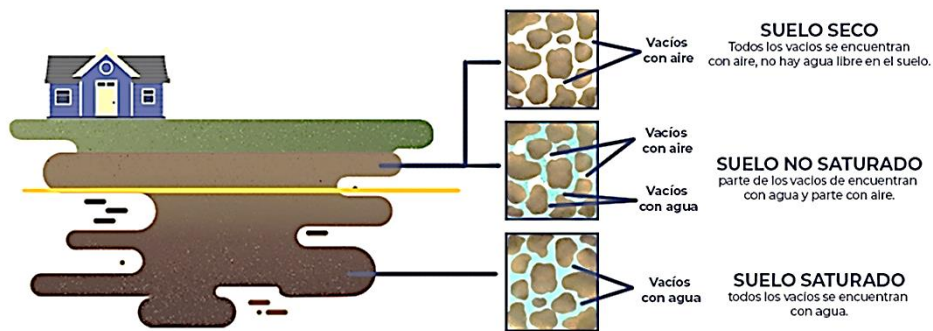


Figura 4.3 El suelo sus espacios y la interacción con aire y agua (TCLyG, 2020)

El concepto de suelo como proveedor de servicios al ecosistema es indispensable para comprender que es invaluable y constituye el soporte vital en múltiples aspectos (Robinson y Lebron, 2010), pero es fundamental recalcar que es finito y no renovable en la escala humana, aunque este es un aspecto que no han comprendido en toda su dimensión los tomadores de decisiones.

Además, el suelo alberga la cuarta parte de la biodiversidad de la Tierra, una gran cantidad de organismos, se protegen en sus poros y canales, se considera el componente del planeta con mayor concentración de especies. Un suelo sano típico puede albergar varias especies de animales vertebrados, diversas especies de lombrices de tierra, entre 20 y 30 especies de ácaros, decenas de especies de insectos y nematodos, centenares de especies de hongos y quizás miles de especies de bacterias y actinomicetos, cada metro cuadrado de suelo forestal puede contener más de 1000 especies de invertebrados (FAO, 2015).

El suelo, a través de la historia ha estado asociado a procesos ecológicos, económicos y sociales, por lo cual se le ha considerado como un bien fundamental para el desarrollo. Proporciona servicios ecosistémicos invaluable para el mantenimiento de la vida, es la base de la producción de biomasa vegetal, tanto natural, como cultivada; como sustrato facilita el anclaje de la vegetación y le aporta nutrientes, agua y aire.

Sus propiedades físicas y químicas le permiten actuar como filtro y amortiguador de sustancias nocivas que llegan al suelo, evitando o disminuyendo la contaminación del agua subterránea, subsuperficial o superficial. Desempeña un papel primordial en la interfase atmósfera, hidrósfera y biosfera para la transformación de material orgánico en sustancias inocuas y nutritivas para las plantas.

Es considerado el almacén de carbono más importante del ecosistema. Además de conformar una importante reserva de agua y regular los flujos hídricos superficiales; lo que repercute en la humedad de ese suelo que puede estar seco, no saturado o saturado (Fig. 4.3) que permite ser hábitat de múltiples organismos con requerimientos distintos y lograr la conservación de la biodiversidad principalmente el edafón.

Se han identificado diferentes características y procesos físicos, químicos y bioquímicos, que se desarrollan en el suelo y muestran lo relevante de su papel en el mantenimiento de la biota y los ecosistemas.

Por este multifacético papel que desempeña, se ha discutido de forma controvertida si el suelo desarrolla funciones como integrante del ecosistema o si bien lo que hace, es prestar servicios para el bienestar e intereses humanos (Lehmann y Stahr, 2010; Blum y Santelises, 1994; Ibáñez, 2011). Aunque al equiparlo con el agua, otro elemento insustituible del ecosistema, se puede decir que no es que desarrollen funciones para el ecosistema, sino que, al ser integrantes de él, participan de forma integrada en el complejo metabolismo ecosistémico y esto les permite contribuir con los servicios ecosistémicos que se brindan, en cada uno de los paisajes bioclimáticos o biomas del planeta.

Sin embargo, debido al uso común y generalizado que se ha dado a nivel internacional, en la FAO y la Sociedad Internacional de la Ciencia del suelo, en este texto, se hace referencia a las funciones del suelo, que de acuerdo con la USDA (1999) y Romeo, et al., 2015) serían las siguientes:

Regulación del clima

Porque el suelo juega un papel importante en la regulación del clima es una pregunta común, generalmente no lo asociamos con la humedad, la precipitación, la insolación y los contaminantes que se encuentran en la atmósfera. Sin embargo, en los procesos que se desarrollan en el ecosistema la interacción suelo-agua-aire-biota, da lugar al reciclaje de nutrientes, ubicando al suelo, como el mayor reservorio terrestre de carbono y por lo tanto regulador de emisiones complejas como el bióxido de carbono (CO_2) al realizarse transformaciones en el uso de suelo o el metano (CH_4) que es emitido por los suelos en la descomposición de MOS bajo condiciones anaerobias, pero que en condiciones aerobias puede invertir su papel y convertirse en sumidero de metano (CH_4) y favorecer la regulación climática.

Finalmente, el óxido nitroso (N_2O), que se emite es resultado del excedente de nitrógeno utilizado como fertilizante en innumerables sistemas de cultivo y se estima que su emisión será de cinco millones de toneladas por año para el 2030, lo que equivale a la emisión 1500 millones de toneladas de CO_2 (Romeo, et al., 2015).

Ciclo de nutrientes

El suelo es fundamental para que los ciclos de nutrientes puedan llevarse a cabo, su papel para almacenar estos nutrientes y en su seno favorecer su transformación química, para que se encuentren en las mejores condiciones, para ser liberados y estar disponibles para las plantas. Esto hace que intervenga como almacén, como reactor, como dispensador y como emisor en diferentes momentos y en diferentes procesos.

Hábitat de organismos

El suelo es un ecosistema de gran complejidad, por sus características se llevan a cabo en el un gran número de procesos físicos, químicos, biológicos y bioquímicos, además de albergar gran cantidad de organismos con alta diversidad, en función de sus condiciones, pero siempre conformando densas comunidades. En los bosques se estima la presencia de al menos 1000 especies de invertebrados por cada metro cuadrado (bacterias, hongos, protozoarios, ácaros, coleópteros, hormigas, nematodos, miriápodos, colémbolos,

artrópodos, rotíferos, lombrices y demás microorganismos que intervienen en la transformación de la materia orgánica e inorgánica en el estrato edáfico) cuya actividad es indispensable para que el suelo mantenga su dinamismo y la vida en él. Pero además de estos microorganismos se encuentran en contacto con el permanente u ocasionalmente muchos vertebrados (reptiles, anfibios, mamíferos, etc.). Sin embargo, aún desconocemos gran parte de la biodiversidad que se encuentra por debajo de la superficie del suelo y es a simple vista, invisible para los humanos. Por lo tanto, un sinnúmero de organismos diferentes interactúan y contribuyen a los ciclos globales, favoreciendo que los nutrientes sean accesibles a otros seres vivos (Romeo, et al., 2015; Ortega, 2015).

Suministro de alimentos, fibras y combustibles

El suelo es un ente vivo, que garantiza la vida humana. Entre los servicios que brinda está ser el medio para la producción del 95 % de los alimentos del planeta, sin esta producción peligra la supervivencia de la especie humana.

El componente edáfico de los ecosistemas alberga gran diversidad biológica, que es aprovechada de diferentes maneras por el hombre, como fuente de alimento con la recolección de frutos, flores, hojas, tallos, hongos, invertebrados y algunos vertebrados o como fuente de madera, combustibles y materia prima para medicamentos y cosméticos. Por otro lado, los agroecosistemas fueron creados para producir plantas, microorganismos, hongos y animales mediante el manejo del suelo, con la finalidad de obtener productos específicos como alimentos, medicinas, resinas, esencias, combustibles, fibras o madera (Estrella, 2005).

La seguridad de la producción global de alimentos depende por lo tanto de la conservación de las funciones y salud del suelo, actualmente se da prioridad al mantenimiento de la productividad a bajo costo, lo que no garantiza un buen manejo del suelo, ya que la agricultura intensiva es una de las principales causas de degradación. Aunado a esto se tiene el abandono de tierras degradadas y el establecimiento de la agricultura intensiva de grandes consorcios, en una nueva zona que ofrece buena productividad, repitiendo este ciclo y dejando extensas zonas devastadas que requerirán de arduo trabajo, elevados costos y decenas o cientos de años para ser recuperadas. (Pérez, Leyva y Gómez, 2018).

En los países industrializados se ha visto como una exigencia social, que ordenar las funciones potenciales del suelo es una actividad que debe hacerse bajo criterios racionales. Por ejemplo, no debe prevalecer nunca la extracción de materiales de construcción a costa de la producción prioritaria de alimentos.

Actualmente en la comunidad económica europea, se intenta resolver el conflicto por uso del suelo, inclinándose hacia la conservación de las funciones ambientales con la inclusión de criterios de ecocondicionalidad para proporcionar ayudas para la agricultura. Sin embargo, este conflicto se traslada a los países en vías de desarrollo, en donde la producción global de alimentos genera abuso de la productividad primaria neta y sobreexplotación del suelo y los servicios ecológicos debido a los sistemas de control ambiental o sanitario deficientes (Pérez, et al., 2018).

Otro problema que se ha presentado en este tenor es la definición de la prioridad entre el uso de suelo para la producción de vegetales como alimentos o aquellos que pueden ser utilizados como biocombustibles. El sentido común hace inclinar la balanza a la insuficiente producción alimentaria, sin embargo, la contaminación, la emisión de gases de efecto

invernadero y la presión de los países demandantes de energía dan prioridad en algunas zonas este uso final.

Agua, purificación infiltración y reducción de contaminantes del suelo

El agua dulce que se moviliza a través de los estratos edáficos es un volumen muy importante, se estima que la proporción de agua que llega anualmente por precipitación pluvial al suelo va de 111,400 km³ a 121,600 km³ por año y el 40% se convierte en escorrentía, fluye por los cursos de agua o se infiltra a través del suelo para alimentar el sistema de agua subterránea.

El agua que fluye como escorrentía tiene baja probabilidad de infiltración y es un agente generador de erosión hídrica, arrastrando sedimentos y componentes solubles del suelo. Los nutrientes e iones diversos que son lavados y eliminados del suelo llegan a los cursos de agua en proporciones variables, según la cuenca de la que provienen, alterando la calidad del agua y en algunos casos provocando eutrofización.

Mientras que la infiltración o absorción en el suelo permite que el agua se filtre, se oxigene en los espacios porosos y se purifique mediante procesos, físicos, químicos y biológicos de manera natural.

La erosión hídrica provoca que las zonas agrícolas pierdan en promedio 32.5 millones de toneladas de Nitrógeno y 20.5 millones de toneladas de Fósforo a nivel global. Esto representa una cuarta parte del nitrógeno y más del 100% del fósforo que se aplica como fertilizante, lo que representa una fuga económica muy importante, que podría evitarse y con ese monto, modificar los sistemas de manejo a esquemas que favorezcan la sostenibilidad alimentaria.

Los sedimentos y nutrientes que provienen de las zonas agrícolas varían en cantidad, según las características de la cuenca, pero en algunas regiones este aporte es tan elevado que puede causar eutrofización, azolve de los sistemas hídricos e hipoxia.

Por lo tanto, se debe resaltar la importancia de la conservación del suelo como un elemento que protege los recursos hídricos en cantidad y calidad, por lo que un deficiente ordenamiento de los usos del suelo repercute directamente en la disponibilidad del agua.

Retención de carbono

El carbono orgánico que se encuentra en el suelo (COS) de un ecosistema, es indicador de su productividad, ya que se encuentra asociado a tres procesos fundamentales:

- 1) La disponibilidad de alimentos para la raza humana
- 2) La restauración o recuperación de los suelos degradados y con ello su productividad
- 3) El blindaje o resiliencia de los sistemas de producción de alimentos y materia prima para productos farmacéuticos

Todo lo anterior en función de que el COS, brinda amortiguamiento al suelo del impacto que generan los fenómenos climáticos, cada vez más extremos; sirve como regulador del agua disponible, evitando en gran medida la pérdida de vegetación, además de ser un mediador para la administración de los nutrientes, ya que favorece la retención, pero cuando es necesario los libera en la forma que pueden ser utilizados por las plantas.

Una de las causas de pérdida de COS, es su transformación en dos gases de efecto invernadero, el CO₂ y el CH₄

Fuente de productos farmacéuticos y recursos genéticos

La materia prima para los productos farmacéuticos está constituida en gran parte, por material biológico que se produce libremente o de manera cultivada. El deterioro del suelo impide que los organismos crezcan y se reproduzcan adecuadamente con una alta calidad genética, por lo tanto, cuando se llevan a cabo actividades que impactan al suelo como medio productivo, se está disminuyendo la posibilidad de contar con ese valioso material biológico de alta calidad, por lo que su demanda crecerá y disminuirá su calidad, con las consecuencias económicas que repercutirán en el costo de los productos finales (Lobo, 2008).

Regulación de inundaciones

El conservar las características físicas y químicas de los suelos, favorece el desarrollo de la vegetación asociada a ellos, evita su pérdida por erosión, mantiene su densidad, porosidad e hidratación, permite el flujo del agua por sus cauces naturales y su infiltración hacia capas más profundas, hasta llegar al manto freático.

Cuando el área es deforestada o se modifica su uso, las características del suelo se alteran, hay compactación y pierde permeabilidad, esto genera que el agua que llega a él, no pueda infiltrarse o llegar a los cauces naturales y fluya por la superficie del suelo, provocando erosión hídrica y arrastrando con su fuerza todo lo que encuentra a su paso, cuando el volumen de la precipitación es muy elevado y no hay vegetación que absorba el agua, el suelo se hidrata en demasía y en ocasiones se reblandece dando lugar a deslaves o desgajamientos del talud. Este fenómeno da lugar a que un gran volumen de agua no sea retenido en la cuenca alta y llegue a la cuenca media o baja, acompañado de suelo, sedimentos y materiales que encuentra en su camino provocando inundaciones (Alonso, Bermúdez, y Rafaelli, 2011).

El suelo es proveedor de los materiales básicos utilizados para la construcción a través de los tiempos, como grava, arena, arcilla y diversos minerales, que son utilizados para fabricar adobe, ladrillos, blocks, etc. La existencia de minas para la extracción de este tipo de materiales de manera indiscriminada da lugar a la desaparición de cerros y pedregales y provoca el impacto sobre bienes bióticos y abióticos de los ecosistemas que se localizaban en ellos.

Por lo tanto, la urbanización y la expansión de las zonas habitacionales, comerciales e industriales hace que el impacto sobre los ecosistemas afecte la calidad y cantidad de agua y suelo, genere la disminución en la biodiversidad y aumente la cantidad de partículas suspendidas en el aire.

También como medio físico el suelo permite que, a través de cimientos, incrustación de pilotes y enterramiento de columnas, se de soporte a infraestructura variada que será destinada a desarrollos industriales, comerciales, habitacionales, áreas de recreo y esparcimiento; estaciones, terminales o vías de los diversos sistemas de transportes y comunicaciones, etc.

Herencia cultural

El suelo a su vez es un testigo fiel de la evolución del planeta y de la vida que se ha desarrollado en él, a través de los restos paleontológicos (huellas, fósiles, esqueletos, etc.), arqueológicos (ornamentos, utensilios, construcciones, etc.) y de los procesos tafonómicos, se ha podido reconstruir parte de la historia de la tierra y de las etapas que se han sucedido desde su origen hasta la actualidad (Ibáñez, 2011).

Suelo y degradación

Al suelo también se le puede ver como un medio para el desarrollo y crecimiento de la vegetación, los hongos y numerosas especies de la fauna. Esto lo lleva a sufrir transformaciones e intercambios continuos, tanto de materiales minerales y biológicos, como de energía. Lo que permite entender su dinamismo y los cambios en su estado, en diferentes momentos, según las condiciones que prevalezcan en el entorno.

Cuando se presenta un cambio en el estado del suelo que disminuye su capacidad inicial para proporcionar bienes y servicios, se habla de un proceso de degradación. Es importante considerar que cuando un suelo pierde su capacidad productiva, también se generan modificaciones en el clima o microclima (ecósfera), en la hidrología y en la vegetación que se encuentran vinculados a él. Un suelo, debido a su interacción con el clima, el relieve y la vegetación del ecosistema, puede cambiar su estado de forma más o menos drástica y como consecuencia modificar o perder su capacidad original de producción (Piscitelli M., 2015).

La superficie de la tierra está representada por un mosaico de ambientes, en donde cada elemento presenta características y componentes propios, que interactúan y se diferencian en diversas escalas (ecosistémica, local, regional, estatal, nacional, etc.).

En este subsistema ecológico se lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica para su mineralización y el ciclado de los nutrientes, lo que favorece el desarrollo y la producción de alimentos, combustibles y fibras; así como la sostenibilidad ecológica en función de los servicios ecosistémicos que proporciona. Sin embargo, este recurso natural invaluable, no ha sido atendido en la dimensión que se requiere. La superficie productiva de los suelos de forma natural es limitada y además es sometida a una fuerte presión continua, debido a la intensificación de su explotación en algunas regiones. La competitividad por su uso crece desproporcionadamente con fines agrícolas, forestales, ganaderos, industriales, extractivos, energéticos y de urbanización.

La degradación es una consecuencia de la falta de equilibrio entre la proporción nutrimental, la disminución de la materia orgánica y la actividad biológica, la pérdida de porosidad, el incremento en la densidad y por lo tanto en la compactación del suelo, así como su pérdida de estructura. Se presentan tres procesos básicos de degradación del suelo (Fig. 4.4)



Figura 4.4. Tipos de Degradación del suelo. (Villanueva, 2008)

La degradación de los suelos es causada por usos y prácticas de ordenamiento que distan mucho de buscar la sostenibilidad de la tierra y por fenómenos climáticos extremos resultantes de factores sociales, económicos y de gobernanza (FAO., 2015a).

Como consecuencia del mal manejo del suelo se presentan las siguientes etapas en la degradación:

- I. Las características originales del suelo son destruidas gradualmente por el mantenimiento de la productividad a través del uso de correctivos y abonos químicos.
- II. Ocurre pérdida acentuada de materia orgánica del suelo, así como captación superficial que impide la infiltración del agua y la penetración de las raíces. La erosión aumenta y las plantas tienen poca respuesta a la aplicación de abonos químicos.
- III. Pérdida de la estructura del suelo; la erosión es acelerada y la productividad baja a niveles mínimos.

El manejo de los suelos agrícolas del mundo y la producción sostenible son imprescindibles para invertir la tendencia de degradación de los suelos y garantizar la seguridad alimentaria actual y futura del mundo.

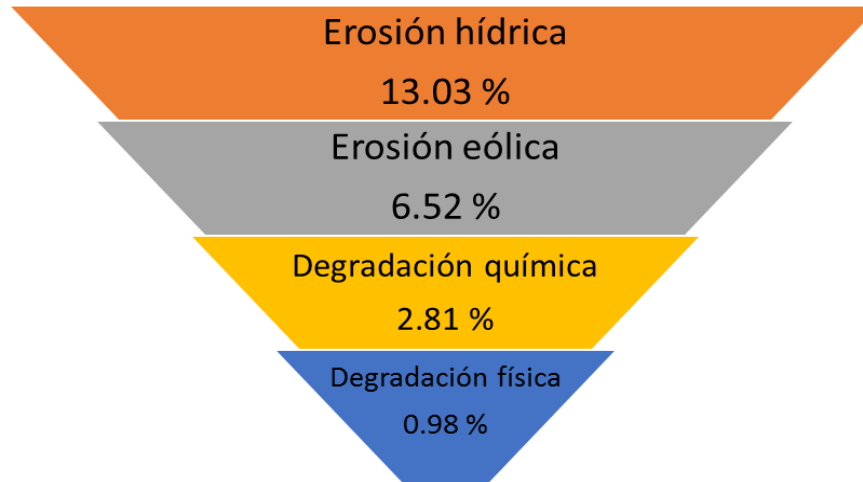


Figura 4.5. Superficie de los suelos del planeta afectados por las principales causas de degradación. (Oldeman, 1994)

De manera muy conservadora, se estima que en conjunto estos cuatro procesos, impactan aproximadamente al 23% del área terrestre del planeta, aumentando a la degradación con una tasa anual de 0.05 - 0.10 km² y al 76 % de los suelos potencialmente arables del planeta, lo que amenaza la capacidad de estos suelos para satisfacer las necesidades básicas de las futuras generaciones y afectando actualmente a cerca de 1500 millones de personas en el mundo (Sentís, 2010; Oldeman, 1994).

Se estima que para el año 2050, la demanda de alimentos forrajes y fibras crecerá en 60%, para lograr esta producción será difícil incorporar nuevas tierras agrícolas en el mundo, las únicas zonas con potencial para ello se localizan en algunas zonas África y América del Sur. Por lo tanto, para cubrir la demanda es indispensable invertir la tendencia de degradación edáfica y mejorar el uso sostenible de tierra, agua, los ecosistemas y sus componentes, ya que de acuerdo a la información actual más del 25% de las tierras agrícolas están muy degradadas y la escasez de agua aumenta día con día, siendo crítica para algunos países (Bautista., et al., 2004, OCDE, 2012, Veitia, Montalván, y Martínez, 2014, Estrada et al., 2017).

La raza humana ha destruido o dañado severamente el capital natural edáfico, que le provee servicios ambientales indispensables para su supervivencia y que a la naturaleza le ha llevado miles de años formarlo.

Dentro de los principales indicadores de degradación del suelo se encuentran

- * Suelo duro y compactado
- * Perfiles con poca humedad y mayor escorrentía superficial que favorece el arrastre del suelo hacia las partes bajas de la cuenca (arroyos, presas y lagos)
- * Actividad biológica pobre o nula (lombrices, insectos, entre otros)
- * Alteración del color original del suelo (predominan colores más claros)
- * Presencia de surcos generados por erosión y aparición de cárcavas
- * Raíces de las plantas con daño, crecimiento lento y una disminución de la producción
- * Nula respuesta a la aplicación de abonos químicos en suelos con alta degradación
- * Desarrollo de especies vegetales exóticas y oportunistas que dominan el área

Los suelos en las montañas

Los suelos de las montañas son un bien altamente vulnerable, de gran fragilidad, que difícilmente podremos ver regenerarse en decenas de años. En estas regiones el suelo fértil presenta distribución heterogénea, pero su conservación debe ser asunto de seguridad no solo nacional, sino internacional, ya que conservar los suelos de montaña y mantenerlos sanos, permite inferir que se mantendrán los servicios ecosistémicos de forma continua, la estabilidad ambiental, la productividad agrícola y la vida del hombre. Estos suelos se consideran la base de los ecosistemas que proporcionan agua a más de la mitad de la población mundial y albergan el 25% de la biodiversidad del planeta (Devenish, Hofstede, y Saravia, 2012; Pérez, et al., 2018).

Los procesos como el cambio climático, la deforestación, el sobrepastoreo, la sustitución de bosques por agricultura y la agricultura intensiva y no sostenible, la extracción indiscriminada de material físico y biológico de los ecosistemas, así como el cambio en el uso del suelo, están generando daños severos en las montañas. En consecuencia, disminuye o desaparece la capacidad del suelo como un medio natural, amortiguador, filtrante, donde se llevan a cabo transformaciones químicas y biológicas y donde viven e interactúan miles de organismos.

Las propiedades físicas de los suelos se ven afectadas también por los procesos mencionados e impiden que los suelos se les siga dando el mismo uso, al aumentar su densidad, compactación y rigidez, disminuir su riqueza nutrimental, aireación, capacidad de drenaje y retención de agua.

En estas regiones de elevado relieve, los suelos son un recurso fundamental, que aún no se conoce de manera suficiente, por ello se requiere de investigación actual, con trabajo de campo y laboratorio y su integración con estudios de otras disciplinas (geología, geografía, mineralogía, paleontología, química, microbiología, sociología, economía, etc.).



Figura 4.6. Vista del Río Apatlaco en su descenso hacia el sureste. Paraje posterior al Parque ecoturístico del mismo nombre. (LCAyE, septiembre 2013)

A nivel mundial se estima que el 70% de la superficie de montaña es utilizada para pastoreo y del 7 al 10% para agricultura. Con el crecimiento demográfico, hay un incremento de la ganadería y el sobrepastoreo y esto representan un mayor problema conforme avanza el tiempo, sobre todo en la zona baja de la montaña, en altitudes por debajo de 2500 m, donde se estima que habita el 88 % de la población de las montañas y los asentamientos humanos se establecen en mayor proporción. Los habitantes de estas zonas en muchas ocasiones, aún no se dan cuenta de la gran riqueza natural con la que cuentan y que esto conlleva una gran responsabilidad. La conservación, captación, almacenamiento y aprovechamiento racionalizado y sostenible del agua, permite mantener y mejorar las condiciones del suelo para mayor captura de carbono, proteger la vegetación y conservar la biodiversidad, con aprovechamiento limitado y sostenible; sin dejarse llevar por pequeñas ganancias monetarias a corto plazo, cuando se compromete el capital natural y los servicios que brindan los ecosistemas.

Ante diversos factores como son: la presión de la población sobre este recurso, deficiente planificación de su uso, gestión no sostenible y gobernanza inadecuada, se facilita significativamente la conversión del uso de la tierra y esto genera la degradación del ecosistema y específicamente del suelo.

Las regiones montañosas en la actualidad presentan problemas cada vez más frecuentes de erosión hídrica, disminución de materia orgánica y nutrientes, contaminación del flujo hídrico y el suelo, pérdida de estructura del suelo y facilidad para deslizamientos y desgajamientos, disminución de retención de agua, lo que provoca inundaciones en la cuenca media y baja, reducción de productividad, servicios ambientales y resiliencia. Todo esto puede ser reducido con rehabilitación o restauración de los ecosistemas más dañados, pero implica costos económicos, de tiempo y de trabajo muy elevados, cuando la prevención, la gestión adecuada y buena gobernanza pueden cambiar el curso de este proceso de degradación ambiental.

OBJETIVOS

En este capítulo se cumplirán los siguientes objetivos

- Caracterizar física y químicamente el suelo adyacente de ecosistemas ribereños asociados a sistemas lóticos permanentes con diferente cobertura y uso de suelo en la RBLV y área de influencia.
- Analizar el comportamiento físico y químico de los suelos en estos ambientes de ribera y seleccionar las propiedades que explican de manera significativa la dinámica espacial.
- Comparar con base en las variables seleccionadas, el comportamiento de los sitios de muestreo en función de:
 - ▣ La cobertura
 - ▣ Los usos del suelo.
- Elaborar los mapas de zonificación que representen el comportamiento de las variables edáficas de mayor significancia en los ambientes ribereños de la RBLV, con base en los resultados estadísticos obtenidos

MÉTODOS.

Al interior de la (RBLV) y de su zona de influencia se colectaron muestras de suelos ribereños en 78 sitios asociados a corrientes superficiales permanentes, con diferentes usos de suelo y cobertura, tomando en cuenta su accesibilidad.

Toma de muestras de suelo

La colecta de las muestras de suelo se efectuó en la ribera del río a lo largo de un transecto de 30 m, siguiendo la trayectoria del cauce y midiendo a ambos lados del mismo cauce dos distancias perpendiculares, la primera a un metro y la segunda a una distancia que podía variar entre dos y máximo siete metros, esta última en función del sitio de muestreo y su cercanía a laderas o pie de monte; sobre cada una de las líneas se tomaron muestras del suelo con una profundidad de 0 a 20 cm, a distancias de 0, 15 y 30 m sobre el transecto (Fig. 4.7). Por lo tanto, se tomaron tres muestras en la línea de un metro del lado izquierdo y tres a un metro en el lado derecho, replicando esto en la segunda distancia. Las 12 muestras para cada sitio fueron colectadas y almacenadas en bolsas con cierre hermético y posteriormente fueron mezcladas para formar una muestra compuesta.

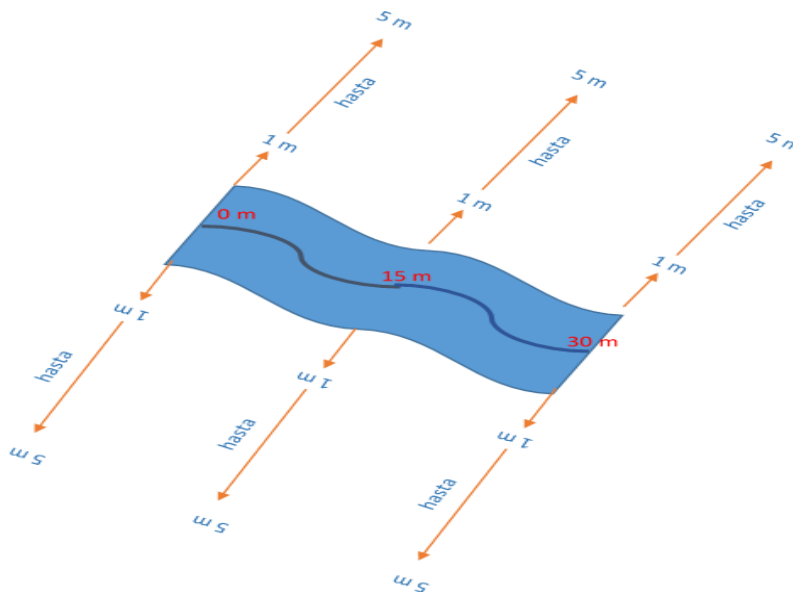


Figura 4.7 . Diagrama de muestreo de suelo

La muestra para determinar densidad aparente con el método de extracción de un núcleo se realizó con un tubo de PVC de 2 pulgadas de diámetro y 6 cm de altura (Fig. 4.8) y la toma de temperatura del suelo, siguiendo el patrón de toma de muestras señalado

anteriormente. Cada muestra se etiqueta de acuerdo al sitio, la posición (distancia al río y ubicación en el transecto) y la fecha de colecta.



Figura 4.8 Muestreo de suelo (LCAyE, septiembre-2010; junio-2013)

Fase de laboratorio

Las muestras de suelo se secaron al aire libre, posteriormente se tamizaron con apertura de malla de 2 mm y se guardaron en frascos, para su posterior análisis.

Los análisis y técnicas empleadas para las determinaciones edáficas se realizaron de acuerdo a la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2001, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis (SEMARNAT, 2000).

A cada una de las muestras de suelo compuestas, se les determinaron las siguientes propiedades físicas y químicas:

Propiedades físicas

Textura: Se determinó a través del método de Bouyoucos previa oxidación de la materia orgánica con H_2O_2 . A partir de este método se define el porcentaje de arena, limo y arcilla.

Densidad: Dado su carácter poroso, conviene distinguir entre la densidad de sus componentes sólidos y la del conjunto del suelo, incluyendo los espacios, por ello es necesario explicar dos tipos de densidad, Real y aparente.

- **Densidad aparente:** Se determinó junto con el porcentaje de humedad gravimétricamente utilizando tubos de PVC que se pesaron con todo y suelo, posteriormente se pesó el suelo en vasos de precipitados previamente desecados. Se procedió a secar a $80^{\circ}C$ en estufa, el suelo seco se pesó nuevamente y se calculó por diferencia la densidad aparente, el porcentaje de humedad y el volumen.
- **Densidad real:** Se denomina así a la densidad de la fase sólida que está en función de las fuentes de minerales que lo conforman. Se determina a partir de la masa del suelo previa eliminación de la Materia orgánica y el volumen calculado de manera indirecta a través del valor de la masa y la densidad del agua que se encuentra incorporada en esta masa.

Porcentaje de Espacio poroso: Se refiere a la cantidad de poros o huecos existentes en la matriz del volumen total que ocupa el suelo y que pueden variar como resultado de factores naturales y antropogénicos. El cálculo de la porosidad se obtiene a partir del inverso de la razón de la Densidad aparente sobre la Densidad real.

Porcentaje de humedad: Se mide el porcentaje de agua que contiene la muestra de suelo. Se determinó por diferencia entre la masa de suelo húmeda y la masa de suelo seco (después de haberse secado en la estufa a 105° C hasta peso constante) y el cálculo del porcentaje correspondiente.

Propiedades químicas

pH: Este parámetro mide la concentración de iones hidrógeno [H⁺] y es un indicador de la actividad química y biológica del suelo. El pH en el suelo corresponde a la fase acuosa o solución del suelo que interviene con los coloides ionizables. Esta determinación se trabajó con una relación 1:2, en agua (pH activo) con un método instrumental.

Conductividad eléctrica (CE): Permite inferir la concentración de sales en solución de forma indirecta y para obtener valores comparables siempre se mide a una temperatura fija de 25° C o se realiza la corrección correspondiente. La medición se hizo de manera instrumental en una solución 1:5 en agua y se expresó en $dS m^{-1}$

Materia Orgánica del Suelo (MOS): constituida por la fase orgánica del suelo, que considera organismos y residuos de origen vegetal y animal en proceso de degradación, está considerada como la fracción química y biológica más activa del suelo que permite el almacenamiento de macro y micro nutrientes esenciales, es un gran depósito geoquímico de carbono y la capa de interacción directa con aire y agua. Se determinó con el método de Walkley-Black mediante la reacción de oxidación de la materia orgánica y la reducción de cromo.

Carbono orgánico del suelo (COS): El contenido de este elemento se calcula utilizando el valor o coeficiente de transformación de la materia orgánica, considerando en este caso que solo el 58% de la MOS, se transforma en COS.

Nitrógeno total (Nts): Es el elemento fundamental para la formación proteica y un macronutriente esencial para el desarrollo vegetal. El contenido de Nitrógeno total fue cuantificado usando el método Semimicro-Kjeldhal, con la modificación para la inclusión de nitratos (Bremner, 1965).

Fósforo extractable (P): Su función primordial en cualquier organismo vivo es indiscutible, ya que forma parte de los ácidos nucleicos. Indispensable en la formación de semillas y el buen crecimiento de las plantas. Para la determinación del fósforo extractable o disponible en los suelos, se utilizó el método Bray y Kurtz (1945).

Procesamiento de datos edáficos

Una vez obtenidos los datos a partir de los análisis físicos y químicos del componente edáfico, se construyó la base de datos correspondiente incluyendo los 78 sitios y los diferentes muestreos para cada sitio durante el periodo de enero de 2010 a diciembre de 2014. Para el análisis estadístico se aplicó un análisis de correlación múltiple con todas las variables edáficas y las hidrológicas (velocidad de corriente y caudal), con la finalidad de elegir las variables con correlaciones significativas en el sistema y no considerar las que presentaron colinealidad.

Para cada una de las variables seleccionadas se realizó lo siguiente:

- Un gráfico que permitiera su analizar su comportamiento altitudinal.
- Posteriormente a partir de las variables seleccionadas, se realizó un análisis de Componentes principales para reducir el número de variables y elegir las que contaran con mayor peso estadístico, en la variabilidad del ecosistema.
- Cada una de las variables extraídas por el análisis de Componentes Principales se le aplicó una prueba de Kruskal-Wallis para comprobar si las medianas en los diferentes usos de suelo o coberturas se comportaban igual y una prueba de mediana de Mood's para definir si las medianas dentro de cada uno de los usos de suelo o coberturas es la misma.
- Finalmente, la información sobre las variables identificadas como primordiales y el resultado del ACP se transfirió al sistema de información geográfica utilizando ArcMap 10.3 y se construyeron los mapas por grupos de variables afines y mediante análisis geoestadístico IDW, se generaron los mapas de calidad de sitios con base en los Componentes 1 y 2.

RESULTADOS

Se eligieron un total de 78 sitios de trabajo en cada uno de ellos se determinaron las propiedades edáficas. La selección de los sitios se realizó bajo los siguientes criterios: ubicación en áreas adyacentes a sistemas lóticos permanentes, con distinta cobertura y uso de suelo, accesibilidad moderada y que algunos de ellos pertenecieran a un mismo cauce en diferentes niveles altitudinales.

Se determinaron 14 propiedades del suelo (Tabla 4.1) para hacer la caracterización y definir la dinámica edáfica en los ambientes ribereños de la RBLV y su área de influencia.

Tabla 4.1. Abreviaturas y unidades para cada variable

SUELO	
ABREVIATURA	VARIABLE
<i>T Suelo (°C)</i>	Temperatura del suelo
<i>CE (dS m⁻¹)</i>	Conductividad eléctrica del suelo
<i>pH S</i>	pH real o activo(H ₂ O)del suelo
<i>D Ap. (g cm⁻³)</i>	Densidad aparente
<i>EP (%)</i>	Porcentaje de Espacio poroso
<i>H (%)</i>	Porcentaje de Humedad del suelo
<i>MOS (%)</i>	Porcentaje de Materia orgánica en el suelo
<i>COS (%)</i>	Porcentaje de Carbono orgánico en el suelo
<i>Nts (%)</i>	Porcentaje de Nitrógeno total en el suelo
<i>C:N</i>	Relación Carbono/Nitrógeno
<i>F ext. (mg kg⁻¹)</i>	Fósforo extractable (Bray 1)
<i>% Are</i>	% de Arena
<i>% L</i>	% de Limo
<i>% Arc</i>	% de Arcilla
<i>Vel. C. (m seg⁻¹)</i>	Velocidad de corriente
<i>Caudal (m³ seg⁻¹)</i>	Aforo o caudal

Textura

Se obtuvieron los porcentajes de arena, limo y arcilla, de las muestras de suelo colectadas en cada sitio de estudio. Con esta información se registraron cada uno de los 78 sitios monitoreados, en el triángulo textural propuesto por la USDA (2018), con el trazo de las tres líneas perpendiculares a los lados del triángulo equilátero, con una escala de 0 a 100, de 10 en 10, se ubicó el punto donde confluyen las 3 líneas perpendiculares y con base en ello se estableció la textura para cada lugar.

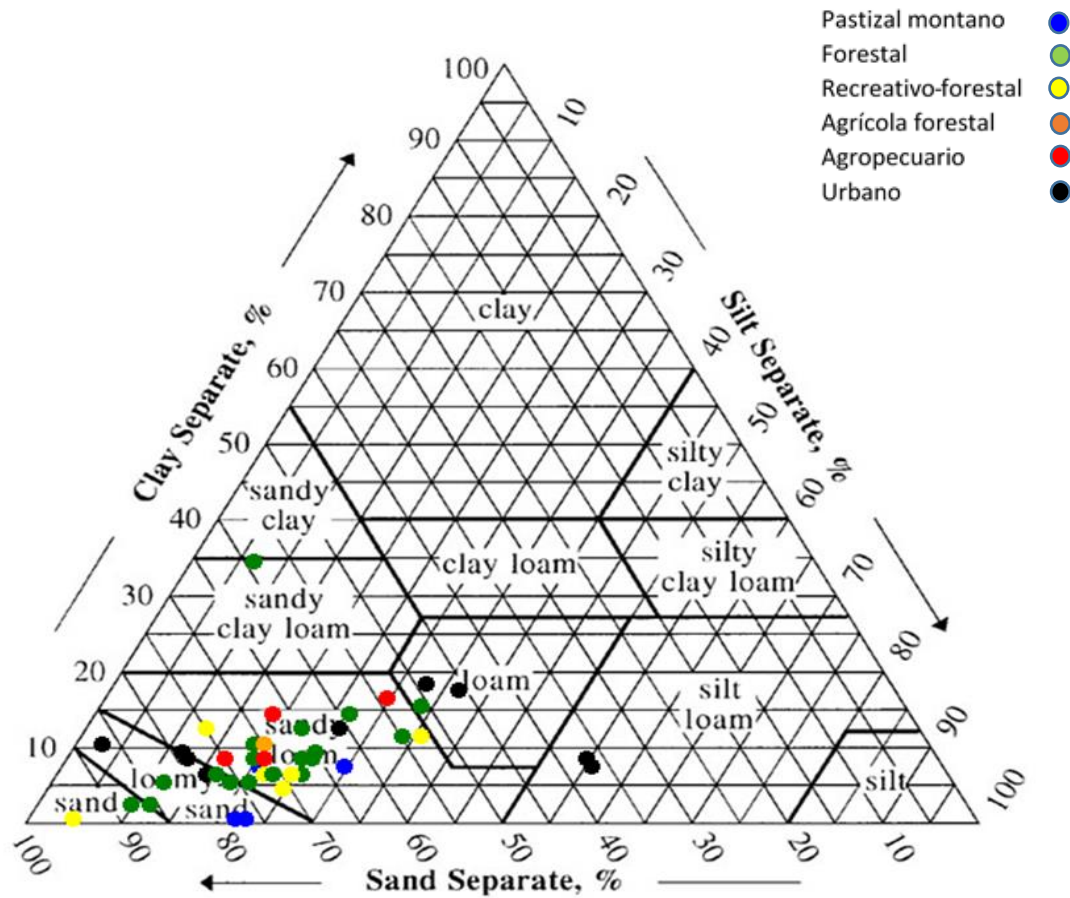


Figura 4.9 Textura de los 78 sitios de estudio en los ambientes ribereños de la RBLV

Porcentaje de sitios según la textura

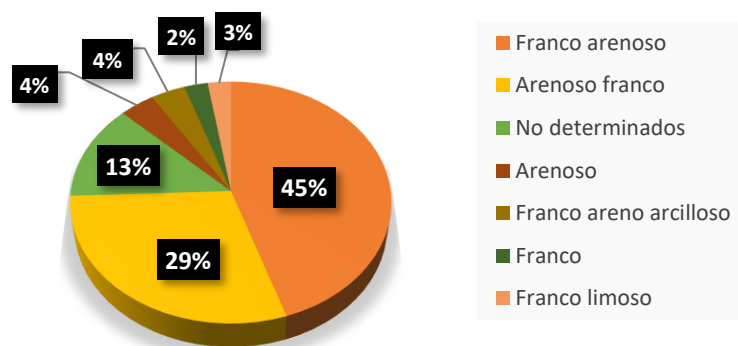


Figura 4.10 Porcentaje de las texturas registradas para los 78 sitios de muestreo.

Tabla.4.2. Localidad, uso de suelo, cuenca, textura, tipo de suelo y clase textural

ID	Localidad	Uso de suelo	Cuenca	Textura	Tipo de suelo	Clase textural
1	Atlimeyaya Arroyo- Sn Baltazar	Agropecuario	2	Franco arenoso	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico	Gruesa
2	Atlimeyaya Manantial-Sn Baltazar	Agropecuario	2	Franco arenoso	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico	Gruesa
3	Agua el marrano	Forestal	1	Franco arenoso	Regosol dístrico-Litosol-Andosol mólico	Gruesa
4	Alcalica 1	Forestal	1	Arenoso franco	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
5	Alcalica 2	Forestal perturbado	1	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
6	Alcalica bajo	Forestal	1	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
7	Alcalica vivero	Agrícola-Forestal	1	Arenoso franco	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
8	Alcalica	Agropecuario	1	Arenoso franco	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
9	Amalacaxco 1	Forestal	1	Arenoso franco	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
10	Amalacaxco 2	Forestal	1	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
11	Apatlaco 1	Pradera de alta montaña	2	Franco arenoso	Regosol dístrico-Litosol-Andosol mólico	Gruesa
12	Apatlaco 2	Pradera de alta montaña	2	Franco arenoso	Regosol dístrico-Litosol-Andosol mólico	Gruesa
13	Apatlaco 3 (Cascada)	Forestal	2	Franco arenoso	Regosol dístrico-Litosol-Andosol mólico	Gruesa
14	Apatlaco 4 (Parque Ecoturístico)	Recreativo-forestal	2	Franco arenoso	Regosol dístrico-Litosol-Andosol mólico	Gruesa
15	Atzomaco	Forestal perturbado	2	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
16	Atzompa (Río Cotzala)	Forestal perturbado	2	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
17	Axochiapa	Forestal perturbado	1	Franco areno-arcilloso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
18	Ayapango	Urbano	1	Franco arenoso	Feozem háplico-Andosol ócrico	Gruesa
19	Buenavista	Forestal perturbado	2	Arenoso franco	Regosol dístrico-Litosol-Andosol mólico	Gruesa
20	C. Tesanto	Forestal	1	Franco arenoso		
21	Calpan Ameyal (tubo)	Urbano	2	Arenoso franco	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico	Gruesa
22	Calpan Ameyal	Urbano	2	Arenoso franco	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico	Gruesa
23	Cisterna Palo Rechino	Forestal perturbado	1	Arenoso franco	Regosol dístrico-Litosol-Andosol mólico	Gruesa
24	Cocoyuco Manantial entubado	Forestal	2		Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
25	Cuatongo	Agropecuario	1	Franco areno-arcilloso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
26	Distrito Atoyac- Zahuapan	Urbano	2		Cambisol eútrico-Feozem háplico-Fluvisol eútrico	Media
27	Doña blanca 1	Pradera de alta montaña	1	Arenoso franco	Regosol dístrico-Litosol-Andosol mólico	Gruesa
28	Doña blanca 2	Pradera de alta montaña	1	Arenoso franco	Regosol dístrico-Litosol-Andosol mólico	Gruesa
29	El Corral	Forestal perturbado	2		Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
30	Ixoalco 1	Recreativo-Forestal	2	Franco arenoso	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico	Gruesa
31	Ixoalco 2	Recreativo-Forestal	2	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
32	La joya	Pradera de alta montaña	1	Arenoso franco	Regosol dístrico-Litosol-Andosol mólico	Gruesa
33	San Juan Tlale	Agrícola-Forestal	2		Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
34	Manantial Volkswagen	Pradera de alta montaña	2	Arenoso franco	Regosol dístrico-Litosol-Andosol mólico	Gruesa
35	Nepantla	Urbano	1	Arenoso franco	Feozem háplico-Cambisol eútrico-Vertisol pélico	
36	Nexcolango	Forestal	1	Franco	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
37	Palo Obispo Manantial	Forestal perturbado	2		Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
38	Palo Obispo Manantial (Canal de concreto)	Forestal perturbado	2		Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
39	Palo Obispo Río	Forestal perturbado	2		Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
40	Palo rechino	Forestal perturbado	1	Franco arenoso	Regosol dístrico-Litosol-Andosol mólico	Gruesa
41	Nexpayantla	Recreativo-Forestal	1	Arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
42	Pilares	Pradera de alta montaña	2	Franco arenoso	Regosol dístrico-Litosol-Andosol mólico	Gruesa
43	Potrero	Forestal perturbado	1	Arenoso	Regosol dístrico-Litosol-Andosol mólico	Gruesa
44	Ranchotitla	Forestal	1	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
45	Rincón del Cocoyuco	Forestal	2		Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
46	Río Alseseca Calpan (Río contaminado)	Urbano	2		Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico	Gruesa
47	Río Apol	Forestal perturbado	2	Franco arenoso	Regosol dístrico-Litosol-Andosol mólico	Gruesa
48	Río Cotzalá	Forestal perturbado	2	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
49	Río Cotzalá (Hidroeléctrica)	Agropecuario	2	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
50	Río Frío	Forestal perturbado	2	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
51	Río Frío II	Agrícola-Forestal	2	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
52	San Felipe Teotlalcingo (asilo)	Urbano	2	Franco limoso	Cambisol eútrico-Feozem háplico-Fluvisol eútrico	Media
53	San Felipe Teotlalcingo I (manantial)	Agropecuario	2	Franco limoso	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico Cambisol eútrico-Feozem háplico-Fluvisol eútrico	Gruesa
54	San Felipe Teotlalcingo II (arroyo)	Urbano	2	Franco	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico Cambisol eútrico-Feozem háplico-Fluvisol eútrico	Gruesa
55	San Pedro Atlixco (cascada)	Agropecuario	2	Arenoso franco	Feozem háplico-Andosol ócrico-Regosol eútrico	Gruesa
56	San Rafael Tlanalapa I (manantial)	Urbano	2	Arenoso franco	Feozem háplico-Andosol ócrico	Media

57	San Rafael Tlanalapan (río)	Urbano	2	Arenoso franco	Feozem háplico-Andosol ócrico	Media
58	San Rafael Tlanalapa II	Urbano	2	Arenoso franco	Cambisol eútrico-Litosol-Regosol eútrico	Gruesa
59	San Simón Atzitzintla	Urbano	2		Cambisol eútrico-Feozem háplico-Fluvisol eútrico	Media
60	Santa Rita Tlahuapan	Forestal perturbado	2	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
61	Santa Rita Tlahuapan (manantial)	Forestal perturbado	2	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
62	Tepepotll Cascada	Recreativo-Forestal	1	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
63	Tepepotll truchas	Recreativo-Forestal	1	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
64	Tepinoco	Forestal perturbado	1	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
65	Tetlalcuilco	Forestal	1	Arenoso	Regosol dístico-Litosol-Andosol mólico	Gruesa
66	Tezahuac	Agropecuario	1	Franco arenoso	Feozem háplico-Andosol ócrico	Gruesa
67	Tochimilco Barrio San Juan	Urbano	2	Arenoso franco	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico	Gruesa
68	Tochimilco 1 (El calvario)	Urbano	2	Arenoso franco	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico	Gruesa
69	Tochimilco Arroyo (ciénega)	Urbano	2	Arenoso franco	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico	Gruesa
70	Tochimilco Manantial	Urbano	2	Arenoso franco	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico	Gruesa
71	Tomacoco	Agropecuario	1	Franco arenoso	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico	Media
72	Truchas	Recreativo-Forestal	1	Franco areno-arcilloso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
73	Tunel tierra amarilla	Forestal	1	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
74	Vias Libramiento	Urbano	1		Feozem háplico-Andosol ócrico	Gruesa
75	Volkswagen	Pradera de alta montaña	2	Arenoso franco	Regosol dístico-Litosol-Andosol mólico	Gruesa
76	Xopallican	Agropecuario	2	Franco arenoso	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico	Gruesa
77	Xopallican	Agropecuario	2	Franco arenoso	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico	Gruesa
78	Xoquititla (manantial truchero)	Recreativo-Forestal	2	Franco arenoso	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol	Media
*Cuenca1 - México Cuenca 2 – del alto Balsas						

La dominancia textural correspondió a los suelos franco-arenosos y arenosos francos cubriendo en conjunto el 74% del total registrados, los menos abundantes fueron los suelos francos con solo el 2% del total.

Como se ha mencionado el suelo es un elemento dinámico, en evolución continua y constante interacción con el medio que lo rodea, por ello es difícil clasificarlo, ya que puede cambiar o compartir propiedades con otros suelos cercanos. La clasificación usada en México por INEGI toma en cuenta las características morfológicas, físicas, químicas y biológicas del suelo y lo clasifica según su grado de desarrollo.

Los tipos de suelo dominantes fueron con un 46% cambisol eútrico, asociado con andosol mólico y litosol; con el 23 % regosol dístico asociado con litosol y andosol mólico.

Los tipos de suelo más importantes se relacionaron con aspectos destacados como el material que les dio origen, el lugar donde se localizan, el intervalo térmico al que están sometidos y las coberturas que se asocian a ellos.

Tipos de suelo

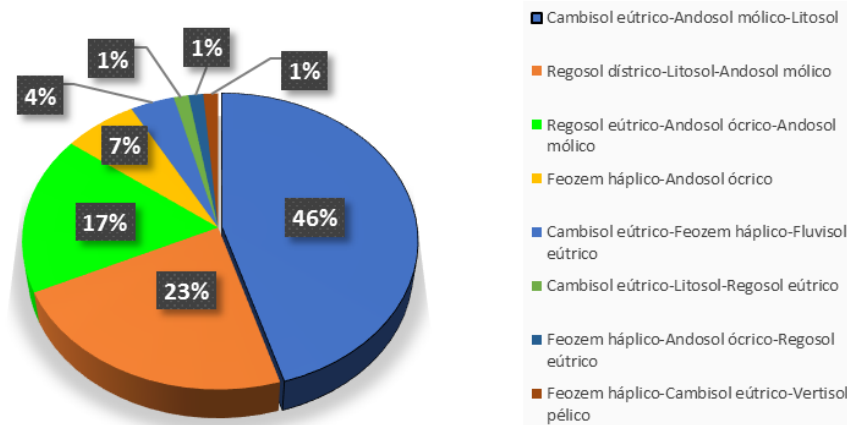


Figura 4.11. Porcentaje de tipos de suelos dominantes en los sitios de estudio RBLV

Tabla 4.3 Material parental, geoformas, intervalo altitudinal, térmico y coberturas asociadas a los 4 tipos de suelo más relevantes de los ambientes ribereños estudiados

Suelo	Material parental	Geoformas	Altitud (m s.n.m.)	Pendiente (porcentaje)	Temperatura (°C)	Cobertura del suelo
<i>Cambisol eútrico</i>	Riolita-Andesitas y Toba ácida	Sierra y lomerío	2243-3745	0.07 -60	5 - 26	<ul style="list-style-type: none"> • B. de pino/ Pastizal montano • Bosque de pino • Bosque mixto • Agrícola • Urbana • Manantial
<i>Regosol dístico</i>	Riolita-Andesitas- material piroclástico y Toba ácida	Sierra y lomerío	2700-4058	7- 58	5 - 22	<ul style="list-style-type: none"> • Pastizal montano • B. de pino/ Pastizal montano • Bosque de pino • Bosque mixto • Agrícola • Urbana • Manantial
<i>Regosol éútrico</i>	Riolita-Andesitas-material piroclástico y Toba ácida	Sierra y meseta	2076-3522	3.5 - 73.5	8 – 22.5	<ul style="list-style-type: none"> • Bosque mixto • Agrícola • Urbana • Manantial
<i>Phaeozem háplico</i>	Riolita-Andesitas y Toba ácida	Lomerío	1987-2518	0.04 – 17	9.8 – 19.5	<ul style="list-style-type: none"> • Agrícola • Urbana • Manantial

A continuación, se mencionan las características de los tipos de suelo más importantes registrados en la RBLV (INEGI, 2004 Romeo, et al., 2015; WRB, 2007, USDA, 1999; Bautista et al., 2009; Reyes, 2014).

Cambisol eútrico: El nombre proviene del latín *cambiare*, suelo que cambia, son suelos jóvenes, claros y moderadamente desarrollados, se pueden encontrar en cualquier tipo de clima o vegetación excepto zonas áridas, muestran el subsuelo terrones en una capa y vestigios rocosos o rocas subyacentes, puede acumular arcilla, carbonato de calcio, fierro o manganeso. Son comunes y tienen diferentes usos, con rendimientos variables, de acuerdo al clima. En ocasiones pueden ser muy delgados y formar una capa sobre el

tepetate, Su susceptibilidad a la erosión es de alta a moderada. Su perfil típico tiene una secuencia de horizontes ABC con un horizonte A ócrico, mólico o úmbrico sobre un horizonte B cámbico que tiene normalmente un color pardo amarillento, pero que puede también ser de un rojo intenso, pueden sustentar una vegetación de matorral, pastizal, bosque o selva, se asocian a regosoles o feozem.

La mayoría contienen algunos minerales intemperizables en las fracciones de limo y arena; estos suelos se presentan en regiones con un excedente de precipitación, pero con drenaje adecuado, sus texturas son medias y tienen buena estabilidad estructural, alta porosidad, capacidad de retención de humedad adecuada y buen drenaje interno, con un pH de neutro a débilmente ácido, con fertilidad química satisfactoria y biota edáfica activa (microorganismos e invertebrados).

El cambisol eútrico

eútrico: del griego *eu*: bueno, suelos sanos, de ligeramente ácidos a alcalinos y más fértiles que los suelos dístricos, se puede encontrar en 3 modalidades:

Ortiéutrico: la saturación es del 50 % o mayor entre 20 cm y un metro.

Hiperéutrico: la saturación entre 20 cm y un metro es del 80 % o superior

Endoéutrico: la saturación es del 50 % o mayor en la totalidad del suelo comprendido entre 50 cm y un metro.

Feozem háplico: el nombre proviene del griego *phaeo*: pardo; y del ruso *zemljá*: tierra. Son suelos pardos que se presentan en tipos de relieve y clima muy variados, excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas muy desérticas y se considera el cuarto tipo de suelo más abundante en el país.

Presentan una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y nutrientes, son de profundidad muy variable. Los phaeozems son suelos porosos, bien aireados con estructuras migajosas o de bloques, de moderados a fuertes, muy estables. En la capa en donde se lluvia, su cantidad de arcilla comúnmente es mayor entre un 10-20% respecto al horizonte suprayacente. En promedio su contenido de materia orgánica superficial, oscila alrededor del 5%, con una relación C/N de 10-12, valores de pH entre 5 y 7, incrementándose en horizontes posteriores; su capacidad de intercambio catiónico va de 25 – 30 cmol (+) por kg de suelo seco o algo menor; el porcentaje de saturación de bases se encuentra entre el 65 y 100 %, con mayores porcentajes en el subsuelo más profundo.

Cuando son profundos se encuentran generalmente en terrenos planos muy utilizados para la agricultura de granos, legumbres u hortalizas, con rendimientos altos. Los menos profundos, se localizan en laderas o pendientes, su principal limitante es alguna cementación fuerte en el suelo, sus rendimientos son bajos y pueden utilizarse para el pastoreo o ganadería con buenos resultados. El uso óptimo de estos suelos depende en muchas ocasiones de otras características del terreno y de la disponibilidad de agua para riego.

Se les encuentra en las regiones templadas y tropicales, son frecuentes en parte del Eje Volcánico Transmexicano, asociados con andosoles, cambisoles y vertisoles. Su símbolo en la carta edafológica es (H).

Háplico: se denomina así ya que no muestra características especiales o adicionales a las del grupo de pertenencia.

Regosol: Del griego *reghos*: manto, o capa de material suelto que cubre a la roca. Los regosoles se ubican en áreas con diversos tipos de vegetación y relieve, sin permafrost, no están definidos en términos de sus propiedades del suelo, pero son mejor descritos con base a las propiedades que no tienen. Formados por material parental triturado, no consolidados, transportados por el viento, pueden ser de origen piroclástico, resultado de actividades volcánicas recientes, en las cuales la acción del clima y la biota no han podido actuar por mucho tiempo. Constituidos por cenizas, arenas y gravas, someros, poco evolucionados y con escasa materia orgánica incluida en la matriz, por lo que son claros en general y no presentan capas muy diferenciadas entre sí.

Los regosoles son muy extensos en tierras erosionadas, particularmente en tierras áridas, semiáridas y regiones montañosas, encontrándose en mejores condiciones bajo bosque. Se desarrollan en las partes elevadas de los volcanes con actividad volcánica reciente, como el Nevado de Colima, el Parícutín, el Popocatepetl, el Chichonal, entre otros. Soportan comunidades vegetales escasamente desarrolladas con pastos aislados que forman macollas o plantas herbáceas perennes e inclusive leñosas postradas. Su uso forestal y pecuario tienen rendimientos variables y su manejo varía ampliamente, algunos son usados para agricultura de riego de capital intensivo, pero comúnmente son utilizados para producción de pastizales de bajo volumen.

En México, los regosoles constituyen el segundo tipo de suelo más importante por su extensión (19.2%). Muchas veces están asociados con litosoles y con afloramientos de roca o tepetate. Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad. El símbolo cartográfico para su representación es (R).

Dístrico: Del griego *dys*: malo, enfermo. Suelos ácidos, ricos en nitrógeno, pero pobres en otros nutrientes indispensables para las plantas como el calcio, magnesio y potasio.

Eútrico: Del griego *eu*: bueno, suelos sanos, de ligeramente ácidos a alcalinos y más fértiles que los suelos dístricos

Andosol del japonés *an*: oscuro; y *do*: tierra. Los suelos de tierra negra, son suelos de origen volcánico, constituidos principalmente de ceniza, con una capa superficial oscura y el suelo subsuperficial más claro; con alto contenido de alófono, que le confiere ligereza y untuosidad al suelo. Con alta capacidad de retención de humedad, en condiciones naturales presentan vegetación de bosque o selva. Tienen generalmente bajos rendimientos agrícolas debido a que retienen considerablemente el fósforo y éste no puede ser absorbido por las plantas. Lo que puede mejorar con programas adecuados de manejo, tienen también uso pecuario especialmente ovino; el uso más favorable para su conservación es el forestal. Son también muy susceptibles a la erosión; de amplia distribución en áreas montañosas de origen volcánico. Bajo clima templado se les localiza en el Eje Volcánico Transmexicano y su símbolo es (T).

Ócrico: Del latín *oais*: claro. Subunidad exclusiva de los andosoles, que indica una capa de color claro y pobre en materia orgánica.

Mólico: Del latín *mollis*: suave, suelos con una capa superficial suave, oscura, fértil y rica en materia orgánica.

Litosol: Del griego *lithos*: piedra y *solum*: suelo. Los llamados suelos de piedra, se caracterizan por su profundidad menor de 10 centímetros, descansan sobre un estrato duro y continuo, como roca madre, tepetate o caliche. Son los suelos más abundantes del país, ocupan 22 de cada 100 hectáreas de suelo y se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, en todas las sierras de México, barrancas, lomeríos y algunas planicies. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión es variable dependiendo de otros factores ambientales. El uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre. En bosques y selvas su uso es forestal; cuando hay matorrales o pastizales se puede llevar a cabo un pastoreo más o menos limitado y en algunos casos se destinan a la agricultura, en especial al cultivo de maíz o el nopal, condicionado a la presencia de suficiente agua. No tiene subunidades y su símbolo es (1)

Luvisol: Del latín *luvi, luo*: lavar. Literalmente, suelo lavado, con un contenido de bases que va de mediano a alto, con acumulación de arcilla resultante del lavado y la formación *in situ*. En zonas tropicales son de color rojizo y cambian a amarillento en las templadas; son muy susceptibles a la erosión, se les localiza fundamentalmente bajo climas templados y tropicales, sobre terrenos de topografía variada. Se hallan ampliamente representados en el Eje Volcánico Transmexicano, asociados con andosoles, vertisoles, cambisoles y rendzinas. Sobre ellos se desarrolla una vegetación de bosques, selva o pastizal. Los aserraderos más importantes del país se encuentran en zonas de luvisoles, sin embargo, debe tenerse en cuenta que son suelos con alta susceptibilidad a la erosión. En México cuatro de cada 100 hectáreas está ocupada por luvisoles. El símbolo para su representación cartográfica es (L).

Se determinaron 14 variables de suelo en diferentes momentos durante el periodo de estudio, además de relacionarlas con variables hidrológicas como el caudal y la velocidad de corriente y se analizó su comportamiento altitudinal, por tipo de cobertura y por tipo de uso de suelo.

Se relacionaron los datos estadísticamente mediante una correlación múltiple con un nivel de confianza de 95% y se identificaron cinco variables colineales, esto permite hacer una reducción de variables para el análisis.

pH

El pH del suelo mostró una tendencia ascendente conforme disminuye la altitud, su valor promedio fue de 5.59, con un intervalo de variación de 4.18 a 8.25.(Fig. 4.12), lo que indica una fuerte variación en la concentración de iones hidronio o acidez de los suelos registrándose suelos de fuertemente ácidos a medianamente alcalinos (SEMARNAT, 2000) dentro de la RBLV, como resultado del material parental en cada sitio, los procesos de degradación de material orgánico, la evaporación excesiva, la cobertura y el uso de suelo.

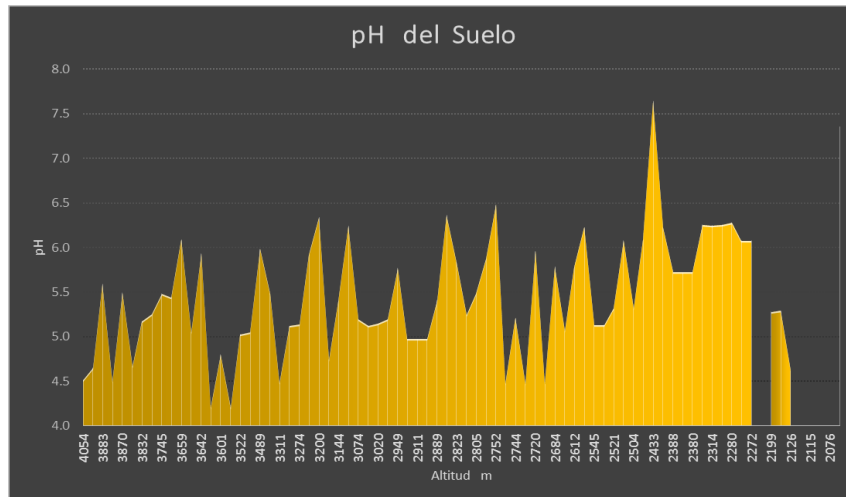


Figura 4.12 Variación altitudinal del pH del suelo

Conductividad eléctrica

Esta determinación es una medida de la capacidad de la solución del suelo para transmitir la corriente eléctrica en función de su contenido iónico, se determina en el extracto de saturación y debe tenerse en cuenta la temperatura a la que se midió, se recomienda que se lleve a cabo a 25 °C y corregirse cuando no es así. La cantidad de iones que se encuentre presente en el extracto y la valencia de estos definirán su conductividad eléctrica.

De acuerdo, con el comportamiento altitudinal, hay dos áreas de incremento evidente, la primera de 3144 a 2752 m y la siguiente de 2740 a los 2000 m (Fig. 4.13). Sin embargo, en general se puede decir que la salinidad es despreciable, excepto en los sitios que corresponden a San Felipe Teotlalcingo y Distrito Atoyac-Zahuapan, que son ligeramente salinos.

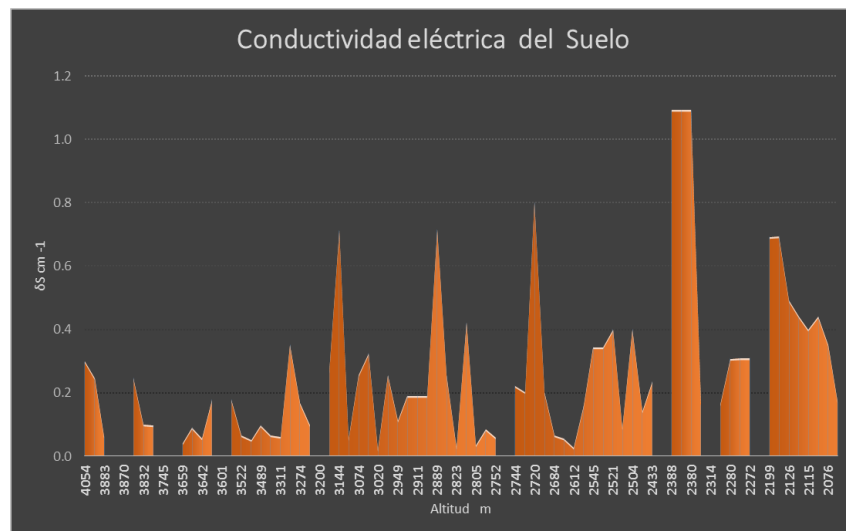


Figura 4.13 Variación altitudinal de la conductividad eléctrica en el extracto de suelo

Densidad aparente

La densidad aparente del suelo disminuye conforme se desciende de la zona de montaña, el 70 % de los sitios se clasificaron como volcánicos y orgánicos de acuerdo a este parámetro. Únicamente 2 sitios por arriba de los 2500 m s.n.m. y 22 por debajo de esta altitud rebasaron la densidad de uno, que los clasifica como suelos minerales arcillosos (Fig. 4.14). Los suelos ribereños se consideraron bien drenados al tener en su mayoría una densidad aparente superior a 0.5 g cm^{-3} en todos los casos (SEMARNAT, 2000).

Espacio poroso

Los espacios vacíos o poros en el suelo se relacionan con el arreglo y estructura de los componentes primarios del suelo, los patrones de enraizamiento, las cámaras formadas por la fauna, procesos formadores del suelo como desplazamiento, percolación, agrietamiento, o bien alteraciones a la estructura original por cambios en el uso del suelo.

El porcentaje de espacio poroso presentó un comportamiento muy claro, tendió a disminuir de mayor a menor altitud, lo que indicó el incremento en la compactación (Fig. 4.14); sin embargo, en todos los suelos se presentó porosidad muy alta.

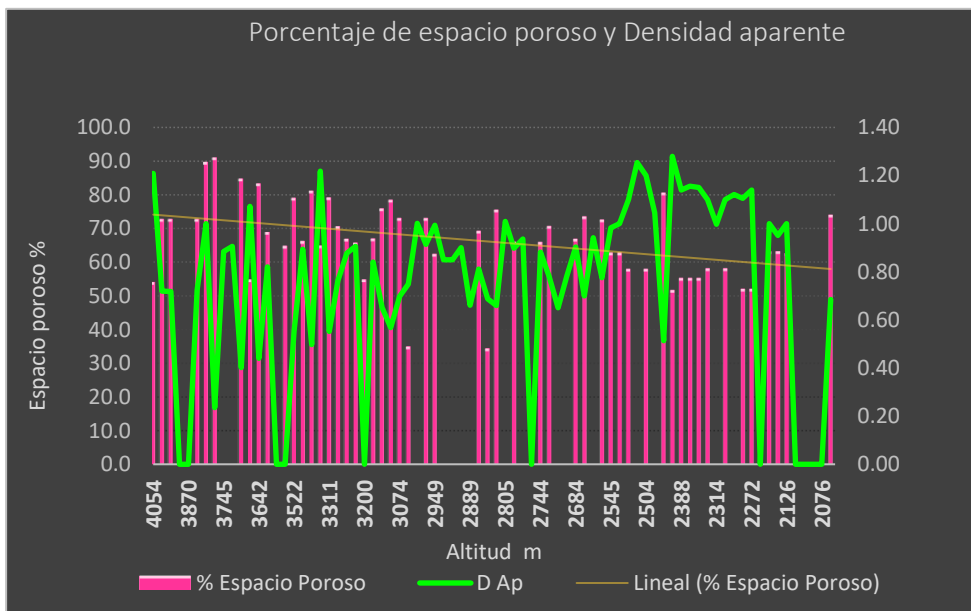


Figura 4.14. Variación altitudinal de la densidad aparente y el espacio poroso.

Materia y carbono orgánicos

La materia orgánica son todos los restos de vegetales y animales, exudados, organismos que habitan en el suelo y productos de su metabolismo y aportes orgánicos externos, como estiércoles y composta (Labrador, 2001).

Su degradación sucede en diferentes intensidades según la complejidad del material orgánico y de las condiciones biofísicas en el lugar, considerando esto la materia orgánica

está formada por varios componentes con funciones definidas y que interactúan entre sí. Los organismos del suelo junto con las raíces conforman la parte viva de la materia orgánica, aunque solo alcanzan alrededor del 5% de la materia orgánica total, son el motor transformador en el suelo. Por otro lado, la fracción inerte de la materia orgánica (aproximadamente el 95%) está constituida por compuestos orgánicos en diferentes estados de descomposición y es la que mejora las propiedades físicas del suelo y su fertilidad.

En este caso, los suelos son volcánicos y su contenido de MOS fueron diversos, de muy bajos a muy altos (Fig. 4.15). De acuerdo a la clasificación de la Norma oficial mexicana (SEMARNAT, 2000), el 26% tuvo un contenido de MOS muy bajo, el 14% bajo, el 48% medio, el 8 % alto y el 4% fue muy alto, este nivel correspondió a tres sitios con diferentes usos de suelo y en un intervalo altitudinal entre 2700 y 2900 m s.n.m.

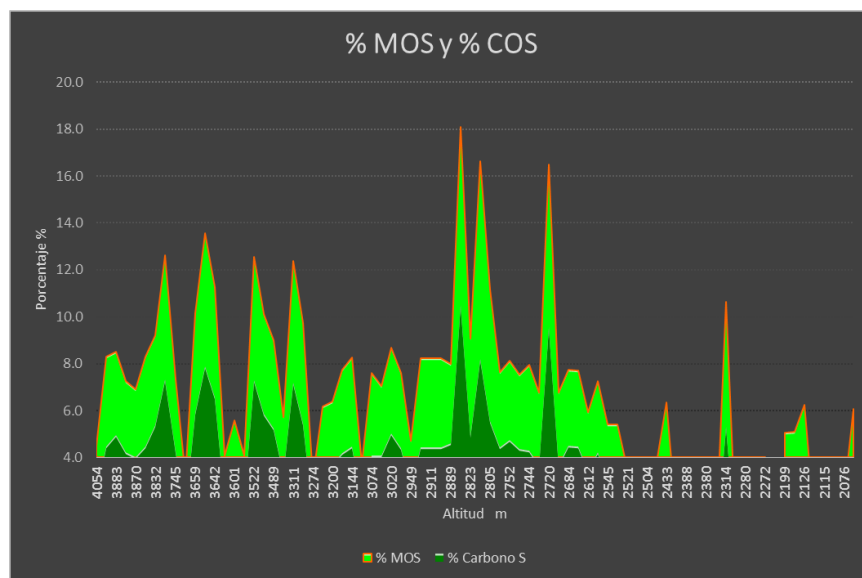


Figura 4.15. Variación altitudinal de la materia y el carbono orgánicos del suelo

Nitrógeno total

El ritmo de degradación de la materia orgánica, la actividad microbiana y la presencia de especies son factores determinantes de la tasa de mineralización y fijación de nitrógeno en el suelo. El nitrógeno es indispensable para el desarrollo vegetal, la conservación de los ecosistemas y la evaluación de fertilidad y calidad del suelo, esto se refleja en que el nitrógeno total en el suelo no mostró el mismo patrón de comportamiento que la MOS. Los valores promedio de este parámetro indican que 61 sitios tuvieron un nivel bajo y 17 manifestaron un nivel medio (Fig. 4.16).

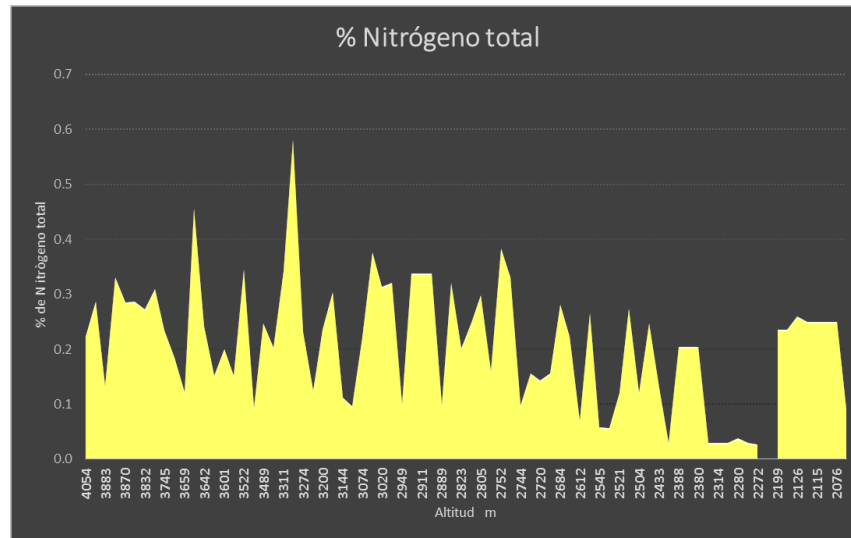


Figura 4.16 Variación altitudinal del Nitrógeno total del suelo

Fósforo

El fósforo en el suelo se encuentra como parte del material parental en minerales como fosforita y apatita, forma en la que no es asimilable por los organismos vegetales. En compuestos orgánicos como parte de la biota y la materia orgánica que van a ser muy poco asimilables, ya que en suelos ácidos o neutros como en este caso, son adsorbidos por el hierro y el aluminio. O bien, en forma iónica que puede asociarse al complejo humus-arcilla donde será transformable o lábil, o permanecer libre en la solución del suelo y estar disponible o asimilable para la demanda biótica.

Esta forma asimilable es la que se determinó en este estudio, las concentraciones promedio registradas para los sitios, fluctuaron en un intervalo entre 0.22 y 82.54 mg L⁻¹, esto indica concentraciones bajas, normales dentro de un horizonte natural (Fig. 4.17).

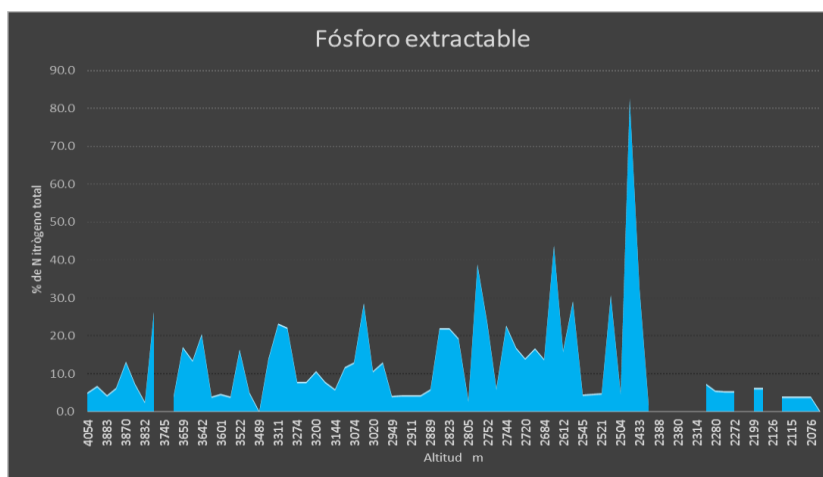


Figura 4.17. Variación altitudinal del Fósforo extractable del suelo

Se analizó la relación entre las propiedades del suelo y la velocidad de corriente y caudal de los sistemas lóticos, registrando que el papel que juega la velocidad de corriente, como ya se infería la velocidad de corriente tiene, es relevante para la temperatura del suelo, sobre todo cuando se trata de suelo en franjas reducidas de la ribera entre 0 y 3 m. Así mismo, esta velocidad del sistema acuático influye en la distribución de los nutrientes en el suelo, en una relación inversa permitiendo mayor acumulación de fósforo y nitrógeno en el suelo, en donde la velocidad de corriente disminuye y se tienen aguas más lentas; pero lo contrario sucede en su relación con la conductividad que se acumula más en el suelo, conforme el transporte de materiales disueltos es más rápido en el agua.

El caudal del río o arroyo tiene influencia en la granulometría del suelo aledaño, registrándose mayor porcentaje de arenas y menor de arcillas en los sitios más caudalosos. Por otro lado, la conductividad eléctrica en el suelo también se incrementa de acuerdo a la creciente de la corriente, por la cantidad de sólidos disueltos que se transportan y tienden a ser retenidos en el suelo, llegando a ser un factor de riesgo cuando se tienen suelos con altas salinidades.

COBERTURA DEL SUELO

En la tabla 4.4, se sintetiza la información recabada en los muestreos de todos los sitios, agrupada conforme a la cobertura vegetal que presentaban.

Debido a que los datos presentaron comportamientos alejados de la normalidad y homocedasticidad de manera general, aún después de probar su estandarización por diferentes métodos, por lo que los análisis se realizaron con estadística no paramétrica.

Se compararon las muestras de forma múltiple, para comprobar si la mediana en cada una de las coberturas o los usos de suelo era la misma o presentaba diferencias significativas mediante una prueba de Kruskal-Wallis, después se aplicó la prueba de Mood's para comprobar si las medianas de las muestras son iguales y posteriormente se utilizaron diagramas de caja para visualizar las diferencias y similitudes.

En los diagramas de caja de la figura 4.18, se pueden observar las similitudes o diferencias que se identificaron con los análisis estadísticos mencionados.

La temperatura del suelo mostró similitudes entre Pastizal montano y Bosque mixto; el ecotono Bosque de pino/Pastizal montano y el Bosque mixto que presentaron las temperaturas más bajas durante el periodo de estudio y el tercer grupo que mostró similitud en su comportamiento térmico fueron las coberturas Agrícola, Urbana y Manantial que mostraron las temperaturas más altas.

La humedad del suelo no presentó diferencias significativas entre las coberturas de Pastizal montano y Bosque de pino/pastizal montano. Otras coberturas que no tuvieron diferencias significativas entre ellas fueron Bosque de pino y Urbana, así como Bosque mixto y Agrícola. La única que mostró diferencias con todas las otras coberturas fue la de manantiales.

El comportamiento del pH en las distintas coberturas fue el siguiente: Las coberturas de Pastizal montano y bosque de pino no tuvieron diferencias significativas, sin embargo, fue en el Bosque de pino donde se registraron los pH más bajos. El pastizal montano también mostró similitudes con la cobertura de manantial; la asociación Bosque de pino/Pastizal

montano no tuvo diferencias significativas con el Bosque mixto. Por otro lado, las coberturas que no presentaron similitud con ninguna otra cobertura fueron Agrícola y Urbana y en ambas se registraron los valores de pH más altos. De acuerdo a los valores de pH registrados para cada cobertura, los suelos fueron de fuerte a moderadamente ácidos en Pastizal montano, Bosque de pino/Pastizal montano, Bosque de pino y Manantial. En el Bosque mixto, fluctuaron de fuertemente ácidos a neutros; en la cobertura agrícola de fuertemente ácidos a moderadamente alcalinos y en la urbana de moderadamente ácidos a moderadamente alcalinos.

La conductividad eléctrica no mostró diferencias significativas entre Pastizal montano y Bosque mixto; Bosque de pino/Pastizal montano con Bosque de pino; Bosque mixto y Urbana; así como las coberturas Agrícola y de Manantial. Las menores conductividades se registraron en Bosque de pino y Bosque mixto, y las más altas en Agrícola y de Manantial. En este caso las coberturas se clasificaron en su mayoría con salinidad despreciable, excepto la Agrícola y la de Manantial que fluctuaron entre salinidad despreciable y muy ligera.

El porcentaje de espacio poroso fue más alto y con similitud en Pastizal montano y Bosque de pino/Pastizal montano. Las otras coberturas que no mostraron diferencias significativas fueron Bosque de pino y agrícola; así como Bosque de pino, Bosque mixto, Urbana y Manantial. Los porcentajes de espacio poroso más bajos fueron los de la cobertura Urbana y el mayor intervalo de variación se registró en el Bosque mixto. Este parámetro guarda relación inversa y colineal con la densidad aparente, por lo que cabe mencionar que en todas las coberturas dominaron los suelos volcánicos y orgánicos, pero también se presentaron suelos con características minerales (arcillosos, francosos y arenosos).

Por otro lado, el porcentaje de COS no mostró diferencias significativas en las coberturas de Pastizal montano, Bosque de pino y Bosque mixto. Con los valores más altos registrados de este parámetro y mayor intervalo de variación en la cobertura Bosque de pino/Pastizal montano. Los porcentajes más bajos de COS se observaron en la cobertura Urbana, de acuerdo al porcentaje de MOS, las coberturas presentaron suelos volcánicos con niveles de MOS de muy bajos a muy altos, excepto en el Bosque de pino que los suelos presentaron MOS de muy baja a alta y las coberturas Urbana y de Manantial que registraron niveles de muy bajos a medios.

El nitrógeno total en porcentaje no registró diferencias significativas entre Pastizal montano, Bosque de pino/Pastizal montano y Agrícola; entre Bosque de pino/Pastizal montano y Bosque mixto; y entre Bosque de pino, Agrícola, Manantial y Urbana. Los valores más bajos correspondieron a la cobertura urbana y los más altos al bosque mixto.

Con respecto al fósforo asimilable se presentaron similitudes entre el Pastizal montano y el Bosque de pino; entre Bosque de pino/Pastizal montano y Bosque mixto; entre Bosque de pino y cobertura de Manantial. Las concentraciones más bajas se encontraron en el Pastizal montano y las más altas en la cobertura Urbana con el mayor intervalo de variación. Con respecto, a las concentraciones de fósforo extractable fueron bajas en el Pastizal montano y Bosque de pino; se mantuvieron de bajas a medias en la cobertura de Manantial y fluctuaron de bajas a altas en Bosque de pino/Pastizal montano, Bosque mixto, Agrícola y Urbana.

INDICADORES HÍDRICO-EDÁFICOS DE CALIDAD PARA AMBIENTES RIBEREÑOS DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA "LOS VOLCANES"

Tabla 4.4. Valor promedio, máximo, mínimo y coeficiente de variación de cada una de las variables edáficas para cada Cobertura identificada

Cobertura del suelo		Altitud	T° Suelo	CE S	pH S	D Ap.	% E. P.	% Hum S	% MOS	% COS	% N total	C:N S	Fósforo extractable	Veloc. C.	Caudal	Tipo de suelos dominantes
Pastizal montano	Prom.		9.67	0.132	5.22	0.874	76.981	41.85	8.08	4.635	0.229	25.64	5.609	0.39	0.0177	Regosol déstrico-Litosol-Andosol mólico
	Máx.	4058	12.00	0.31	5.76	1.309	96.35	76.70	22.99	13.37	0.39	133.42	14.71	1.04	0.1147	
	Mín.	3832	6.00	0.05	4.50	0.32	50.60	9.55	3.28	1.770	0.03	8.24	0.1522	0.05	0.0002	
	Coef. Var. %	1.62	16.97	65.84	7.76	28.69	17.26	40.80	60.93	62.08	38.918	107.86	79.53	53.11	138.58	
B. de pino/Pastizal montano	Prom.		6.50	0.076	5.54	0.566	77.676	41.31	11.03	6.399	0.2546	31.75	17.58	0.42	0.0601	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol
	Máx.	3871	12.00	0.180	6.16	1.300	54.857	69.21	26.80	15.58	0.68	83.84	50.703	2.76	0.3055	Regosol déstrico-Litosol-Andosol mólico
	Mín.	3520	3.00	0.020	4.18	0.113	95.742	14.52	2.14	1.160	0.06	6.97	4.0	0.10	0.0006	
	Coef. Var. %	2.68	34.89	54.97	11.25	61.71	18.23	29.31	54.54	54.91	69.28	71.66	54.22	92.71	151.60	
Bosque de pino	Prom.		7.33	0.05	5.09	0.889	66.288	19.40	7.99	4.653	0.1649	37.30	4.884	0.41	0.1848	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol
	Máx.	3745	11.00	0.09	5.5	1.196	76.962	52.15	14.56	8.460	0.26	112.98	10.574	1.5	1.0204	Regosol déstrico-Litosol-Andosol mólico
	Mín.	2889	5.00	0.03	4.7	0.610	54.867	0.09	5.2	3.020	0.05	14.36	0.855	0.07	0.0100	
	Coef. Var. %	8.79	31.34	37.42	5.64	17.99	11.500	95.63	30.23	30.32	41.383	76.67	44.84	81.87	182.39	
Bosque mixto	Prom.		8.96	0.155	5.52	0.834	65.145	29.28	7.67	4.403	0.2703	22.72	17.41	0.38	0.1275	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol
	Máx.	3571	28.00	0.72	7.04	1.924	93.31	62.96	24.08	14.00	0.92	210.05	51.21	0.76	3.54	Regosol déstrico-Litosol-Andosol mólico
	Mín.	2504	5.00	0.02	4.2	0.177	26.03	2.58	0.093	0.540	0.02	3.84	0.0117	0.04	0	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico
	Coef. Var. %	9.33	47.33	102.9	10.65	32.24	22.273	43.47	44.70	45.07	59.909	93.49	71.96	42.45	273.09	
Agrícola	Prom.		14.89	0.352	6.06	0.901	69.504	29.51	6.31	3.465	0.1973	21.98	22.917	0.52	0.1557	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol
	Máx.	2720	28.00	1.100	8.25	1.500	88.444	74.00	17.8	10.350	0.42	114.00	57.361	0.8	1.4082	
	Mín.	2095	11.00	0.05	4.58	0.306	52.2	1.38	0.08	0.040	0.01	0.22	4.283	0.22	0	
	Coef. Var. %	6.68	29.51	92.09	13.52	27.50	12.461	51.19	63.91	67.54	58.841	96.61	70.95	41.65	170.89	
Urbana	Prom.		15.32	0.207	6.44	1.024	63.871	22.01	3.46	2.010	0.1569	34.66	35.773	0.48	0.5557	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico
	Máx.	2463	16.00	0.44	7.56	1.29	78.497	57.4	7.98	4.640	0.34	502.89	200.00	3.1	3.8102	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol
	Mín.	1987	14.00	0.11	5.7	0.57	51.74	12.29	1.28	0.740	0.01	3.74	0.135	0.06	0.0002	
	Coef. Var. %	7.84	4.63	44.32	7.88	20.84	18.83	55.89	60.36	60.47	60.942	200.88	167.83	107.73	183.56	
Manantial	Prom.		13.82	0.396	5.35	0.943	62.514	33.56	5.00	2.852	0.145	21.78	10.600	0.39	0.0213	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico
	Máx.	3871	19.60	1.1	6.5	1.500	78.497	75.40	19.53	10.44	0.34	114.00	22.716	0.86	0.0928	Cambisol eútrico-Feozem háplico-Fluvisol eútrico
	Mín.	2120	8.20	0.16	4.2	0.600	51.74	1.38	0.08	0.04	0.01	0.22	1.4	0.15	0.0004	
	Coef. Var. %	16.70	28.03	77.63	12.46	21.70	11.894	61.31	89.45	80.09	74.595	82.97	65.22	51.64	113.49	
Total	Prom.		10.07	0.192	5.59	0.840	67.995	31.19	7.38	4.236	0.236	24.55	16.975	0.4158	0.1375	
	Máx.	4058	28.00	0.020	8.25	1.924	96.351	76.70	26.8	15.58	0.34	502.89	200.00	3.1	3.8102	
	Mín.	1987	3.00	1.100	4.18	0.113	26.030	0.09	0.08	0.04	0.01	0.22	0.01174	0.036	0	
	Coef. Var. %	17.59	46.27	111.9	12.24	33.69	20.688	48.29	58.53	58.69	63.393	108.23	106.711	81.59	287.66	

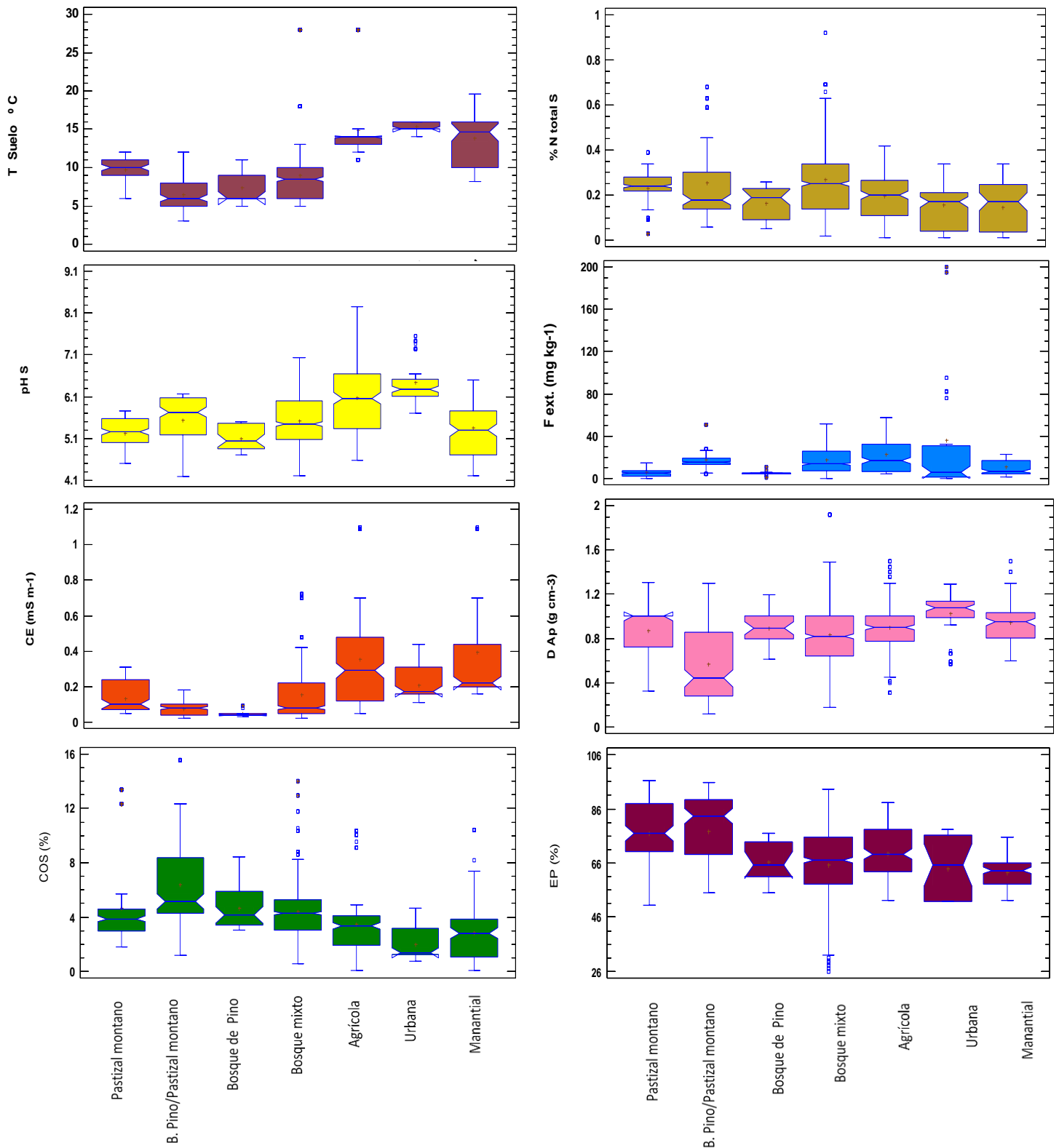


Figura 4.18 Variación de cada uno de los parámetros en función de la Cobertura del suelo

USO DEL SUELO

En lo referente, a las variaciones en las propiedades del suelo, de acuerdo al uso que se le da, en la Tabla 4.5, se expresan los valores promedio, así como el máximo, mínimo y el coeficiente de variación y en la figura 4.19, los diagramas de caja para visualizar los resultados sobre las diferencias significativas entre los usos de suelo, según pruebas de Kruskal-Wallis y de Mood's, aplicadas a las medianas.

La temperatura del suelo no presentó diferencias significativas, en primera instancia entre los usos como Pradera de alta montaña y Recreativo-Forestal, en segundo lugar, los usos Forestal, Forestal perturbado y Recreativo-Forestal y en último lugar el uso Agrícola-Forestal, Agropecuario y Urbano. El porcentaje de humedad no mostró diferencias significativas entre los usos de suelo identificados.

El pH mostró similitudes en los usos como Pradera de alta montaña y Agrícola-Forestal. Y en Forestal, Forestal perturbado, Recreativo-Forestal y Agrícola forestal. Los usos de suelo Agropecuario y Urbano presentaron diferencias significativas con todos los otros usos. Los suelos destinados a los usos como Pradera de alta montaña y Forestal perturbado se encuentran entre fuerte y moderadamente ácidos. Mientras que los usados para actividades Forestales, Recreativo-Forestales, Agrícola-Forestales y Agropecuarias van de fuertemente ácidos a neutros. El uso urbano fue el único que varió de moderadamente ácido a medianamente alcalino (SEMARNAT, 2000).

En la conductividad eléctrica del suelo se registró que los primeros cinco usos de suelo, no muestran diferencias significativas entre sus medianas y se clasificaron con efectos despreciables de salinidad; sin embargo, el Agropecuario y el Urbano presentaron diferencias significativas con los otros seis usos de suelo y ambos se consideraron muy ligeramente salinos.

La densidad aparente del suelo presentó diferencias significativas del uso de suelo Urbano con todos los demás. Y ciertas similitudes en cada uno de los siguientes grupos: Pradera de alta montaña, Forestal, Forestal perturbado y Agrícola-Forestal, así como entre Recreativo-Forestal y Agropecuario. De acuerdo, con esta variable se considera que en todos los usos de suelo se encontraron suelos volcánicos y orgánicos, que van hasta suelos francosos en la Pradera de alta montaña; hasta suelos arenosos en los usos Forestal, Forestal perturbado, Recreativo forestal y Agropecuario. Y en el uso Urbano fueron de volcánicos orgánicos a minerales arcillosos. El porcentaje de Espacio poroso no presentó diferencias significativas entre los usos de suelo Forestal perturbado, Recreativo-Forestal, Agropecuario y Urbano; sin embargo, cada uno de los siguientes usos mostró diferencias significativas con todos los demás: Pradera de alta montaña, Forestal y Agrícola forestal.

El porcentaje de COS fue significativamente diferente entre el uso de suelo Urbano y todos los demás. Y no fueron significativamente diferentes Pradera de alta montaña, Forestal, Forestal perturbado y Agrícola-Forestal; ni el uso Agropecuario con el Recreativo-Forestal y el Agrícola-Forestal.

Según el porcentaje de materia orgánica se clasificaron como suelos volcánicos con muy alto nivel de MOS los siguientes usos: Pradera de alta montaña, Forestal, Forestal perturbado, Recreativo-Forestal y Agropecuario; el uso Agrícola-Forestal como suelo volcánico con nivel medio de MOS y el de uso Urbano como suelo volcánico con alto nivel de MOS. La menor

variación para COS y MOS se registró en el uso de suelo Agrícola-Forestal y la mayor en el uso de suelo Urbano.

El porcentaje de nitrógeno fue significativamente diferente entre los usos Urbano y Recreativo-Forestal, con todos los demás. Se encontró ausencia de diferencias significativas entre Pradera de alta montaña, Forestal perturbado, Agrícola-Forestal y Agropecuario en un primer grupo y en el segundo grupo entre los usos Forestal, Forestal perturbado y Agrícola-Forestal. Los niveles de nitrógeno disminuyen de la Pradera de alta montaña al Recreativo-Forestal, aumentan en los usos Agrícola-Forestal y Agropecuario y disminuye significativamente en el Urbano, pero mantiene el mayor coeficiente de variación.

La concentración de fósforo asimilable fue diferente de forma significativa entre la Pradera de alta montaña y todos los demás usos de suelo. El uso Agrícola-Forestal no presentó diferencias con el Forestal, el Forestal perturbado y el Agropecuario. Así como, no hubo diferencias significativas entre el Recreativo-forestal, el Agropecuario y el Urbano. La concentración promedio aumentó desde el uso como Pradera de alta montaña al Recreativo-Forestal y disminuyó en promedio en el Agrícola-Forestal para incrementarse en el Agropecuario; el uso de suelo que registró las mayores concentraciones y tuvo la mayor variación fue el Urbano.

INDICADORES HÍDRICO-EDÁFICOS DE CALIDAD PARA AMBIENTES RIBEREÑOS DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA "LOS VOLCANES"

Tabla 4.5 Valor promedio, máximo, mínimo y coeficiente de variación de las variables edáficas para cada Uso de suelo identificado.

Uso de suelo		Altitud	T° Suelo	CE S	pH S	D Ap.	% E. P.	% Hum S	% MOS	% COS	% N total	C:N S	Fósforo extractable	Veloc. C.	Caudal	Tipo de suelos dominantes
Pradera de alta montaña	Prom.		9.73	0.12	5.17	0.68	79.20	45.47	8.60	4.96	0.245	24.06	8.29	0.387	0.3500	Regosol déstrico-Litosol-Andosol mólico
	Máx.	4058	12	0.31	5.76	1.31	96.35	65.2	22.99	13.37	0.39	133.42	50.70	1.039	0.2036	
	Mín.	3832	6	0.05	4.2	0.11	50.60	32.3	3.28	1.77	0.03	8.24	0.15	0.051	0.0002	
	Coef. Var. %	1.62	16.80	64.7	8.09	51.73	16.83	35.36	60.93	61.74	36.13	108.18	121.60	53.09	146.86	
Forestal	Prom.		8.28	0.14	5.49	0.74	70.60	33.72	8.89	5.14	0.289	23.15	12.99	0.415	0.0820	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol
	Máx.	3871	13	0.48	6.53	1.35	93.30	58.2	24.08	14	0.69	210.05	40.97	2.76	1.2744	
	Mín.	3520	5	0.03	4.18	0.18	43.39	0.09	1.85	1.07	0.02	4.12	0.01	0.103	0	Regosol déstrico-Litosol-Andosol mólico
	Coef. Var. %	2.68	23.2	87.3	12.37	34.38	15.50	50.4	54.31	51.3	63.64	84.69	70.99	92.09	233.55	
Forestal perturbado	Prom.		8.71	0.17	5.42	0.81	65.02	58.15	8.05	4.60	0.271	23.49	18.68	0.432	0.0940	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol
	Máx.	3745	28	0.72	6.20	1.92	95.00	99.7	26.8	15.58	0.92	95.56	40.76	1.500	1.0204	
	Mín.	2889	3	0.02	4.44	0.13	35.09	17.6	2.15	1.16	0.04	5.47	4.5	0.065	0.0004	Regosol déstrico-Litosol-Andosol mólico
	Coef. Var. %	8.79	79.51	106.3	9.41	38.97	27.16	41.28	43.63	44.69	58.03	79.29	45.37	81.53	201.383	
Recreativo - Forestal	Prom.		9.02	0.15	5.45	0.90	66.49	57.68	6.66	3.74	0.151	34.48	26.44	0.353	0.0890	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol
	Máx.	3571	14.6	0.44	6.56	1.49	87.53	89	19.53	10.44	0.32	160.13	51.21	0.763	0.3182	
	Mín.	2504	6	0.03	4.20	0.33	43.70	6.63	0.93	0.54	0.03	10.47	1.44	0.036	0.0017	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico
	Coef. Var. %	9.33	25.57	92.3	9.46	28.57	14.53	47.62	53.92	50.19	55.07	90.85	66.85	43.38	83.75	
Agrícola - Forestal	Prom.		15.24	0.08	5.47	0.81	53.82	56.98	8.14	4.60	0.267	18.27	11.29	0.546	0.818	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol
	Máx.	2720	18	0.26	6.19	0.99	73.15	60.5	9.28	5.02	0.39	26.28	17.52	0.818	3.5400	
	Mín.	2095	10.2	0.03	4.2	0.64	26.03	53.9	5.55	3.22	0.19	9.47	1.4	0.215	0.0100	
	Coef. Var. %	6.68	25.20	98.5	10.38	16.02	32.43	3.22	12.38	10.47	23.40	27.65	39.86	38.330	185.92	
Agropecuario	Prom.		14.58	0.31	5.91	0.92	67.57	54.81	6.72	3.85	0.249	17.98	21.89	0.467	0.1350	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico
	Máx.	2463	28	1.10	7.04	1.5	82.96	82	17.8	10.35	0.66	63.75	57.36	3.100	1.4082	
	Mín.	1987	8.2	0.11	4.58	0.4	55.39	9.4	0.08	0.04	0.05	0.22	4.28	0.063	0.0013	Cambisol eútrico-Andosol mólico-Litosol
	Coef. Var. %	7.84	35.51	98.8	11.77	21.88	10.56	36.66	57.22	58.63	47.07	90.98	69.49	115.22	200.51	
Urbano	Prom.		14.26	0.31	6.39	1.00	63.28	45.23	3.34	1.69	0.113	27.04	23.14	0.583	0.9500	Regosol eútrico-Andosol ócrico-Andosol mólico
	Máx.	3871	16	1.10	8.25	1.5	88.44	75.4	11	4.64	0.34	281.62	200	7.012	26.400	
	Mín.	2120	11	0.04	5.65	0.31	51.74	23	0.08	0.04	0.01	0.22	0.14	0.150	0	Cambisol eútrico-Feozem háplico-Fluvisol eútrico
	Coef. Var. %	16.70	10.79	98.8	10.25	25.81	19.25	27.97	85.12	76.71	83.41	120.66	185.20	187.40	468.74	
Total	Prom.		10.06	0.19	5.59	0.84	67.99	50.51	7.38	4.23	0.236	24.28	17.62	0.440	0.2200	
	Máx.	4058	28	1.1	8.25	1.92	96.35	99.7	26.8	15.58	0.92	281.62	200	7.012	26.400	
	Mín.	1987	3	0.02	4.18	0.11	26.03	0.09	0.08	0.04	0.01	0.22	0.011	0.036	0	
	Coef. Var. %	17.59	46.27	112.4	12.24	34.18	20.69	41.41	58.67	58.83	63.36	95.96	105.44	120.92	750.21	

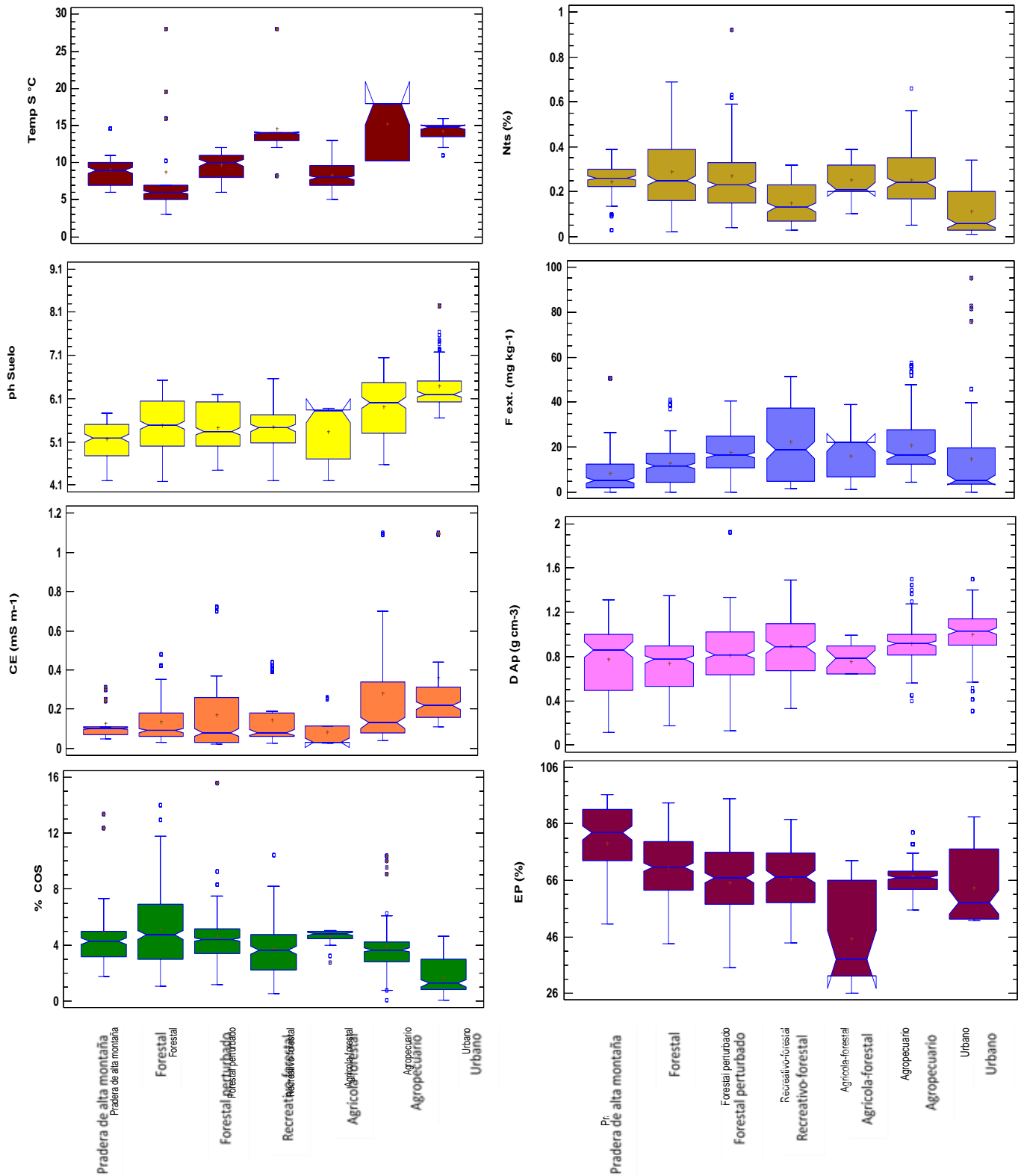


Figura 4.19 Variación de cada uno de los parámetros en función del Uso de suelo

Posteriormente, se presentan los diferentes mapas temáticos, con la finalidad de dar a conocer la información obtenida de manera práctica y accesible a los diferentes sectores de la población y mostrar la distribución espacial de las propiedades del suelo más relevantes para este estudio.

En la Figura 4.20, se pueden identificar los cambios de textura a través de los porcentajes de arena, limo y arcilla en los suelos para ambas cuencas. Identificando la distribución granulométrica y como varía de acuerdo a la ubicación y el uso de suelo.

La comparación espacial del espacio poroso, el pH y la conductividad eléctrica en los suelos se visualiza en la figura 4.21, en el mapa se pueden identificar los sitios donde el espacio poroso ha disminuido por efecto de la compactación, los lugares donde la conductividad eléctrica ha aumentado por la cantidad de sales en el suelo, lo que puede favorecer su salinización, detectando que en el caso del pH, hay mayor acidez en los bosques de pino.

En la Figura 4.22, se muestra la distribución espacial de tres parámetros muy importantes para la calidad del suelo: el porcentaje de COS, de nitrógeno total y la cantidad de fósforo extractable o asimilable. La combinación de estas tres variables brinda valiosa información sobre la calidad del suelo, su productividad y aquellos sitios que necesitan ser sometidos a estrategias de manejo específicas para evitar su deterioro.

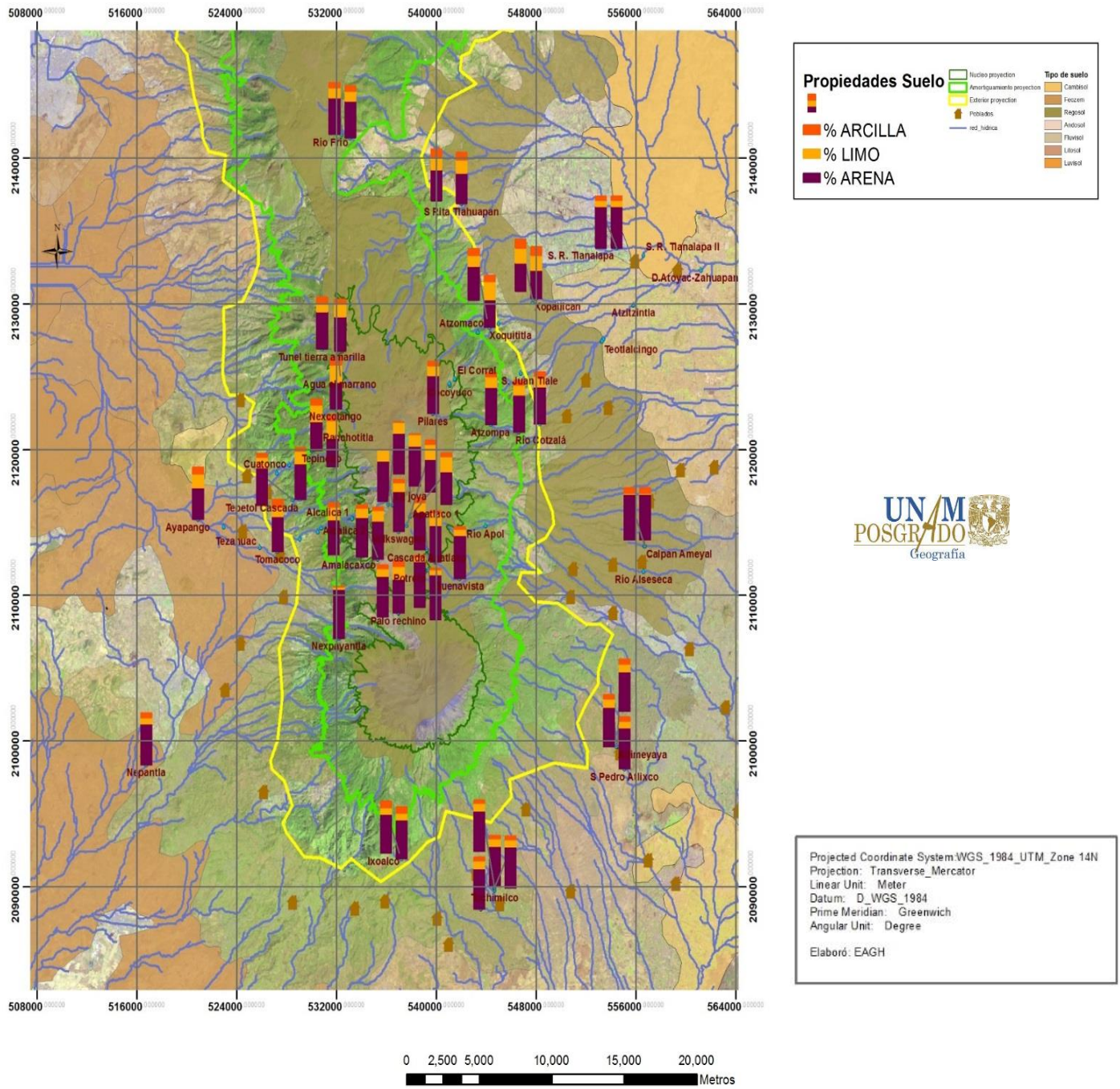


Figura 4.20. Representación espacial de los porcentajes de Arena, limo y arcilla, que definen la textura

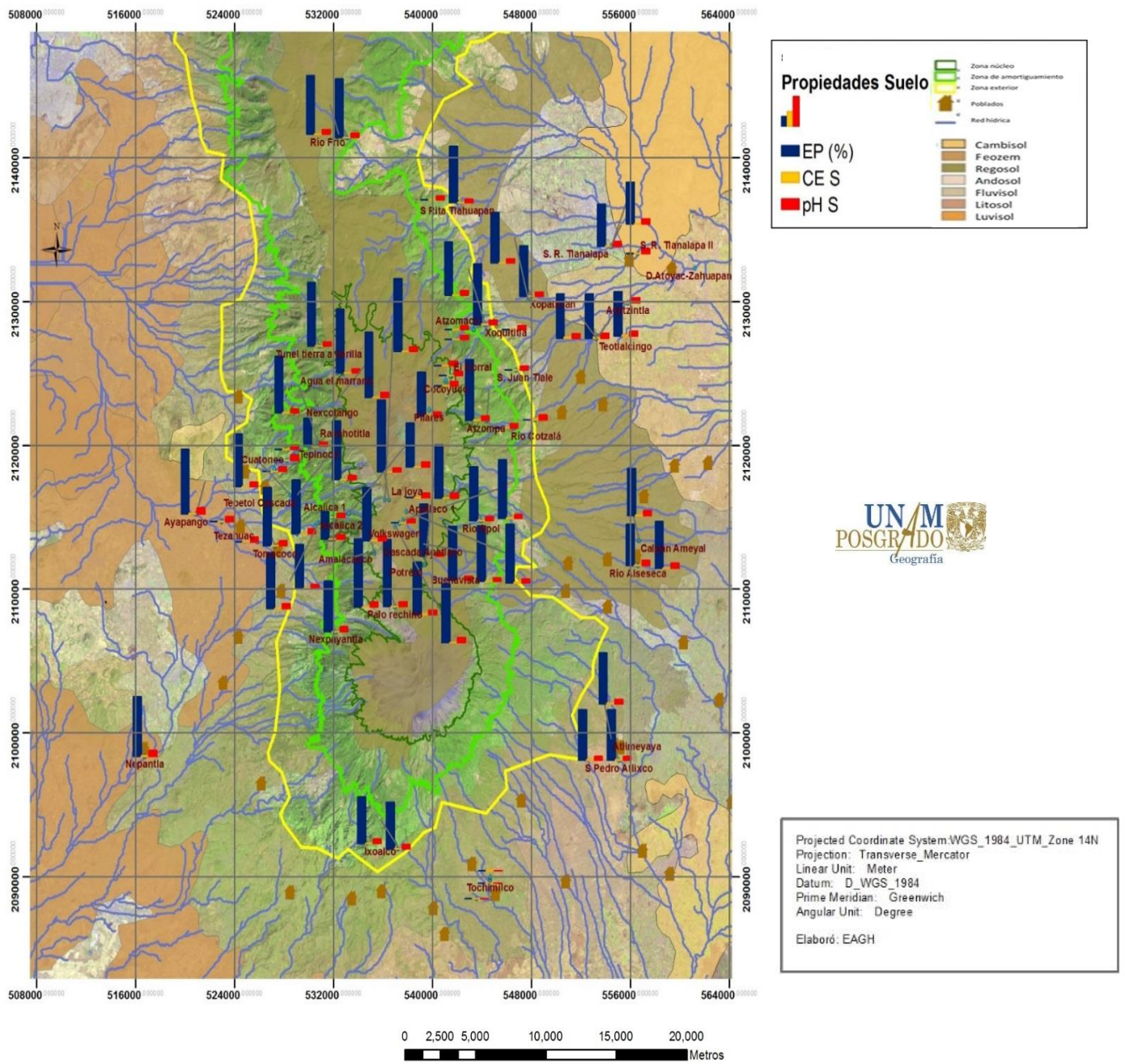


Figura 4.21 Representación espacial del Espacio poroso, conductividad eléctrica del suelo RBLV

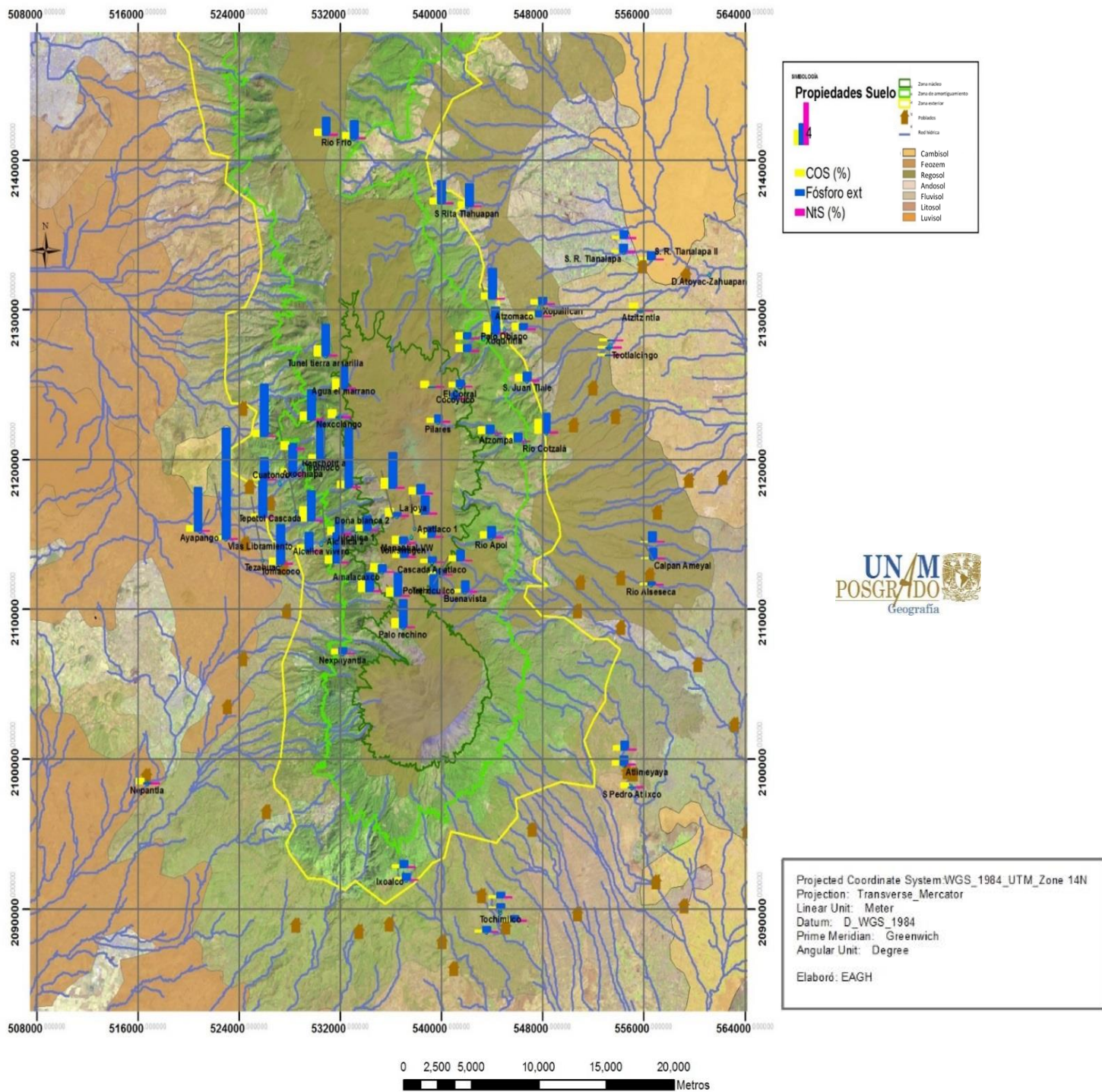


Figura 4.22 Representación espacial del Carbono orgánico, Fósforo extractable y Nitrógeno total del suelo RBLV

Después de realizado el análisis del comportamiento, de acuerdo, a la cobertura vegetal y el uso de suelo que predomina en cada sitio y haber plasmado la representación espacial de algunos de los resultados, se retomó el análisis de correlaciones múltiple realizado y seleccionaron los parámetros con mayor significancia en las correlaciones, evitando las variables colineales, como resultado de eso se seleccionaron las nueve variables más significativas para realizar un análisis de componentes principales (ACP) (Tabla 3.3). El resultado del ACP arrojó la conformación de tres componentes que explican la variabilidad del sistema en un 60.521%.

En la tabla 4.6 se muestran las variables que conforman cada uno de los componentes y en la figura 4.23, su asociación vista en el plano. Identificadas las variables para cada componente y sus coeficientes se procedió a calcular los componentes 1, 2 y 3; cabe mencionar que estos coeficientes fueron estandarizados por sustracción de las medias y su división entre la desviación estándar.

Tabla 4.6 Pesos de los componentes

Variable	Componente 1	Componente 2	Componente 3
% Are	0.569888	0.189672	0.158319
COS (%)	-0.349316	0.477276	0.0718604
EP (%)	0.201999	0.551974	0.0167659
Nts (%)	-0.559278	0.186491	0.0589542
CE	-0.179741	-0.537519	0.291391
F ext.	-0.322935	0.211732	-0.351742
pH S	0.243969	0.0348031	-0.558364
Vel. C	0.0591298	0.248615	0.667542

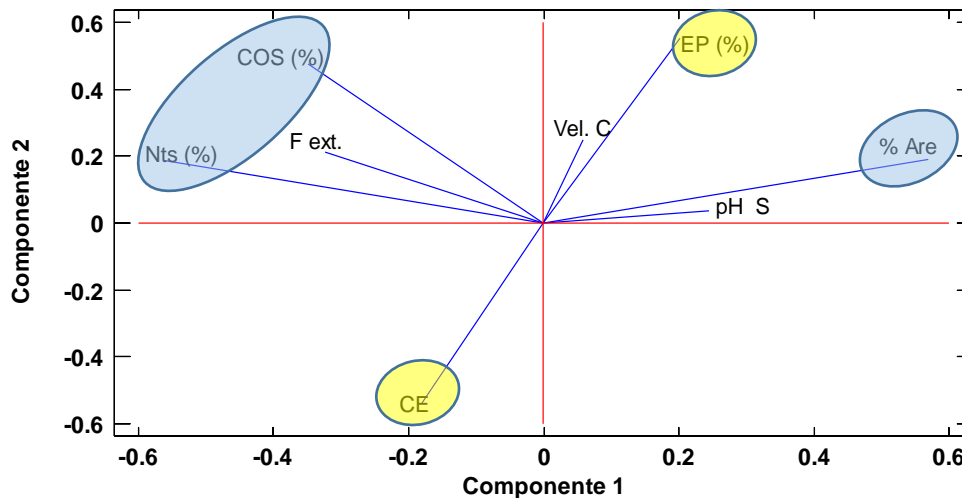


Figura 4.23 Representación gráfica de los componentes principales 1 y 2

Posteriormente se utilizó el ArcMap 10.3 con los valores calculados y se hizo un análisis geoespacial mediante la distancia inversa ponderada (IDW) y se generaron los mapas que indican las zonas de diferente calidad edáfica de acuerdo a la información generada y el procesamiento estadístico de los datos.

En la figura 4.24, se muestra la zonificación con base en los parámetros del primer componente a través del análisis geoespacial, las áreas oscuras, indican aquellas donde la cantidad de COS y Nts se encuentran en niveles adecuados e indican suelos productivos, que por su porcentaje de arena tienen muy buen drenaje, conforme se presenta el cambio el color va disminuyendo hasta las zonas más claras, donde los suelos son poco productivos ya que los porcentajes de carbono y de nitrógeno son bajos y la retención de humedad es mayor por la cantidad de arcilla.

La zonificación de acuerdo al segundo componente (Fig. 4.25) indica en colores oscuros las zonas que tienen bajo porcentaje de espacio poroso y mayores valores de conductividad eléctrica por la mayor cantidad de sales en el suelo, según disminuye la graduación del color hacia tonos más claros el porcentaje de espacio poroso aumenta y la conductividad disminuye.

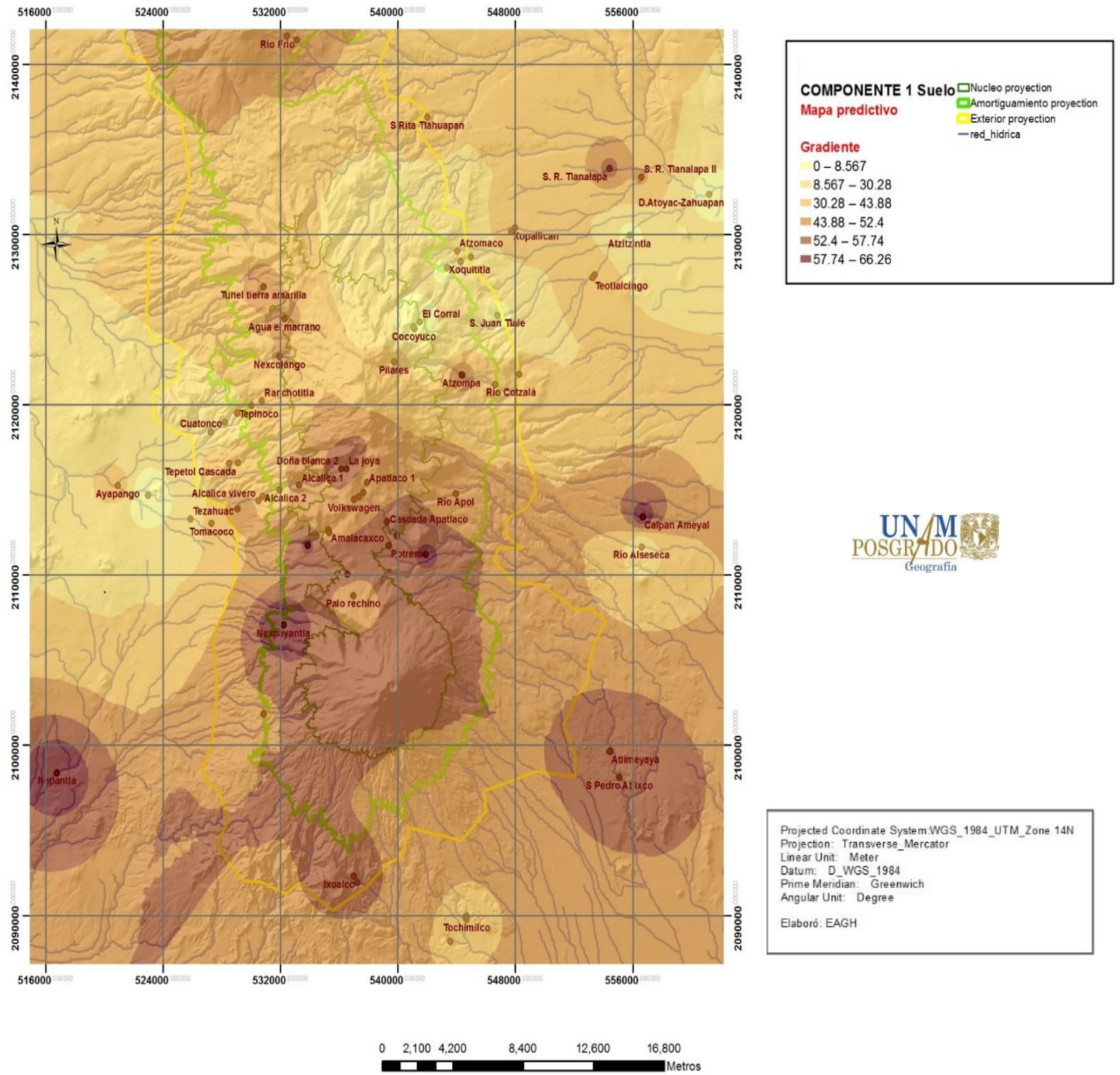


Figura 4.24. Representación espacial del primer componente del suelo

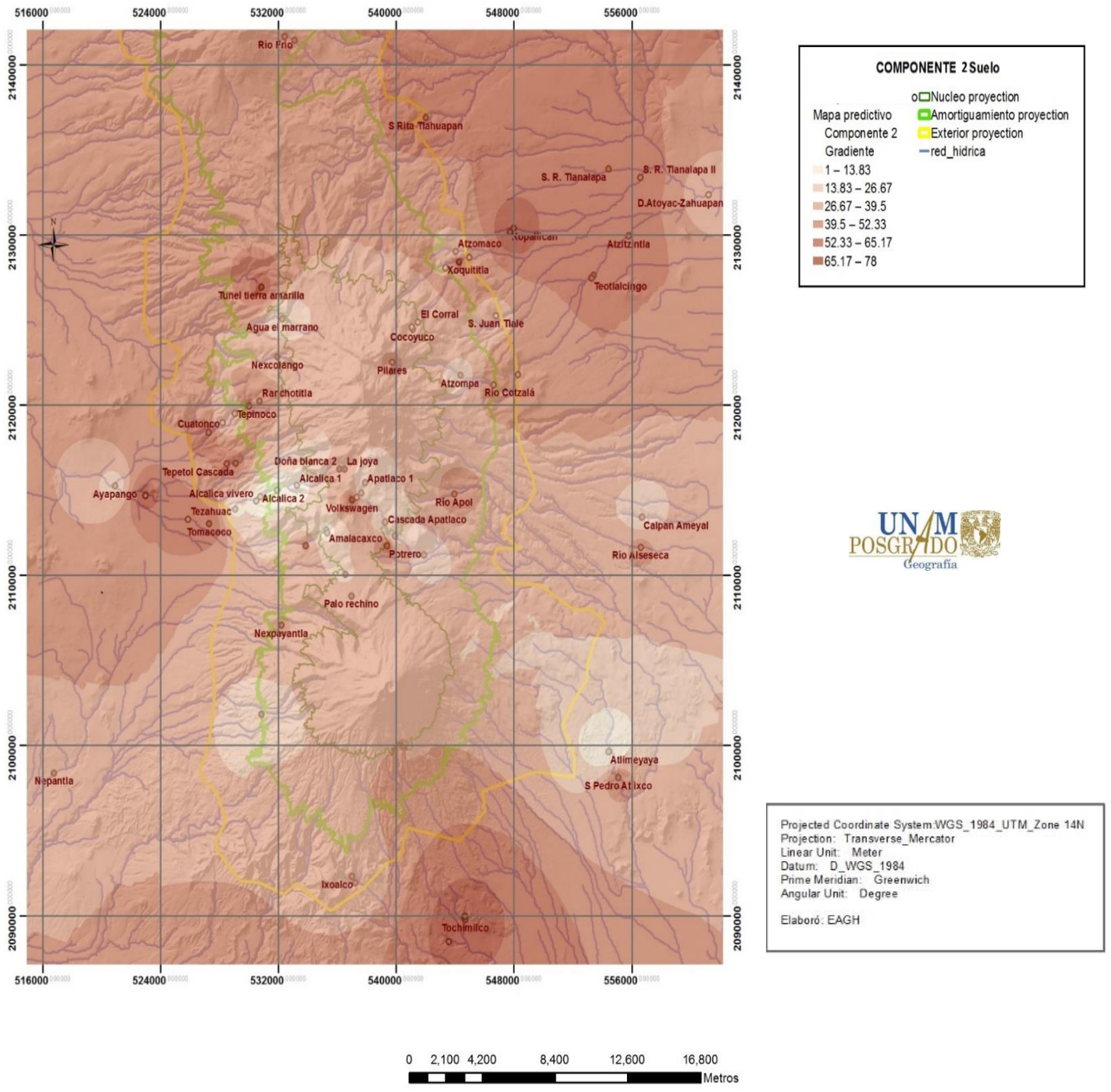


Figura 4.25. Representación espacial del segundo componente del suelo

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

De acuerdo con la textura, el mayor porcentaje de los suelos de la RBLV, lo constituyen los suelos franco-arenosos, esto favorece el crecimiento y reproducción de las especies tanto arbóreas como arbustivas, el drenaje en estos suelos es bueno, tienen habilidad para la retención de nutrientes, su aireación es buena lo que favorece el mantenimiento y desarrollo de la fauna edáfica que además ayuda a la absorción de nutrientes. El otro porcentaje importante es de suelos arenosos-francos, su mayor porcentaje de arena, hacen que tengan menor retención de humedad y de crecimiento de fauna edáfica, por lo tanto, las especies que se desarrollan en el deben tener mayor capacidad de retención de humedad y de anclaje al sustrato, ya que son suelos con mayor facilidad para ser lavados y erosionados, esto repercute en la contaminación de las corrientes superficiales por el aporte de sedimentos y nutrimentos que tienen una menor tasa de retención, que impide su adecuada absorción por la vegetación (Chadwick, et al. 2003; Sánchez, López, Granados, 2003; Harper et al., 2000). Los suelos Francos y Franco-limosos que se encuentran en menor proporción y e inmersos en zonas de cultivo y urbanizadas, tienen una gran saturación de agua, con drenaje medio, permiten la acumulación de materia orgánica y por lo tanto los procesos de degradación continua, con emisión ocasional de olores sulfurosos y la aportación de nutrimentos al agua, así como materia orgánica, en estos sitios hay tendencia a anegarse si la precipitación pluvial es muy intensa, en las zonas de baja pendiente, en el sitio de San Felipe Teotlalcingo, este proceso podría contaminar el agua del manantial aledaño.

El comportamiento térmico del suelo registró un descenso de temperatura de la zona montañosa más alta donde domina el Pastizal montano, a la zona Forestal, lo que se explica por el grado de insolación y la falta de sombra que proporciona el estrato arbóreo. A partir de la zona forestal el comportamiento fue el esperado con un aumento térmico edáfico gradual, conforme se desciende en altitud. Las áreas que presentaron temperaturas un poco más bajas fueron las de los manantiales por la humedad que mantienen y la protección natural o artificial que se les da.

La temperatura del suelo presentó incrementos mínimos entre las coberturas Pastizal montano/B de pino, Bosque de pino y Bosque mixto. Y se incrementó significativamente en las coberturas agrícola, urbana y de manantiales que no presentan estrato arbóreo dominante que da sombra y minimiza la radiación solar sobre el suelo.

El comportamiento de la temperatura del suelo analizado de acuerdo a los usos muestra un patrón de comportamiento diferente. Se presentaron incrementos significativos de temperatura en el suelo de uso Forestal, al Forestal perturbado y al Recreativo forestal; y otro bloque de incrementos significativos del uso Agrícola-Forestal al Agropecuario y al Urbano, el uso de suelo con mayor variación térmica en el suelo fue el Agropecuario. Estos incrementos obedecen a las temperaturas superiores que se presentan en el descenso altitudinal, pero también al tipo de cobertura que favorece o impide la insolación y al manejo que se le da al suelo en los sitios con diferente uso, la presencia de reacciones exotérmicas en el suelo o la ausencia de reacciones químicas en suelos muy erosionados, donde el viento y el agua transportan el material suelto y dejan suelo cada vez más desnudo.

El pH presentó un amplio intervalo de variación entre 4.18 y 8.25. El pH del suelo en las zonas forestales fue fuertemente ácido, esto favorecido por la presencia del Bosque de pino

que tiene un carácter ácido, sobre todo en la hojarasca que influye directamente en el pH del suelo. Por otro lado, las descargas agrícolas y domésticas favorecen el incremento del pH lo que se refleja en suelos neutros o moderadamente alcalinos en las zonas bajas.

En las diferentes coberturas, las reacciones de continua degradación de material orgánico generan variaciones en el pH del suelo. La cobertura de Pastizal montano tuvo un coeficiente de variación bajo en cuanto al pH y su promedio subió al encontrarse en el ecotono con el Bosque de pino. De la cobertura del Bosque de pino a la Urbana subió el pH promedio de manera gradual lo que se explica por dos razones la disminución de pinos en el estrato arbóreo y el incremento de fertilizantes residuales, descargas o riego con aguas contaminadas y desechos sólidos conforme se desciende en la montaña. Las coberturas con mayor variación fueron el bosque mixto por la diversidad de especies que alberga y la agrícola por los materiales residuales que se incorporan al suelo.

El valor de pH en los diferentes usos de suelo tuvo una tendencia promedio a incrementar desde el uso de Pradera de alta montaña hasta el Urbano, como consecuencia del manejo de suelos y la incorporación de residuos sólidos y líquidos de las actividades antrópicas que se llevan a cabo en cada uso de suelo, los usos del suelo que causaron mayor impacto en el pH del suelo fueron el Agropecuario y el Urbano, que presentaron suelos neutros y moderadamente alcalinos respectivamente. Los usos de suelo que mostraron mayor variación interna fueron el Forestal y el Agropecuario.

La conductividad eléctrica del suelo es una medida indirecta de la cantidad de iones que se encuentran en él y permite inferir su salinidad, que en este caso es despreciable para la mayoría de los suelos de la RBLV. Las coberturas del suelo causaron bajo impacto sobre la conductividad eléctrica principalmente en las coberturas Agrícola y de Manantial, en las cuales se encontraron suelos ligeramente salinos. En cuanto al efecto del uso del suelo en este parámetro se observó que en los usos Agropecuario y Urbano se incrementó ligeramente la salinidad, sin que esto represente ningún problema para el ecosistema.

El porcentaje de Humedad de los suelos de la RBLV, varió en función de la estacionalidad por lo que se registró humedad en un intervalo entre 0.09 y 99.7%. No se encontraron diferencias significativas en la variación de la humedad del suelo ni entre las diferentes coberturas, ni en los diferentes usos de suelo, por lo que se puede decir que no hay una afectación hasta el momento por los cambios en el uso de suelo.

La densidad aparente promedio de los suelos de la RBLV estudiados, confirma que en su mayoría (70%) se conservan como suelos volcánicos-orgánicos, 23% son suelos minerales arcillosos y 7 % suelos minerales francosos. Al hacer el análisis de este parámetro por cobertura se observó que en todas las cobeturas hubo presencia de suelos minerales. La Densidad aparente del suelo si presentó diferencias significativas en cuanto a la cobertura del suelo a la cual estaba asociada, se presentó mayor variación en cuanto densidad del suelo en la cobertura de Patizal montano/B. de pino y menor variación en la cobertura Urbana. La cobertura urbana fue la que estadísticamente tuvo una mayor densidad aparente. Con respecto al comportamiento de la Densidad aparente en los usos de suelo, se registraron diferencias significativas entre ellos. Las menores variaciones en los suelos se registraron en los usos Agropecuario y Urbano, que presentaron en promedio las mayores densidades, como consecuencia de las diferentes actividades agrícolas, de ganadería y de urbanización que se realizan en las zonas bajas.

El porcentaje de Espacio poroso en los suelos de la RBLV fluctuó entre 26.03 y 96.35, con una tendencia clara a disminuir conforme descendemos altitudinalmente y se modifica la

vocación del suelo. Si se presentaron diferencias significativas en el espacio poroso de las coberturas, las que presentan suelos menos compactados son el Pastizal montano y el B. de pino/Pastizal montano, con diferencias significativas entre ellos. La mayor compactación se presentó en los suelos asociados a los manantiales. Como era de esperarse el comportamiento entre los usos de suelo también mostró diferencias significativas con un descenso gradual desde el Pastizal montano al uso Agrícola-Forestal, que fue el que presentó los más bajos porcentajes y la mayor variabilidad, como resultado del tratamiento diferencial que se les da a los suelos que se cultivan en áreas con bosque fragmentado.

La materia orgánica del suelo es la mayor reserva de carbono orgánico en a nivel mundial, que no está libre de verse afectada por las perturbaciones ambientales en el edafón y los mecanismos de captura de carbono en este compartimento, ya que es una de las variables más importantes para definir la calidad, la productividad, la salud y la recuperación de los suelos (Gallardo, 2017a). Los suelos en esta Reserva como se ha mencionado son suelos volcánicos que se encuentran en toda la gama de la clasificación con base en su porcentaje de MOS (SEMARNAT, 2000). La cobertura con menor variabilidad fue el Bosque de pino que tuvo suelos que van de bajo a alto contenido de MOS. La cobertura urbana en donde la reducción de la vegetación es muy alta, hay mayor compactación del suelo, construcción de mayor número de caminos, reducción de la presencia de fauna silvestre y mayor cantidad de residuos sólidos lo que genera que esta cobertura sea la que tiene menor porcentaje de MOS y COS con suelos con nivel bajo a medio según la clasificación de la norma oficial mexicana (SEMARNAT, 2000). Los porcentajes de MOS y COS se incrementaron de la cobertura de Pastizal montano al ecotono entre B. de pino/Pastizal montano, posteriormente a partir de esta cobertura se dió un descenso gradual de estos parámetros hasta la cobertura Urbana, haciendo mención que entre estas coberturas si se presentaron diferencias significativas. En la zona de cobertura por manantiales también se presentaron suelos con porcentaje de MOS desde muy bajo a muy alto, lo cual habla de variabilidad natural ya que las zonas con cobertura de manantiales están protegidas natural o artificialmente. Sutfin, Wohl y Dwire, (2016), reportaron que las condiciones saturadas y temperaturas frías, típicas de ambientes de montaña, limitan la descomposición y el metabolismo microbiano del CO. Esta relación fue más evidente a través de la correlación encontrada entre el CO probablemente y el contenido de humedad residual que queda en la mayoría de los suelos ribereños.

Por otro lado, la cantidad de MOS y COS fue diferente significativamente en los distintos usos de suelo. En los usos de suelo Forestal, Forestal perturbado y Recreativo-Forestal se presenta mayor variabilidad de estos parámetros de manera natural. La menor variabilidad se registró en el uso Agrícola-Forestal con suelos clasificados con nivel bajo y medio de MOS, como efecto del aprovechamiento y mineralización continua de la materia orgánica. Los resultados obtenidos demuestran que aunque existe una gran diversidad en cuanto a su contenido de carbono orgánico, los suelos de la RBLV cumplen su función de almacenadores de carbono orgánico de manera muy relevante, la conservación de estos suelos y la rehabilitación de aquellos que han sufrido perturbaciones ambientales permitirá asegurar que la RBLV sería uno de los centros de captura y almacenaje de carbono orgánico más importantes en la región centro del país, dado que los ecosistemas ribereños suelen almacenar carbono orgánico en biomasa de la vegetación riparia, madera y hojarasca en la capa superficial, suelo y sedimento e incluso en flora y fauna acuática (Sutfin et al., 2016).

Los suelos de los sitios estudiados presentaron en promedio un bajo porcentaje de nitrógeno total, sin embargo la mayor variabilidad en cuanto a este parámetro, se registró

en las coberturas de B.de pino/Pastizal montano en donde hubo presencia de suelos con un nivel medio de nitrógeno total y Bosque mixto en donde se registraron sitios con alto porcentaje de nitrógeno total, aunque estos casos fueron atípicos con respecto al comportamiento de los suelos en cada cobertura.

El porcentaje de nitrógeno total fue significativamente diferente en los usos de suelo identificados. En los sitios con uso de suelo Forestal y Forestal perturbado fue donde se presentó la mayor variabilidad y los valores atípicos con concentraciones de nitrógeno total de nivel medio y alto respectivamente.

El fósforo disponible en los suelos de la RBLV, se presentó en toda la gama de acuerdo a la clasificación que presenta la norma oficial mexicana (SEMARNAT, 2000). Este parámetro tuvo diferencias significativas entre las coberturas, con su menor concentración en Bosque de pino y la más alta como parte de los valores atípicos en la cobertura urbana. Los usos de suelo también tuvieron diferencias significativas en cuanto a este parámetro, mostrando una tendencia al incremento del uso como Pradera de alta montaña al Recreativo-Forestal, uso que, además, mostró la mayor variabilidad; el uso de suelo que registró las concentraciones más altas de fósforo extractable fue el urbano.

En ambos casos la cobertura y el uso de suelo con urbanización son en donde se presentaron los sitios con las mayores concentraciones de fósforo y son atribuibles a la irrigación de los suelos ribereños con descargas de aguas residuales, a la presencia excesiva de desechos orgánicos de procedencia diversa (vegetales, animales y humanos) y el arrastre de residuos de fertilizantes de la cobertura inmediata anterior.

El mapa del primer componente integrado por tres variables da como resultado seis clases de suelo, en donde se observó que hay zonas marcadas con colores más oscuros que presentan concentración adecuada de COS, de Nts y fósforo extractable, representadas en zonas de Pradera de alta montaña y bosques, pero también algunas zonas urbanas con presencia de manantiales cercanos las zonas más claras se obtuvieron las menores concentraciones de Nts, fósforo extractable y COS localizadas principalmente en zonas perturbadas y de usos agropecuario y urbano.

El segundo componente conformado por dos variables que tienen una relación inversa muestra en zonas con la gama de color claro aquellas con conductividades eléctricas bajas y porcentaje de espacio poroso superior y zonas con tonos más oscuros que representan altas conductividades y bajo porcentaje de espacio poroso.

CONCLUSIONES

- La caracterización de los suelos ribereños de la RBLV y su zona de influencia indica de forma clara el estado y salud de los suelos en los ecosistemas ribereños y los factores que los alteran.
- La selección de seis variables a partir de las catorce registradas inicialmente, a través de la correlación múltiple y el ACP considerando la variabilidad explicada en un 60% es importante para la síntesis de información y dar un seguimiento más puntual y rápido a los cambios en la calidad del suelo
- Las variables más sensibles a los cambios en la cobertura y uso del suelo fueron temperatura, pH, conductividad eléctrica, porcentaje de espacio poroso, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo extraíble.
- Las coberturas vegetales que tuvieron mayor influencia en las propiedades físicas y químicas del suelo fueron Bosque de pino/Pastizal montano, Agrícola, Urbana y de Manantiales.
- Los usos de suelo que tuvieron mayor impacto en las propiedades del suelo fueron: Forestal, Recreativo-Forestal, Agrícola-Forestal y Urbano.
- El primer componente extraído a partir del ACP, es acertado ya que incluye dos parámetros que hablan de la calidad nutrimental de los suelos el carbono orgánico y el nitrógeno, además del porcentaje de Arena que indica las condiciones de drenaje, aireación y soporte a la vegetación de los suelos.
- El segundo componente integrado por la conductividad eléctrica y el espacio poroso es indicativo de la aireación y saturación de agua en el suelo, así como la presencia de sales y su fluctuación para evitar a futuro suelos salinos, ya que en este momento la salinidad no es un problema en estos suelos volcánicos.
- En el caso del tercer componente se resalta la importancia únicamente de la velocidad de corriente, que tiene una relación fundamental con la distribución nutrimental y con la concentración de sales en el suelo.

Capítulo 5

Indicadores hídrico-edáficos de calidad para ambientes ribereños de montaña

INTRODUCCIÓN.

Los ecosistemas y ambientes naturales se encuentran en transformación continua, por lo que se reconocen como altamente dinámicos; sin embargo, la velocidad a la que estos cambios suceden puede ser variable, algunos se desarrollan muy lentamente y pueden llevar miles de años como son los cambios geológicos y otros como los químicos pueden suceder en milésimas de segundo. Para poder registrar la magnitud del cambio o el estatus en que se encuentra el sistema, es necesario contar con información clave o datos específicos que reflejen esa situación o estado y se han denominado indicadores.

Un indicador se registra en un momento y espacio determinados para establecer el estatus del sistema en cuestión o bien durante un periodo de tiempo para identificar las tendencias y su evolución en el tiempo y el espacio (Martínez, 2010).

Esto convierte a los indicadores en una herramienta poderosa para la valoración de situaciones o estatus del sistema en cuestión, lo que permite detectar riesgos y tomar decisiones con base en información clara y precisa. Los indicadores son elementos concretos o abstractos que muestran el desarrollo que tiene un proceso, un fenómeno, un sistema natural o artificial o una institución con respecto a un referente. En las diferentes disciplinas se generan indicadores específicos para cumplir metas u objetivos concretos. Los indicadores utilizados en las ciencias fácticas, naturales y exactas deben ser mucho más concretos, regulables y mensurables (Bell, y Morse, 2012).

En la mayoría de los casos no basta con un solo indicador para realizar una evaluación completa de un sistema, sino que se requieren varios indicadores como pueden ser porcentajes, tasas o variables que sintetizan información sobre un conjunto de datos complejos y que deben satisfacer criterios de claridad, representatividad, calidad y fiabilidad.

De forma regular, se llevan a cabo diagnósticos y monitoreo de los sistemas acuáticos y se identifica su problemática y evolución, para hacer las intervenciones pertinentes y evitar

que los sistemas sufran un mayor deterioro, lograr esto es resultado de un trabajo conjunto y coordinado con la voluntad de conservar los ecosistemas y no solo de explotarlos hasta su límite; sino preservarlos en buenas condiciones para que los servicios ecosistémicos que brindan sean sostenibles y puedan beneficiar también a las futuras generaciones.

La condición en que se encuentran los ecosistemas ribereños no depende solo de la cantidad y calidad del agua, también depende de las condiciones en que se encuentra el suelo adyacente de la orilla y la ribera, ya que estos ecosistemas tienen una interdependencia e interacción continua y los factores que alteran el ecosistema terrestre, modifican de la misma manera el acuático y viceversa.

Se han generado índices de calidad del agua, del suelo y de sistemas ribereños con un enfoque biótico (vegetación y macroinvertebrados) pero hasta el momento no hay índices o indicadores que de manera integral muestren el estatus hídrico-edáfico de estos ambientes ribereños, que son la base de la diversidad biológica que en ellos se desarrolla.

Es por ello, que este trabajo, está enfocado a identificar variables significativas y generar indicadores que sinteticen y reflejen la condición o calidad que presentan los ecosistemas ribereños desde el punto de vista hídrico-edáfico

MARCO TEÓRICO

INDICADORES

La información clave que usamos o generamos para conocer el estado en que se encuentra un objeto o un proceso, para analizar su comportamiento en el tiempo, el espacio o bajo la influencia de determinados factores, para tomar una decisión, es un indicador (Armijo y Pública, 2009; Quiroga, 2009)

A través del tiempo, en distintas disciplinas se han generado múltiples tipos de indicadores, con base en los objetivos que se persiguen y la necesidad de comparar la información a nivel local, regional, nacional o internacional.

A nivel mundial existen organismos internacionales que regulan en algunos casos o marcan la tendencia en los indicadores que pueden ser utilizados en diferentes temáticas, como salud, bienestar social, ambiente, desarrollo sostenible, etc. Cuando se utilizan indicadores la finalidad es condensar o simplificar al máximo la información que se obtiene a partir de datos complejos, pero que debe representar el comportamiento conjunto con claridad, de tal manera que su evolución y tendencias permitan detectar los riesgos emergentes, a corto o mediano plazo, para adoptar medidas adecuadas y evitar daños.

Los indicadores, deben responder fielmente a los cambios en los datos primarios o variables, por lo cual su valor debe ser actualizado de manera dinámica cada vez que se modifican sus fuentes (Pérez, 2002). También es importante que el análisis de los indicadores se haga en distintos ejes de acuerdo a lo que se persigue, la distribución espacial, su situación geográfica, la temporalidad, la estacionalidad, etc.

Desde 1996, diversas agencias internacionales como: FAO, PNUMA, SCOPE, WRI, Eurostat, así como, el Banco mundial han propuesto y manejado el uso de indicadores como resultado de la preocupación por supervisar los recursos naturales a nivel mundial y tener herramientas para asignar recursos presupuestales con base en la información de cada país, para lo cual los indicadores juegan un papel primordial. En pro de la sostenibilidad es indispensable cambiar la forma de hacer las cosas, contar con información durante periodos de tiempo largos y dar seguimiento a los cambios que se presentan en el territorio en corto, mediano y largo plazo e identificar tendencias y transformaciones, que permitan modificar la forma de tomar decisiones y asignar recursos.

Con base en esto, es importante plantear una estrategia de pasos secuenciales y retroalimentación que conduzcan hacia las metas que se proponen en una localidad, comunidad, ecosistema, ciudad o país.

1. Conocer la información esencial del territorio (Historia y estado actual)
2. Objetivos y metas planteados
3. Selección de indicadores adecuados para registrar los cambios que den cumplimiento a objetivos y metas planteados
4. Monitoreo de indicadores a corto, mediano y largo plazo
5. Identificación de tendencias y estimación de cambios espaciales y temporales
6. Toma de decisiones, sobre nuevas estrategias y planes de manejo del territorio
7. Asignación de recursos
8. Ejecución de estrategias y planes de manejo
9. Monitoreo de indicadores
10. Evaluación de resultados y retroalimentación
11. Evaluación de cumplimiento de objetivos y metas
12. Toma de decisiones: continuación o modificación de las estrategias y planes de manejo con base en los resultados.

Por lo tanto, se puede considerar que los indicadores son elementos que guían sobre el éxito o fracaso de las medidas tomadas para lograr el cumplimiento de metas y objetivos. Cuando se habla de indicadores ambientales es de alto riesgo, involucrar indicadores económicos tradicionales ya que pueden dar una visión distorsionada, centrada en valoración económica, cuándo en su mayoría los bienes y recursos naturales son invaluable, ya que su degradación o pérdida puede tener graves consecuencias para el mantenimiento de la vida en corto o mediano plazo (Polanco, 2006; Camargo, 2018).

De acuerdo, a la OCDE (2003) los criterios principales de selección de indicadores son:

- 1) **Pertinencia política y utilidad.** En este rubro se considera importante que sean:
 - a) Representativos de las condiciones, presiones y respuestas sociales del sistema.
 - b) Simples, fáciles de interpretarse y que manifiesten tendencias en el tiempo.
 - c) Sensibles a los cambios en el ambiente en relación con actividades antropogénicas
 - d) Referentes para comparaciones (nacionales e internacionales)
 - e) Alcance nacional o regional específico
- 2) **Solidez analítica,** para lo que se requiere:
 - a) Fundamentación técnico-científica
 - b) Con base en estándares y consensos internacionales

c) Versátil para modelos económicos y sistemas de información y predicción.

3) Medible.

- a) Los datos primarios deben estar disponibles o su relación costo-beneficio
- b) Validez o representatividad
- c) Actualización periódica

Estos criterios se proponen de manera general, sin embargo, pueden ajustarse al propósito, la institución, la región o el país; pero siempre dentro de un marco de referencia lógico de acuerdo al proyecto, la pertinencia y la confiabilidad de los datos (García, 2005).

En el manejo de cualquier tipo de indicadores es importante definir: ¿El problema a analizar?, ¿Los objetivos o propósitos que se persiguen?, ¿Que medir?, ¿Para qué? ¿A qué escala medirlo?

La definición de las variables y sus indicadores permitirán medir los cambios que estos sufran tanto temporales, como en su distribución espacial. La adecuada medición y por ende la calidad de los datos es indispensable en el manejo de indicadores ambientales y su correcta interpretación.

El tipo de medición es individual, según la variable de que se trata, pueden ser medidas de forma inmediata o tardía, directa o indirectamente.

Por lo tanto, los indicadores deben ser desarrollados mediante un método sistemático y estandarizado que se recomienda siga los siguientes pasos:

1. Definición de la información requerida con base en los propósitos
2. Desarrollo del marco conceptual
3. Indicadores potenciales
4. Evaluación de los indicadores potenciales, de acuerdo a los criterios de selección
5. Desarrollar y establecer los indicadores potenciales
6. Evaluar los indicadores y su comportamiento
7. Validar estos indicadores y su utilidad.

De acuerdo al informe de la (UNESCO-WWAP, 2003) sobre los recursos hídricos a nivel mundial, se establece que "un indicador, comprende un dato (una variable) o un valor resultado de un conjunto de datos (agregación de variables), que describe un sistema o proceso de manera que es significativo más allá del valor de sus componentes. El indicador logra comunicar información sobre el sistema o proceso."

Por lo tanto, cuando se establecen indicadores, estos no son solo una medida, sino la interpretación de los datos disponibles, que además cuando se utilizan en conjunto con otros indicadores proporcionarán información significativa y representativa que será invaluable en la toma de decisiones.

La situación ambiental en el planeta ha despertado la preocupación sobre el estado de los recursos naturales y los cambios que estos manifiestan en el corto y mediano plazo, lo que da un panorama poco alentador para el desarrollo sostenible. Debido a ello se debe considerar el monitoreo de la evolución del estado de los recursos naturales en el entorno mundial, de cada país, de cada región o de cada ecosistema, a través de indicadores del suelo, el agua, el aire, los bosques, fauna, flora, agricultura, ganadería, pesca, etc.

Por ejemplo, en el Programa Binacional Frontera 2012 (SEMARNAT-EPA, 2003) se establecieron seis objetivos: 1) agua, 2) aire, 3) suelo, 4) salud ambiental, 5) preparación y respuesta a emergencias, y 6) aplicación y cumplimiento de la ley. Ya, que se considera una prioridad contar con información específica de cada uno de estos componentes, para desarrollar indicadores de calidad que revelen los cambios en las condiciones ambientales y de salud en la región fronteriza y el progreso hacia el alcance de los objetivos y metas.

Por lo tanto, el centrar nuestra atención sobre los indicadores que muestren el estado o calidad de los recursos naturales es una prioridad que debe ser atendida, de manera inmediata. Sin dejar de contemplar que la producción de alimentos y la extracción de recursos ha llevado a la sobreexplotación ambiental, la reducción de los servicios ecosistémicos y el deterioro de la biota.

TIPOS DE INDICADORES



Figura 5.1. Proceso de Generación de indicadores e índices

Un parámetro o variable derivada de la medición cualitativa o cuantitativa de una propiedad proporciona información sobre el estatus de un sistema, un fenómeno o un área, sin embargo, generalmente su significado va más allá que el simple valor del parámetro (OCDE, 2003).

La representación del estado o situación en que se encuentra un sistema se refleja a través de una serie de parámetros o variables, la información recabada mediante ellas constituye los datos primarios o simples, estos de manera conjunta reflejarán la estructura del sistema en el nivel y aspecto que se desea estudiar. Por lo tanto, el diseño inicial y estructura del estudio son fundamentales para obtener la información necesaria para cumplir los objetivos y metas que se persiguen. Sí el planteamiento de esta base o plataforma de variables es la adecuada, reflejará de forma conjunta la estructura del sistema en los niveles y ámbitos que se desean (Quiroga, 2009).

La generación de indicadores e índices es el resultado de un proceso complejo, en el cual se parte de datos simples o primarios que son medidos en el sistema de estudio, directa o indirectamente. Cuando se tiene una muestra suficiente y representativa de datos primarios, estos son sometidos a diversos análisis de comportamiento en función de diversos estados o condiciones del sistema y estadísticos, que permitirán separarlos o agruparlos,

compararlos y definir aquellos que tienen mayor relevancia en el sistema de estudio. Una vez que se cuenta con los datos analizados la información que se tiene es más sintética y valiosa, esto permite agruparla o bien seleccionar aquella que es más completa y representativa del proceso (Quiroga, 2009; Domínguez, Blancas, Guerrero y González, 2011; Palacio y Prieto, 2004).

Un indicador simple puede ser una medida cuantitativa o cualitativa derivada de una serie de hechos observados que pueden proporcionar la posición relativa del sistema, en cualquier ámbito dado (Pérez et al, 2008). Además, cuando se evalúa en intervalos regulares, proporciona la dirección de cambio a través del tiempo.

Cuando se han obtenido los indicadores más significativos estos pueden seleccionarse, ponderarse o agruparse con base en la información estadística y el conocimiento que se tiene del proceso para llegar a la conformación de índices más complejos, que sintetizarán mayor cantidad de información.

Por ello los índices o indicadores son herramientas informativas de gran utilidad, al identificar las interacciones dentro del sistema y definir las tendencias que permitirán dar seguimiento a los resultados a corto, mediano y largo plazo de las estrategias o manejo que se apliquen en cada caso.

Los indicadores al ser un producto de la información sintetizada y significativa favorecen la reducción de variables en nuevos monitoreos, el costo de muestreo y procesamiento de muestras y datos. Además, muestran el panorama sobre las condiciones ambientales o presiones que se presentan y las respuestas que se dan por parte de la sociedad o gobierno, deben ser fáciles de interpretar, sensibles a los cambios ambientales como respuesta a los procesos naturales y actividades antrópicas, generando una base sólida para comparaciones a nivel regional, nacional o internacional (Rodríguez y López, 2008; Perevochtchikova, 2013; Quiroga, 2009; Domínguez et al., 2011; Pérez et al., 2008).

INDICADORES EDÁFICOS

Los estudios de suelo se refieren en muchas ocasiones a la calidad del suelo y su mejoramiento o degradación con diferentes enfoques, agrícola, forestal, etc. Por ello es importante mencionar algunos antecedentes sobre este concepto. Doran y Parkin (1994) se refirieron a ella como la capacidad para sostener la productividad biológica dentro de los límites del ecosistema con el mantenimiento de la calidad ambiental y la salud de la biota. Lal et al, (1997), la define como la capacidad del suelo para producir bienes y servicios económicos y para cumplir funciones de regulación ambiental, con énfasis en las relaciones entre la degradación de suelos y la Resiliencia. El Comité para la Salud del Suelo de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (Karlen et al., 1997) lo sintetiza como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat.

Otras definiciones se basan en su multifuncionalidad (producción, sostenibilidad, calidad ambiental, servicios ecosistémicos, etc.) y no en su uso específico, pero la evolución del concepto continúa (Singer y Ewing, 2000). De acuerdo a Sojka y Upchurch (1999), las

evaluaciones de calidad del suelo no consideran en forma objetiva los resultados potenciales con carácter positivo o negativo en los elementos de evaluación de la multifuncionalidad.

Las variables que pueden ser utilizadas para evaluar el estado en que se encuentra el suelo son indicadores edáficos ya que dan información sobre la condición del suelo y sus cambios o tendencias (Dumanski et al, 1998; García, Ramírez, y Sánchez, 2012) y pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas o procesos que ocurren en él (SQI, 1996).

Existe controversia sobre la aplicación universal de estos indicadores, ya que algunos autores opinan que deben ser seleccionados para un área específica, según la geomorfología, tipo de vegetación, uso, etc., mientras que otros consideran que no pueden seleccionarse un grupo *ad hoc* para cada situación y deben ser los mismos en todos los casos, para realizar comparaciones a nivel nacional e internacional (Dumanski y Pieri, 2000; Segueda et al., 2011, Jorgensen et al., 2016).

El desarrollo de indicadores edáficos debe contemplar las funciones del suelo que serán evaluadas sobre todo aquellas sensibles a los cambios en el uso del suelo al abordar el estudio de suelos de ecosistemas naturales, suelos forestales, suelos agrícolas, suelos pecuarios y suelos urbanos (Bautista et al., 2004).

El desarrollo de indicadores permite identificar los focos rojos en cuanto a su degradación o sostenibilidad en función del uso que se le da, así como, del mantenimiento del ecosistema y la conservación de la biodiversidad. Como ejemplo, se ha registrado que variables como el pH y la conductividad eléctrica dan información sobre la condición de la relación suelo-planta, la humedad, los nutrientes disponibles, los microorganismos presentes y la calidad del agua que alimenta el ecosistema (Romero, Gómez, Sánchez, García, 2009). Otro ejemplo es la cantidad de materia orgánica en el suelo que es el reflejo de las entradas de carbono orgánico al sistema y la emisión de CO₂ (Wilson, 2000).

El uso inapropiado de la tierra que afecta negativamente los procesos ecológicos y la calidad del suelo, se considera que es la causa principal de su degradación; sin embargo, además del uso, la textura del suelo tiene un efecto importante en estos procesos y el cambio en su calidad (Vinhai-Freitas et al. 2017).

Por lo tanto, la evaluación de la calidad edáfica es un elemento importante en la toma de decisiones, con ello se registra si el manejo y las prácticas realizadas generan un impacto positivo o negativo en la misma.

INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA

A través del tiempo se han utilizado diferentes indicadores de calidad del agua, estos consideran diversos aspectos utilizados para definir la calidad como pueden ser parámetros físicos, químicos, biológicos, hidromorfológicos, etc. (Quiroga, 2009).

- **Físicos:** se basan en la determinación de parámetros físicos en el sistema acuático como temperatura, color, conductividad, sólidos suspendidos y disueltos, etc.

- **Químicos:** como pueden ser la cantidad de nutrientes, el oxígeno disuelto y la demanda de oxígeno para degradación de los compuestos orgánicos, la cantidad de sales y minerales en el sistema o varios de ellos en conjunto.
- **Biológicos:** consideran la presencia o ausencia de un organismo, lo que proporciona información sobre el estado de salud o condiciones en que se encuentra el medio acuático, en donde el organismo en cuestión desarrolla su ciclo biológico. Existen diversos organismos considerados indicadores biológicos de calidad de aguas como son: bacterias, microalgas, organismos patógenos, peces, macroinvertebrados, etc.
- **Hidromorfológicos:** que consideran las características hidrológicas y geomorfológicas actuales de los ríos y como se han modificado, así como las que tendrían los ríos en ausencia de alteraciones humanas, para garantizar el buen funcionamiento del ecosistema fluvial.

También pueden utilizarse otras características como la complejidad del indicador, por ejemplo:

1. Simple. En este caso se elige un parámetro determinado, que permite inferir la calidad o el grado de contaminación, al conocer el valor de este parámetro. En este caso podría ser la conductividad, la concentración de fósforo, la demanda de oxígeno, etc.
2. Complejo. Cuando a través de una expresión simple, se conjuntan un número de parámetros que permiten definir la calidad o grado de contaminación del agua.

Con la intención de determinar los grados de calidad que puede tener el agua también se han elaborado diversos índices. Con base en parámetros físicos y químicos: Índice de Calidad del Agua ICA (México), WQI (Dinius-EU), ICAUCA (Colombia), ISQA (España), CCME-WQI (Canadá), ICG (España), IAP (Brasil) UWQI (Europa). Con base en parámetros biológicos: Biological Monitoring Working Party (BMWP), Índice de Integridad Biótica (IBI), Benthic Quality Index (BQI), Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT), Chandler Biotic Index (CBI), Trent Biotic Index (TBI) (Castro, Almeida, Ferrer y Díaz, 2014; Jiménez y Vélez, 2006; Samboni, Carvajal, Escobar, 2007; Walsh et al., 2016; Fredley et al., 2019; Carreño et al., 2020; Hurtado y Gómez, 2019)

Índices hidromorfológicos que tienen como objetivo clasificar la calidad hidromorfológica como ejemplos están QBR (índice calidad del bosque de ribera), ICF (índice de continuidad fluvial), IHF (índice hábitat fluvial) (Ojeda et al., 2007; Talavera y Sánchez, 2019; Kutschker et al., 2020; Villamarín y Rieradevall, 2014).

También se han generado índices que reflejan la contaminación en los cuerpos de agua a través de aspectos específicos, como: ICOMI (Índice de contaminación por mineralización), ICOMO (Índice de calidad por materia orgánica), ICOSUS (Índice de calidad por sólidos suspendidos), ICOTRO (Índice de contaminación trófico) etc. (Peña, 2019; González y Roldán, 2019; Cotrina, 2019, Terrel, 1989)

INDICADORES HÍDRICO –EDÁFICOS

Hasta el momento se han utilizado los indicadores para definir la calidad del agua y la del suelo, también se ha observado la relación entre alguna de las propiedades del suelo y la calidad del agua del sistema acuático asociado, pero hasta el momento no se han establecido indicadores de manera conjunta, por lo tanto realizar el manejo estadístico de la información para las propiedades físicas y químicas del agua y del suelo, para establecer sus relaciones significativas y posteriormente enfocar esta información a la generación de indicadores a través de las variables más representativas con base en su comportamiento integral, es de suma importancia para poder emitir diagnósticos más rápidos y utilizando menor número de variables y por lo tanto utilizando menos recursos (humanos, financieros y de tiempo).

Por lo tanto, la pregunta fue: ¿Cuáles de las propiedades físicas y químicas del agua y del suelo, explican de manera significativa, los procesos de interacción entre ambos sistemas, para ser establecidas como indicadores del estado de calidad de los ambientes ribereños de montaña?

OBJETIVOS

En este capítulo se cumplirán los siguientes objetivos:

- Seleccionar las propiedades hídricas y edáficas que explican de manera significativa la variabilidad espacial de los ecosistemas ribereños estudiados
- Generar los Indicadores Hídrico-Edáficos con base en las propiedades de agua y suelo seleccionadas.
- Comparar el comportamiento de los indicadores hídrico-edáficos generados, en función de:
 - ▣ La cobertura
 - ▣ Los usos del suelo
- Elaborar los mapas con la representación espacial de los Indicadores Hídrico-Edáficos en la RBLV
- Elaborar los mapas de zonificación que representen el estado de los ambientes ribereños en la RBLV con base en los Indicadores Hídrico-Edáficos generados.

MÉTODOS

Datos

Para el procesamiento y análisis estadístico se partió de la base de datos global, donde se integró la información obtenida en campo y laboratorio para cada uno de los 78 sitios en los diferentes muestreos temporales durante las épocas de lluvia y estiaje. Los parámetros de esta base de datos se establecieron a partir de la caracterización ecológica (ubicación, altitud, temperatura ambiental, humedad ambiental, cobertura de suelo, uso del suelo) los parámetros hidrológicos (velocidad de corriente y caudal), las propiedades físicas y químicas determinadas para agua (temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, alcalinidad, dureza total, dureza de calcio, nitratos, nitritos, amonio, fósforo total, ortofosfatos, sólidos totales disueltos, sulfatos, sulfuros, DBO₅, DQO) y suelo (temperatura del suelo, % arena, % limo, % arcilla, textura, % de humedad, densidad aparente, % espacio poroso, conductividad eléctrica, pH, % materia orgánica, % carbono orgánico, % nitrógeno total, relación C:N, fósforo extractable).

El tratamiento de los datos fue mediante estadística multivariante (Fig. 5.2), con la finalidad de conocer el comportamiento conjunto de las variables de agua y suelo que están interrelacionadas y que su interpretación por separado no representa el comportamiento real y complejo del sistema como lo mencionan Kendall (1975); Anderson, (1984); Cuadras, (2012).

Procesamiento de Datos

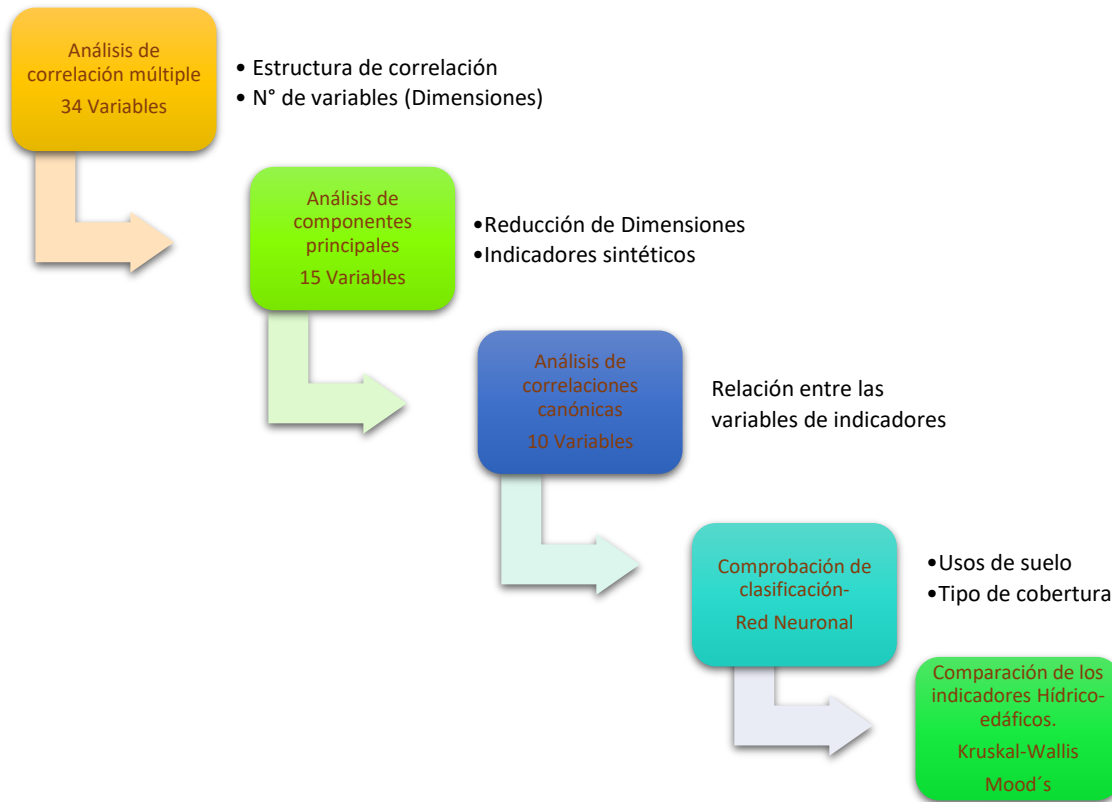


Figura 5.2. Secuencia de métodos multivariados aplicados en esta fase

Análisis de Correlación múltiple (ACM)

Se utilizaron los 34 parámetros, para llevar a cabo un análisis de correlación múltiple (ACM). Se obtuvo el producto del momento de correlación de Pearson, así como el rango de correlación de Spearman, entre cada par de variables y con los resultados de estos análisis que fueron coincidentes, se realizó una selección de variables, primero discriminando aquellas que presentaron colinealidad y después tomando en cuenta las correlaciones significativas en un nivel de confianza de 95% (Izenman, 2008).

Análisis de Componentes Principales (ACP)

Este es un procedimiento matemático que utiliza como insumo un conjunto de variables de respuesta estandarizadas y correlacionadas, las transforma en un conjunto menor de variables ortogonales a las cuales se les denomina Componentes principales. Las variables ortogonales generadas explican la mayor parte de la varianza contenida en los datos originales (Johnson, 2000; Terradéz, 2013).

Es importante mencionar que el ACP por ser una técnica geométrica, permite no considerar en sentido estricto la normalidad y homocedasticidad (Uriel 1995), sin embargo, es deseable que exista cierto grado de multicolinealidad, sin que ésta domine en el sistema. La selección de variables para el ACP debe ser cuidadosa, ya que seleccionar muchas variables de manera indiscriminada conducirá a resultados no satisfactorios y correlaciones poco confiables.

Con base, en los componentes obtenidos se definen las variables con mayor relevancia en el sistema y se puede utilizar el indicador complejo generado, para clasificar las unidades naturales o experimentales de trabajo. En el caso de solo elegir un componente principal, éste se convertiría en un indicador sintético que representa el comportamiento del conjunto de variables de respuesta. Sin embargo, el contar con más componentes indica que debido a la complejidad del sistema un solo indicador sintético no es suficiente para explicar la variabilidad y esto demanda un tratamiento adicional o una explicación exhaustiva en el análisis de los resultados.

Cada uno de los componentes generados está descrito por una ecuación asociada, que permitirá dar un valor del indicador a cada sitio de estudio, representarlo espacial o temporalmente e interpretar lo obtenido.

Correlaciones canónicas.

El objetivo de este análisis fue definir la existencia de asociación lineal entre dos grupos o conjuntos de variables independientes (Ruano y Trejos, 2012). En este caso con base en los análisis estadísticos anteriores se forma un conjunto con las variables hídricas de mayor significancia en la variabilidad del sistema y otro conjunto con las variables edáficas más relevantes y significativas.

Estos conjuntos de variables son sometidos a un análisis de correlaciones canónicas para definir el grado y tipo de correlación que existe entre ellos.

Algunas de las propiedades de este tipo de correlaciones son:

1. Las variables canónicas son indicadores de los dos conjuntos de variables que se definen por pares, con la condición de máxima correlación.
2. Los coeficientes de las variables canónicas son los vectores propios ligados al mismo valor propio de las matrices
3. Los signos de las variables canónicas suelen elegirse de manera que las correlaciones entre las variables canónicas $\alpha_0 x$ y $\beta_0 y$, sean positivos. (Izenman, 1975; Yohai y García, 1980; Que et al., 2020).

Comprobación de la clasificación de Tipo de cobertura y Uso del suelo a través de Red Neuronal

Las redes neuronales son modelos que iniciaron en la década de 1940, imitando el funcionamiento de conexión neuronal en los organismos vivos, un conjunto de neuronas conectadas que trabajan de manera conjunta sin que tengan una tarea concreta, pero que en el camino van creando y reforzando para lograr algo. Este modelo, aunque, aparentemente simple, en esa época no dio buenos resultados; sin embargo, ha ido evolucionando, con la idea de que, dada una serie de parámetros, de acuerdo a su comportamiento y combinación puede predecir ciertos resultados, por lo que el modelo encuentra la combinación que mejor se ajusta, para entrenar la red y posteriormente hacer predicciones o clasificaciones, lo que significa aplicar la combinación. Además, mientras más variables y capas se encuentran aumentan los nodos que le permiten detectar las características que permiten lograr una mejor clasificación (Matich, 2001).

Con base en lo anterior y para comprobar que las clasificaciones de Cobertura y Uso de Suelo utilizadas a lo largo de todo el trabajo fueron las adecuadas, se aplicó este método de clasificación, de manera separada para el tipo de Cobertura y el Uso de suelo.

Cálculo de los indicadores hídrico-edáficos y comparación en función de la cobertura y uso del suelo

A partir de los componentes principales obtenidos, se puede hablar de la generación de los indicadores hídrico-edáficos, con base en la información global de los ecosistemas ribereños de montaña y el procesamiento conjunto de todos los datos de los compartimentos edáfico y acuático, se identificó cuáles de las variables utilizadas, tuvieron mayor peso en la definición y variabilidad de los ambientes ribereños de la RBLV. Una vez definidos y generados a través de los métodos señalados los indicadores sintéticos, se comparan, en función de la cobertura y el uso de suelo para corroborar que representan claramente la variabilidad en el ecosistema, lo cual se valida con las observaciones realizadas en campo. Para posteriormente elaborar los mapas que representen el comportamiento espacial de cada uno de los indicadores sintéticos y por ende el estado de los ambientes ribereños en la RBLV.

Una vez obtenidos los valores de los indicadores sintéticos a los cuales denominamos Indicadores Hídrico-Edáficos, se compararon aplicando un análisis de Kruskal-Wallis, con la intención de comparar si las medianas para los diferentes usos de suelo se comportaban igual, posteriormente se realizó una prueba de mediana de Mood's, para definir si las medianas, dentro de cada uno de los usos de suelo es la misma. El mismo tratamiento se dio a los datos para comparar si las medianas de las coberturas del suelo se comportaban igual o presentaban diferencias significativas. En ambos casos se realizaron diagramas de caja, para mejor visualización del resultado.

Representación espacial y zonificación con base en los indicadores sintéticos

Una vez calculados los valores de los dos principales Indicadores Hídrico-Edáficos en las diferentes épocas de muestreo durante los cinco años del periodo de estudio, se registró el intervalo de valores obtenidos para cada uno de los indicadores, utilizando el SIG, se aplicó en método de clasificación de Jenks, que considera las separaciones naturales entre los datos, para generar la escala de clasificación de cada uno de los indicadores.

Posteriormente se calculó el valor promedio para cada uno de los 78 sitios y con base en la clasificación propuesta se estableció su calidad representada a través de un color y se elaboró un mapa con la representación espacial, para cada indicador.

Finalmente, utilizando los valores de estos indicadores sintéticos, se aplicó un análisis geoestadístico, mediante interpolación por el método de la distancia inversa ponderada (IDW), para generar los mapas de zonificación del área de la RBLV.

RESULTADOS

Análisis de Correlación múltiple

Con base, en la información de campo y laboratorio procesada durante el desarrollo de este estudio, se cuenta con un total de 40 variables registradas. De estas, la ubicación permitirá ver el comportamiento específico de cada uno de los 78 sitios de muestreo y la tendencia espacial, variables como la altitud, la cuenca a la que pertenecen, el tipo de cobertura y el uso de suelo se eligieron inicialmente como ejes de comparación para definir el estado en que se encuentran los ecosistemas ribereños de montaña. Por otro lado, la textura no se ingresó en los 34 parámetros básicos, ya que se encuentra representadas a través de otros parámetros como los porcentajes de arena, limo y arcilla.

Tabla 5.1 Parámetros utilizados en el Análisis de Correlación múltiple (ACM), Análisis de Componentes principales (ACP) y Correlaciones canónicas

Parámetros utilizados en el ACM	Parámetros seleccionados para el ACP	Parámetros utilizados para Correlaciones canónicas
1. Temperatura ambiental	1. Oxígeno disuelto	1. Conductividad agua
2. Velocidad de corriente	2. Alcalinidad	2. Alcalinidad
3. Caudal	3. Nitratos	3. Fósforo total
4. Temperatura agua	4. Amonio	4. Nitratos
5. pH agua	5. Conductividad agua	5. Velocidad de corriente
6. Conductividad agua	6. DBO ₅	6. Conductividad eléctrica suelo
7. Oxígeno disuelto	7. DQO	7. Oxígeno disuelto
8. Alcalinidad	8. Fósforo total	8. DBO ₅
9. Dureza total	9. % Arena	9. % Carbono orgánico suelo
10. Dureza de calcio	10. % Espacio poroso	10. % Espacio poroso
11. Nitratos	11. % Carbono orgánico	
12. Nitritos	12. % Nitrógeno total	
13. Amonio	13. Conductividad eléctrica suelo	
14. Fósforo total	14. Fósforo extractable	
15. Ortofosfatos	15. Velocidad de corriente	
16. Sólidos totales disueltos		
17. Sulfatos		
18. Sulfuros		
19. DBO ₅		
20. DQO		
21. Temperatura del suelo		
22. % Arena		
23. % Limo		
24. % Arcilla		
25. % de humedad		
26. %espacio poroso		
27. Densidad aparente		
28. Conductividad eléctrica del suelo		
29. pH		
30. %Materia orgánica		
31. %Carbono orgánico		
32. % Nitrógeno total		
33. Relación C:N,		
34. Fósforo extractable		

El análisis de correlación múltiple (ACM) considerando los 34 parámetros listados en la Tabla 5.1, mostró las variables que presentaban correlaciones significativas con un 95% de confianza, en los sistemas ribereños de montaña; posteriormente se analizó cuáles de estas variables significativas tenían colinealidad. De esos grupos con colinealidad, se eligieron las que mejor representaban al sistema. Como resultado se seleccionaron 15 variables, para el análisis de componentes principales (ACP).

Análisis de Componentes Principales (ACP)

Con base en el ACP, las propiedades físicas y químicas del agua y del suelo, que tuvieron mayor influencia en la variabilidad del sistema y explicaron de manera significativa (nivel de confianza 95%) los procesos de interacción entre ambos sistemas, para ser establecidas como indicadores Hídrico-Edáficos del estado de salud de los ambientes ribereños de montaña fueron: Conductividad del agua, Alcalinidad, Fósforo total, Nitratos, Oxígeno disuelto, DBO₅, Velocidad de corriente, % Carbono orgánico del suelo, % Espacio poroso y la conductividad eléctrica del suelo.

Tabla 5.2 Resultados del Análisis de Componentes principales

<i>Componente Número</i>	<i>Eigenvalor</i>	<i>Porcentaje de Varianza</i>	<i>Porcentaje Acumulado</i>
1	4.13877	27.592	27.592
2	1.9943	13.295	40.887
3	1.87956	12.530	53.418
4	1.6583	11.055	64.473
5	1.09935	7.329	71.802
6	0.974208	6.495	78.297
7	0.841921	5.613	83.909
8	0.571474	3.810	87.719
9	0.496194	3.308	91.027
10	0.430105	2.867	93.894
11	0.319956	2.133	96.028
12	0.24844	1.656	97.684
13	0.159469	1.063	98.747
14	0.0989486	0.660	99.407
15	0.0890163	0.593	100.000

Tabla 5.3. Pesos de los componentes

	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4	Componente 5
% Arena	0.163487	-0.319817	-0.092483	-0.384921	0.242643
COS (%)	-0.177296	0.448483	0.0800641	0.140782	0.049625
OD	-0.164532	-0.34451	-0.0216645	0.484055	0.111768
Nts (%)	-0.22348	0.252241	0.113932	0.372541	0.0105458
Alcalinidad	0.364143	-0.0852057	-0.259748	0.318921	-0.0687126
NH ₄ ⁺	0.302077	-0.0305873	0.370778	0.109259	0.0843255
CE	0.102163	-0.165128	0.00386015	0.290723	-0.768874
Cond	0.429725	0.140431	-0.118719	0.147555	0.0436116
DBO ₅	-0.0881046	-0.211023	-0.0304843	0.463092	0.480473
DQO	0.288882	0.359722	-0.270773	0.0283751	0.182138
F ext.	-0.181303	0.196058	0.175656	0.0916472	0.16703
F tot	0.360847	0.185311	-0.333583	0.117119	0.0906964
NO ₃ ⁻	0.325998	0.027352	0.497481	0.0154124	0.0373166
Veloc. C	0.273441	0.0457262	0.536282	0.0304185	0.0384806
EP (%)	-0.102621	0.45775	-0.0326598	-0.0210122	-0.134647

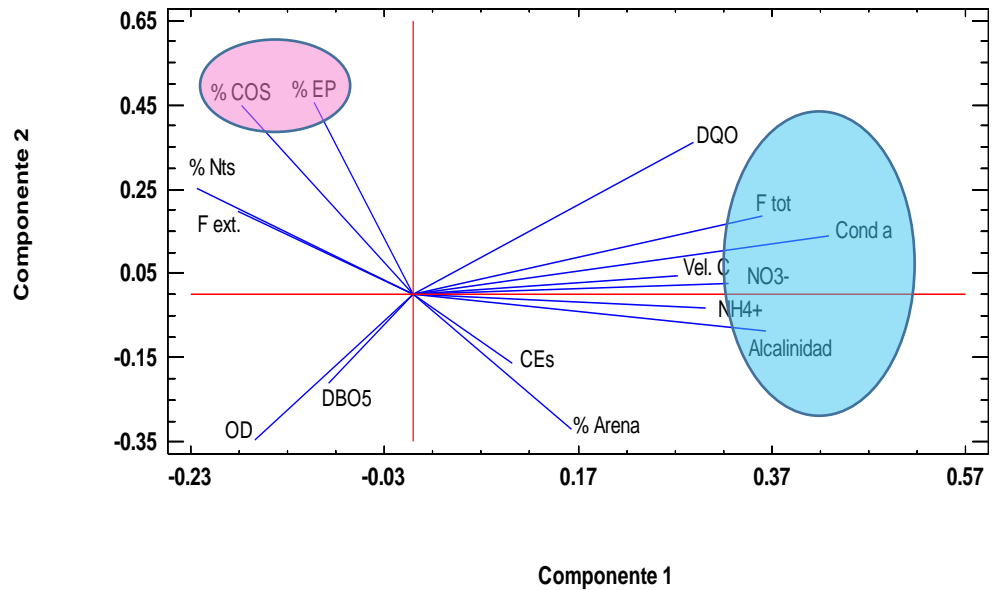


Figura 5.3 Representación gráfica de los componentes principales 1 y 2 para los indicadores Hídrico-Edáficos

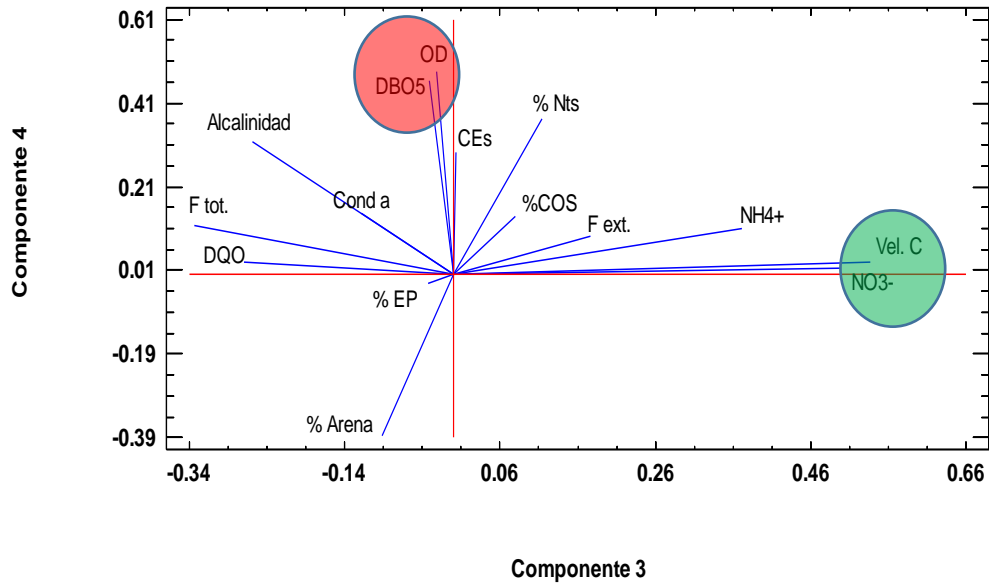


Figura 5.4 Representación gráfica de los componentes principales 3 y 4 para los indicadores Hídrico-Edáficos

Por lo tanto, estas 10 variables Hídrico-Edáficas a través de los cinco componentes generan indicadores sintéticos, los dos primeros son los más relevantes y consideran las 10 variables con mayor significancia y con un nivel de confianza de 95%, están representados por las siguientes ecuaciones.

Primer Indicador Hídrico-Edáfico con énfasis en las variables hídricas de salinidad y nutrimentos

$$0.429725 \cdot \text{Cond} + 0.364143 \cdot \text{Alcalinidad} + 0.360847 \cdot \text{F tot} + 0.325998 \cdot \text{NO}_3^- + 0.273441 \cdot \text{Veloc. C} + 0.102163 \cdot \text{CEs} - 0.164532 \cdot \text{OD} - 0.0881046 \cdot \text{DBO}_5 - 0.177296 \cdot \% \text{COS} - 0.102621 \cdot \% \text{EP}$$

Segundo Indicador Hídrico-Edáfico con énfasis en las variables edáficas de COS y EP

$$0.45775 \cdot \% \text{EP} + 0.448483 \cdot \% \text{COS} + 0.185311 \cdot \text{F tot} + 0.140431 \cdot \text{Cond} + 0.0457262 \cdot \text{Veloc. C} + 0.027352 \cdot \text{NO}_3^- - 0.34451 \cdot \text{OD} - 0.211023 \cdot \text{DBO}_5 - 0.0852057 \cdot \text{Alcalinidad} - 0.165128 \cdot \text{CEs}$$

Análisis de Correlaciones Canónicas (ACC)

Para obtener las relaciones canónicas se conformaron un primer set o bloque con las siete variables hídricas y un segundo bloque con las tres variables edáficas.

Se encontraron tres combinaciones lineales con las más altas correlaciones entre los dos conjuntos de variables.

Tabla 5.4 Correlaciones canónicas

Número	Eigenvalor	Correlación Canónica	Wilks Lambda	Chi-cuadrada	G.L.	P-Valor
1	0.200751	0.448052	0.745687	314.138	21	0.0000
2	0.0478204	0.218679	0.932984	74.2576	12	0.0000
3	0.0201597	0.141985	0.97984	21.8014	5	0.0006

Tabla 5.5 Coeficientes de las Variables canónicas del Bloque hídrico

VARIABLE	COEFICIENTE 1	COEFICIENTE 2	COEFICIENTE 3
ALCALINIDAD	-1.08301	0.314466	0.305948
NO ₃	-0.0317503	-1.20967	-0.402594
F TOT	1.11275	-1.31634	0.806374
COND.	-0.684701	0.507779	-1.07142
DBO ₅	0.254995	-0.204083	0.601452
OD	-0.492993	-0.0809636	0.164147
VELOC. C.	-0.0986228	1.00238	0.825972

Tabla 5.6 Coeficientes de las Variables canónicas del Bloque edáfico

VARIABLE	COEFICIENTE 1	COEFICIENTE 2	COEFICIENTE 3
% COS	0.384877	0.793834	0.623088
% EP	0.41622	0.127926	-0.97409
CES	-0.604978	0.792414	-0.287653

Los tres conjuntos obtenidos, presentaron un valor p menor a 0.05, siendo sus correlaciones estadísticamente significativas al 95%. Y se formaron utilizando las siguientes expresiones con las ponderaciones de cada una de las variables

PRIMER CONJUNTO (Figura 5.5)

- 1) $-1.08301 \cdot \text{Alcalinidad} - 0.0317503 \cdot \text{NO}_3^- + 1.11275 \cdot \text{F tot} - 0.684701 \cdot \text{cond} + 0.254995 \cdot \text{DBO}_5 - 0.492993 \cdot \text{OD} - 0.0986228 \cdot \text{Veloc. C}$
- 2) $0.384877 \cdot \% \text{ COS} + 0.41622 \cdot \% \text{ EP} - 0.604978 \cdot \text{CEs}$

SEGUNDO CONJUNTO (Figura 5.6)

- 1) $0.314466 \cdot \text{Alcalinidad} - 1.20967 \cdot \text{NO}_3^- - 1.31634 \cdot \text{F tot} + 0.507779 \cdot \text{cond} - 0.204083 \cdot \text{DBO}_5 - 0.0809636 \cdot \text{OD} + 1.00238 \cdot \text{Veloc. C}$
- 2) $0.793834 \cdot \% \text{ COS} + 0.127926 \cdot \% \text{ EP} - 0.792414 \cdot \text{Ces}$

TERCER CONJUNTO (Figura 5.7)

- 1) $0.3059480 \cdot \text{Alcalinidad} - 0.402594 \cdot \text{NO}_3^- + 0.806374 \cdot \text{F tot} - 1.07142 \cdot \text{cond} + 0.601452 \cdot \text{DBO}_5 + 0.164147 \cdot \text{OD} + 0.825972 \cdot \text{Veloc. C}$
- 2) $0.623088 \cdot \% \text{ COS} - 0.97409 \cdot \% \text{ EP} - 0.287653 \cdot \text{CEs}$

Donde las variables han sido estandarizadas por sustracción de su media y divididas por su desviación estándar

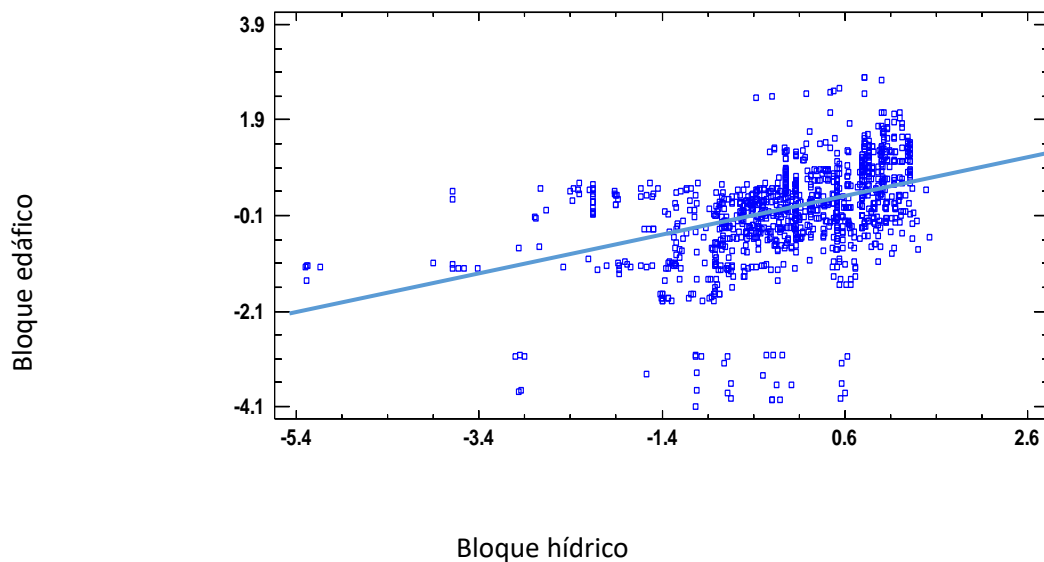


Figura 5.5 Gráfico de la Primer variable canónica

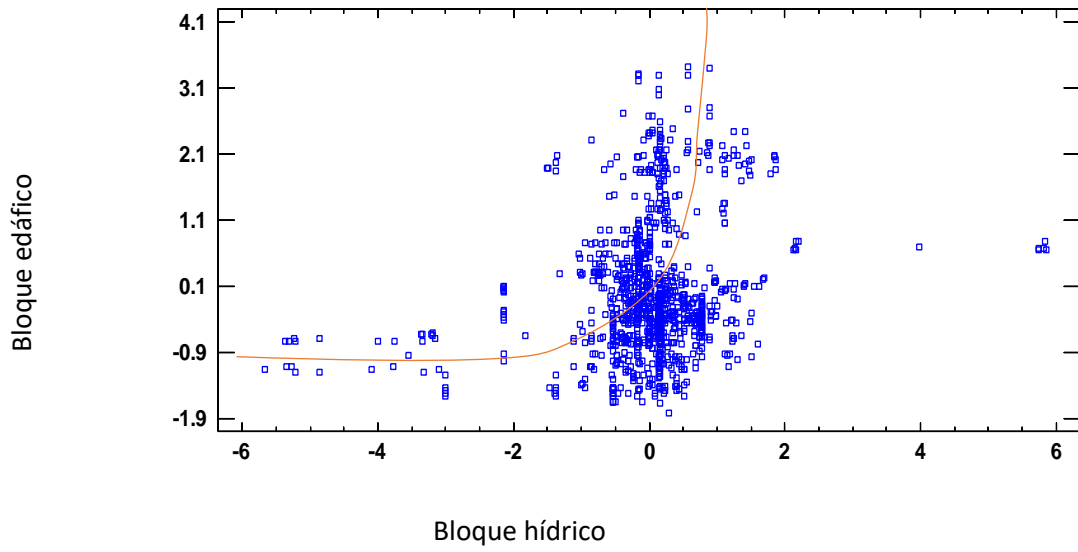


Figura 5.6 Gráfico de la Segunda variable canónica

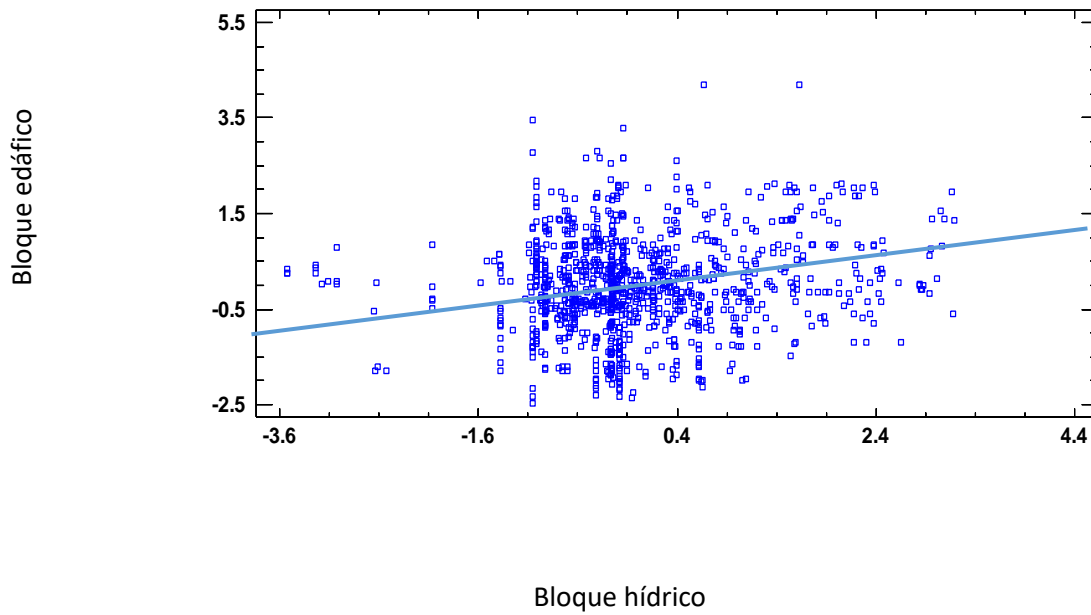


Figura 5.7 Gráfico de la Tercera variable canónica

Análisis de Redes Neuronales (ARN)

El ARN toma en cuenta cuatro capas: entrada, patrón, resumen y salida.

Para la clasificación del Uso del suelo, se utilizaron como vectores de entrada 28 de las 34 variables iniciales. El modelo tomó en cuenta en la capa patrón 657 casos, como neuronas y en la capa de resumen, con la información de todos los sitios y las 28 variables para cada uno, arrojó como resultado siete neuronas, mismas que dieron lugar en la capa de salida a siete grupos (Figura 5.8). Este procedimiento de la red neuronal probabilística (ARN) para clasificar los casos en diferentes usos de suelo, destaca que 98.93% de los casos, fueron clasificados correctamente, de acuerdo a la información obtenida previamente con la información de campo (Tabla 5.7).

Tabla 5.7 Porcentajes de casos clasificados correctamente, por Uso de suelo

Uso de Suelo	Miembros	Porcentaje correctamente clasificados
Pradera de alta montaña	58	100.0
Forestal	171	99.4152
Forestal perturbado	169	98.2249
Recreativo-Forestal	125	97.6
Agrícola - Forestal	25	100.0
Agropecuario	66	100.0
Urbano	43	100.0
Total	657	98.9346

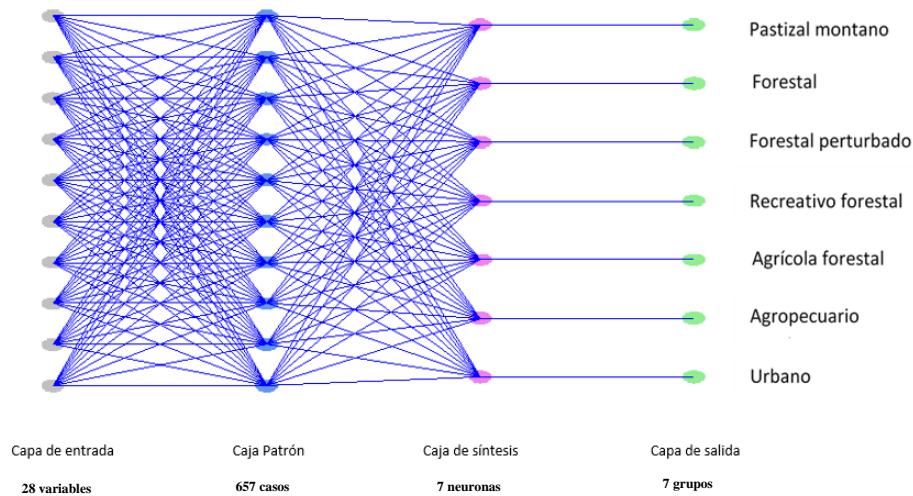


Figura 5.8 Red neuronal para clasificación de los sitios por Uso de suelo

Por otro lado, para la clasificación del Tipo de Cobertura, se utilizaron como vectores de entrada 28 de las 34 variables iniciales, dejando fuera la altitud, así como el tipo de cobertura y el Uso de suelo. El modelo tomó en cuenta en la capa patrón 830 casos, como neuronas y en la capa de resumen mostró siete neuronas, mismas que dieron lugar en la capa de salida a siete grupos (Figura 5.9)

En los casos de la Cobertura del suelo, se encontró que el 99.03% fueron clasificados correctamente lo cual corrobora la clasificación inicial realizada con la información del trabajo de campo (Tabla 5.8).

Tabla 5.8 Porcentajes de casos clasificados correctamente, por Cobertura del suelo

Cobertura del Suelo	Miembros	Porcentaje correctamente clasificado
Pastizal montano	62	96.7742
Bosque de Pino/Pastizal montano	88	98.8636
Bosque de Pino	15	93.3333
Bosque mixto	477	99.3711
Agrícola	91	98.9011
Urbana	24	100.0
Manantial	73	100.0
Total	830	99.0361

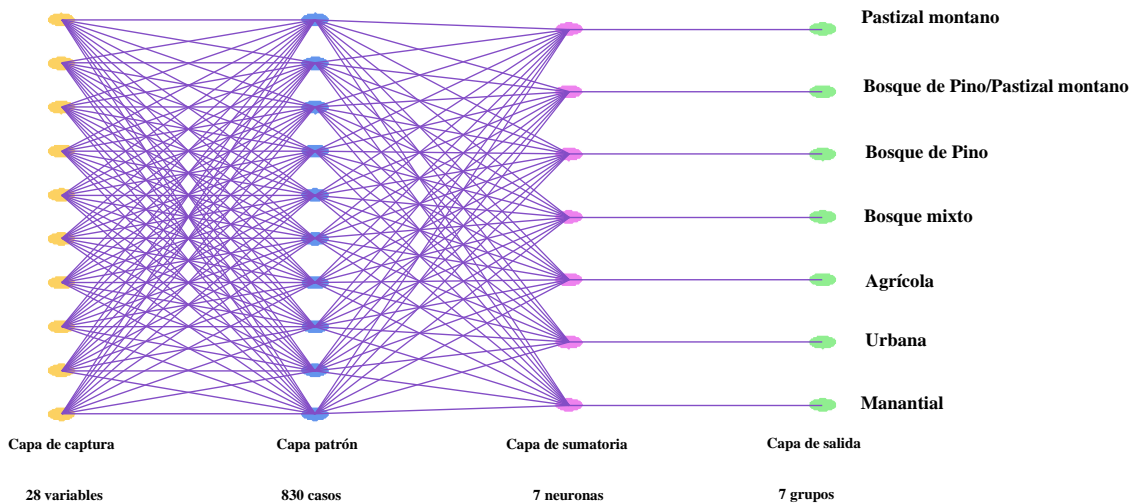


Figura 5.9 Red neuronal para clasificación de los sitios por Cobertura del suelo

Cálculo de los Indicadores Hídrico-Edáficos y comparación en función de la Cobertura y Uso del suelo.

Calculados los valores de los dos principales Indicadores Hídrico-Edáficos para cada uno de los 78 sitios, en las diferentes épocas de muestreo y durante el periodo que abarca el proyecto, se obtuvo el valor promedio para cada uno de ellos (Tabla 5.9).

Tabla 5.9 Valor promedio de los Indicadores Hídrico-Edáficos 1 y 2

NOMBRE DEL SITIO	USO DE SUELO	TIPO DE COBERTURA	ALTITUD	INDICADOR HÍDRICO-EDÁFICO 1	INDICADOR HÍDRICO-EDÁFICO 2
PILARES	Pradera de alta montaña	Pastizal montano	4054	10	23
APATLACO 1	Pradera de alta montaña	Pastizal montano	3956	11	35
VOLKSWAGEN	Pradera de alta montaña	Pastizal montano	3883	14	37
MANANTIAL VOLKSWAGEN	Pradera de alta montaña	Manantial	3871	34	2
DOÑA BLANCA 1	Pradera de alta montaña	Pastizal montano	3870	58	52
APATLACO 2	Pradera de alta montaña	Pastizal montano	3850	19	33
LA JOYA	Pradera de alta montaña	Pastizal montano	3832	31	51
DOÑA BLANCA 2	Pradera de alta montaña	Bosque de Pino/Pastizal montano	3816	32	52
MANANTIAL COCOYUCO	Forestal	Bosque de pino	3745	21	1
RINCÓN DEL COCOYUCO	Forestal	Manantial	3729	18	1
CISTERNA PALO RECHINO	Forestal perturbado	Bosque de pino/pastizal montano	3659	27	46
AMALACAXCO 1	Forestal	Bosque de Pino/Pastizal montano	3651	21	27
PALO RECHINO	Forestal perturbado	Bosque de Pino/Pastizal montano	3642	33	47
APATLACO 3 (CASCADA)	Forestal	Bosque de Pino/Pastizal montano	3635	34	29
EL CORRAL	Forestal perturbado	Bosque de Pino	3601	20	30
APATLACO 4 (PARQUE ECOTURÍSTICO)	Recreativo-forestal	Bosque mixto	3571	40	24
AGUA EL MARRANO	Forestal	Bosque mixto	3522	6	41
AMALACAXCO 2	Forestal	Bosque de Pino	3520	18	36
NEXCOLANGO	Forestal	Bosque mixto	3489	55	55
POTRERO	Forestal perturbado	Bosque mixto	3347	26	27
TUNEL TIERRA AMARILLA	Forestal	Bosque mixto	3311	14	45
RANCHO TITLA	Forestal	Bosque mixto	3280	35	35
BUENAVISTA	Forestal perturbado	Bosque mixto	3274	31	33
TETLALCUILCO	Forestal	Bosque mixto	3221	32	37
ALCALICA 1	Forestal	Bosque mixto	3200	28	32
RÍO APOL	Forestal perturbado	Bosque mixto	3150	34	34
ATZOMPA (RÍO COTZALÁ)	Forestal perturbado	Bosque mixto	3144	101	56
CERRO TESANTO	Forestal	Bosque mixto	3116	24	39
RÍO FRÍO	Forestal perturbado	Bosque mixto	3074	36	34
TEPINOCO	Forestal perturbado	Bosque mixto	3034	40	18
ALCALICA 2	Forestal perturbado	Bosque mixto	3020	33	6
RÍO FRÍO II	Agrícola-Forestal	Bosque mixto	2996	36	36
NEXPAYANTLA	Recreativo-Forestal	Bosque mixto	2949	39	38
MANANTIAL PALO OBISPO	Forestal perturbado	Bosque mixto	2917	44	3
MANANTIAL PALO OBISPO (CANAL DE CONCRETO)	Forestal perturbado	Bosque mixto	2911	46	3
PALO OBISPO RÍO	Forestal perturbado	Bosque mixto	2897	26	1
RÍO COTZALÁ	Forestal perturbado	Bosque mixto	2889	113	21
ALCALICA BAJO	Forestal	Bosque mixto	2865	22	43
ALCALICA VIVERO	Agrícola-Forestal	Bosque mixto	2823	31	23
MANANTIAL XOQUITITLA	Recreativo-Forestal	Manantial	2813	34	39
AXOCHIAPA	Forestal perturbado	Bosque mixto	2805	36	36
TEPETOL CASCADA	Recreativo-Forestal	Bosque mixto	2780	85	56
CUATONCO	Agropecuario	Bosque mixto	2752	97	2
SAN JUAN TLALE	Agrícola - Forestal	Bosque mixto	2746	64	14
ATZOMACO	Forestal perturbado	Manantial	2744	30	31
SANTA RITA TLAHUAPAN	Forestal perturbado	Manantial	2739	58	39
RÍO COTZALÁ (HIDROELÉCTRICA)	Agropecuario	Agrícola	2720	71	15
MANANTIAL SANTA RITA TLAHUAPAN	Forestal perturbado	Manantial	2693	58	6
ALCALICA	Agropecuario	Bosque mixto	2684	30	33
TEPETOL	Recreativo-Forestal	Bosque mixto	2634	82	59
TRUCHAS	Recreativo-Forestal	Bosque mixto	2612	68	14
TOMACOCO	Agropecuario	Agrícola	2573	26	39
XOPALLICAN	Agropecuario	Agrícola	2545	37	30
XOPALLICAN	Agropecuario	Agrícola	2534	38	32
IXOALCO 1	Recreativo-Forestal	Bosque mixto	2521	67	34
TEZAHUAC	Agropecuario	Agrícola	2518	39	1
IXOALCO 2	Recreativo-Forestal	Bosque mixto	2504	69	36
VIAS LIBRAMIENTO	Urbano	Urbana	2463	498	103
AYAPANGO	Urbano	Agrícola	2433	388	117
RÍO ALSESECA CALPAN	Urbano	Urbano	2412	157	57
SAN FELIPE TEOTLALCINGO II (ARROYO)	Urbano	Agrícola	2388	153	30
MANANTIAL SAN FELIPE TEOTLALCINGO I	Agropecuario	Manantial	2386	58	32
SAN FELIPE TEOTLALCINGO (ASILO)	Urbano	Agrícola	2380	92	17
CALPAN AMEYAL II	Urbano	Manantial	2347	116	48
SAN SIMÓN ATZITZINTLA	Urbano	Agrícola	2314	117	18
CALPAN AMEYAL I	Urbano	Manantial	2311	108	43
SAN RAFAEL TLANALAPA II	Urbano	Urbano	2280	349	80
MANANTIAL SAN RAFAEL TLANALAPA	Urbano	Manantial	2275	128	41
SAN RAFAEL TLANALAPAN I (RÍO)	Urbano	Agrícola	2272	252	65
DISTRITO ATOYAC-ZAHUAPAN	Urbano	Urbano	2243	224	80
ATLIMEYAYA ARROYO SN BALTAZAR	Agropecuario	Agrícola	2199	108	45
MANANTIAL ATLIMEYAYA SAN BALTAZAR	Agropecuario	Manantial	2198	111	45
SAN PEDRO ATLIXCO (CASCADA)	Agropecuario	Agrícola	2126	110	48
MANANTIAL TOCHIMILCO	Urbano	Manantial	2120	101	14
TOCHIMILCO 1 (EL CALVARIO)	Urbano	Urbano	2115	89	14
TOCHIMILCO ARROYO (CIÉNEGA)	Agropecuario	Agrícola	2104	115	17
TOCHIMILCO BARRIO SAN JUAN	Urbano	Urbano	2076	126	19
NEPANTLA	Urbano	Urbano	1987	486	139

El análisis gráfico del comportamiento de ambos indicadores se muestra en la Fig. 5.10, se observa un comportamiento muy similar en los indicadores de los 1987 a los 3300 m s.n.m., con valores siempre superiores para el Primer indicador; sin embargo, de los 3300 a los 4054 m, se observa que el Indicador Hídrico-Edáfico 2, muestra mayor variabilidad e inclusive valores superiores al Indicador Hídrico-Edáfico 1.

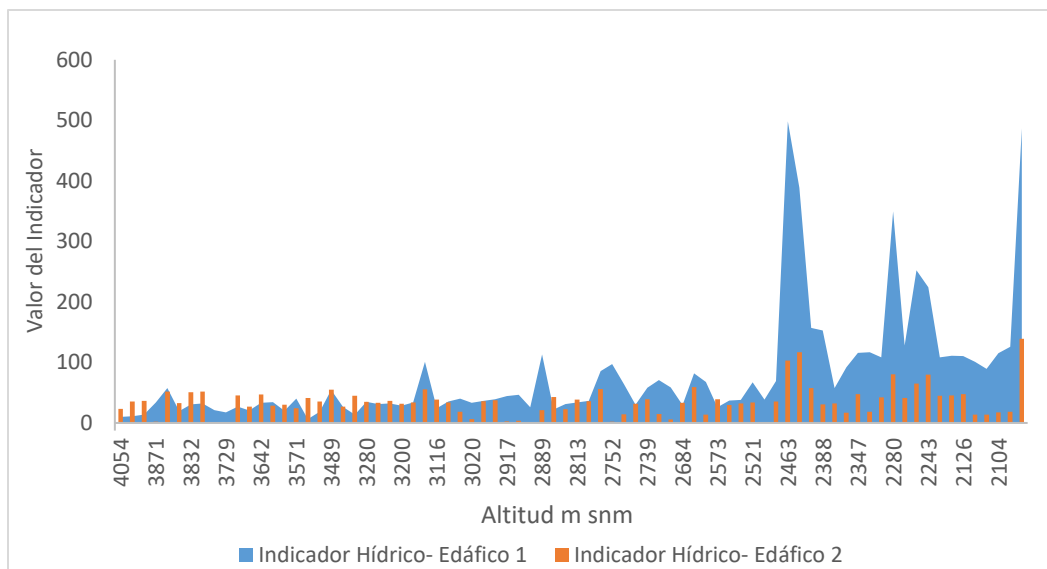


Figura 5.10. Variación altitudinal de los Indicadores Hídrico-Edáficos 1 y 2

Con base en los valores de los dos principales Indicadores Hídrico-Edáficos para cada Uso de suelo y Cobertura, en las diferentes épocas de muestreo y durante el periodo que abarca el proyecto, se obtuvieron los intervalos de valores para los diferentes Usos de suelo (Tabla 5.10) y Coberturas (Tabla 5.11)

Para después hacer la comparación de medianas y observar si cada uno de los indicadores presentaba diferencias entre los Usos de suelo (Figuras 5.11 y 5.12).

Tabla 5.10 Valores máximos y mínimos para los Indicadores Hídrico-Edáficos en cada uno de los diferentes Usos de suelo.

Uso de Suelo	Indicador Hídrico-Edáfico 1		Indicador Hídrico-Edáfico 2	
	Mín.	Max	Mín.	Max
Pradera de alta montaña	2.68	68.69	1.61	60.2
Forestal	5.63	60.21	0.58	59.12
Forestal perturbado	12.93	141.33	1.63	57.54
Recreativo - Forestal	20.87	92.58	6.88	65.55
Agrícola - Forestal	27.99	85.44	10.65	36.42
Agropecuario	21.61	135.53	0.1	48.39
Urbano	53.48	598.45	6.74	140.97

Los valores obtenidos para el primer Indicador Hídrico-Edáfico muestran el incremento en el valor del indicador conforme los Usos de suelo van siendo modificados en el gradiente altitudinal, las variaciones entre la Pradera de alta montaña y el Forestal son mínimas; a partir del uso Forestal perturbado estos valores se incrementan un poco, lo que corrobora su denominación en cuanto al estado del ecosistema. En los usos de suelo donde las actividades humanas son más frecuentes como el Recreativo-Forestal, el Agrícola-Forestal y el Agropecuario el valor del índice aumenta alcanzando valores mayores a 100 en el uso Agropecuario y finalmente en el caso del Uso Urbano, los valores del indicador son mucho mayores, llegando a más de 500, esto indica un deterioro grave en función de la cantidad de nutrimentos y sales en el sistema acuático representadas por este indicador (Figura 5.15).

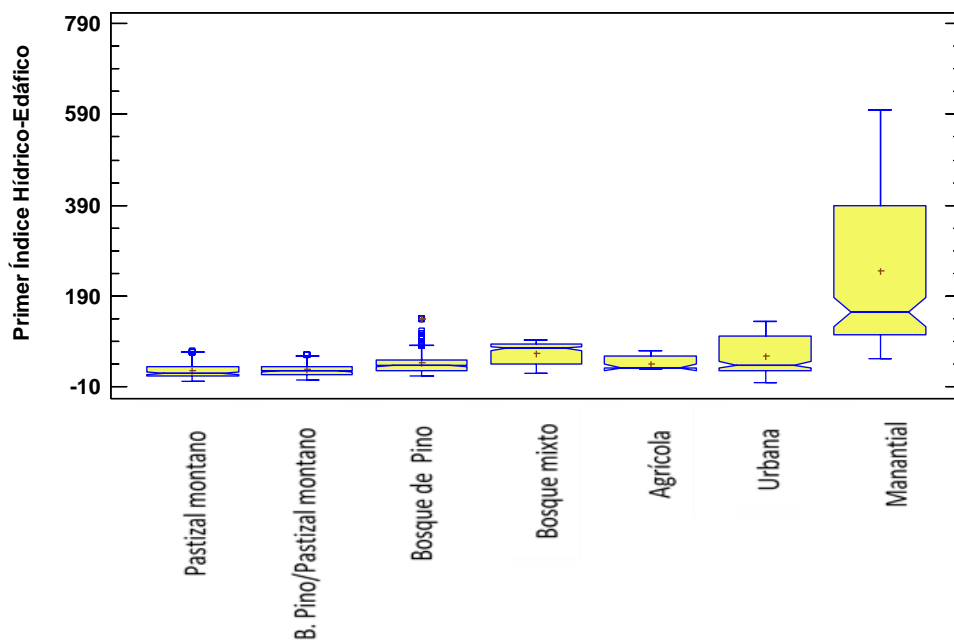


Figura 5.11 Variación del Primer indicador Hídrico Edáfico (Salinidad y nutrimentos) en función del Uso de suelo

En cuanto al segundo Indicador Hídrico-Edáfico en el que sobresalen el porcentaje de Carbono y espacio poroso en el suelo, muestra estabilidad en los primeros tres usos de suelo y un cambio perceptible se da en el uso Recreativo-Forestal; sin embargo, las condiciones mejoran los usos Agrícola-Forestal y con mayor variación en el Agropecuario, no así en el Urbano donde la variabilidad del indicador es elevada, además de alcanzar sus valores más altos Figura 5.12).

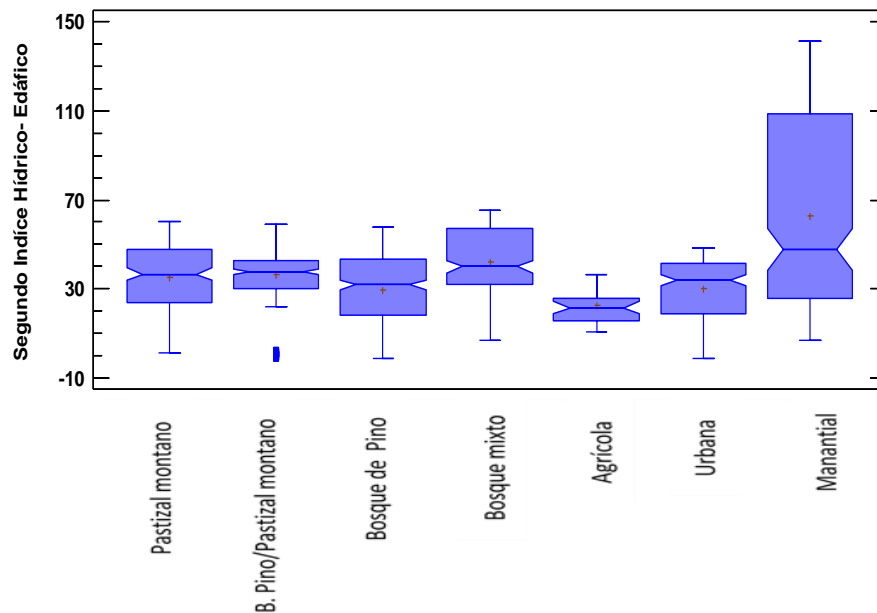


Figura 5.12 Variación del valor del Segundo indicador Hídrico Edáfico (COS y % EP) en función del Uso de suelo

Tabla 5.11 Valores máximos y mínimos de los Indicadores Hídrico-Edáficos 1 y 2 para las diferentes Coberturas del suelo

Tipo de cobertura	Indicador Hídrico-Edáfico 1		Indicador Hídrico-Edáfico 2	
	Min.	Max	Min.	Max
Pastizal montano	2.68	68.69	11.6	60.2
Bosque de Pino/Pastizal montano	13	45.26	21.81	56.35
Bosque de Pino	13	23.63	0.68	42.2
Bosque mixto	5.63	141.33	2.53	65.55
Agrícola	21.61	392.25	0.1	125.58
Urbana	53.48	598.45	13.53	140.97
Manantial	14.71	131.22	0.58	50.67

De acuerdo a los valores de la tabla 5.11. El primer Indicador Hídrico-Edáfico registra las mejores condiciones en el Bosque de Pino, que cambian de manera importante en el Bosque mixto y drásticamente en las coberturas Agrícola y Urbana, los sitios de Manantiales, desgraciadamente no presentan en general condiciones estables y en algunos son adversas (Figura 5.13).

La figura 5.13 muestra la estabilidad entre los primeros tres Usos de suelo, el incremento en valores del indicador y variabilidad en el Bosque mixto y la cobertura agrícola, con una ruptura total del comportamiento en la cobertura urbana con máxima variabilidad dentro de esta cobertura. La cobertura con manantiales es muy similar a la Agrícola, lo que no habla de estados de conservación adecuados.

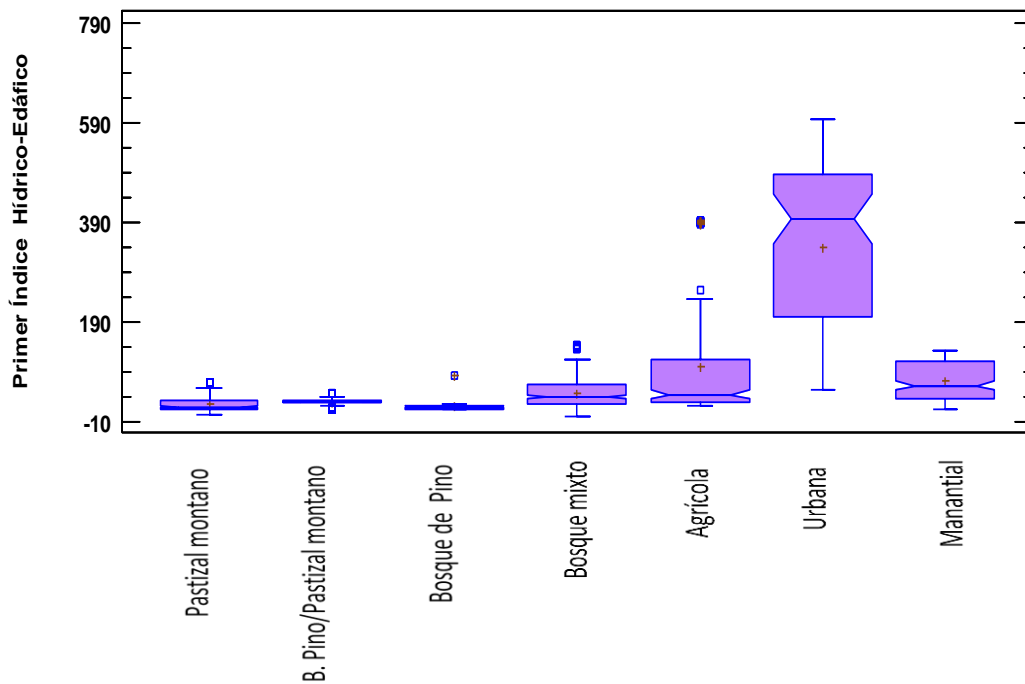


Figura 5.13 Variación del Primer indicador Hídrico Edáfico (Salinidad y nutrientes) en función de la Cobertura del suelo

En la figura 5.14, se observa que las coberturas con mayor dispersión son la de Bosque de Pino, los manantiales y desde luego la Urbana para este segundo Indicador y la que presenta menores valores del indicador es la de Bosque de pino y los valores que rebasan los de todas las coberturas son los de la Urbana.

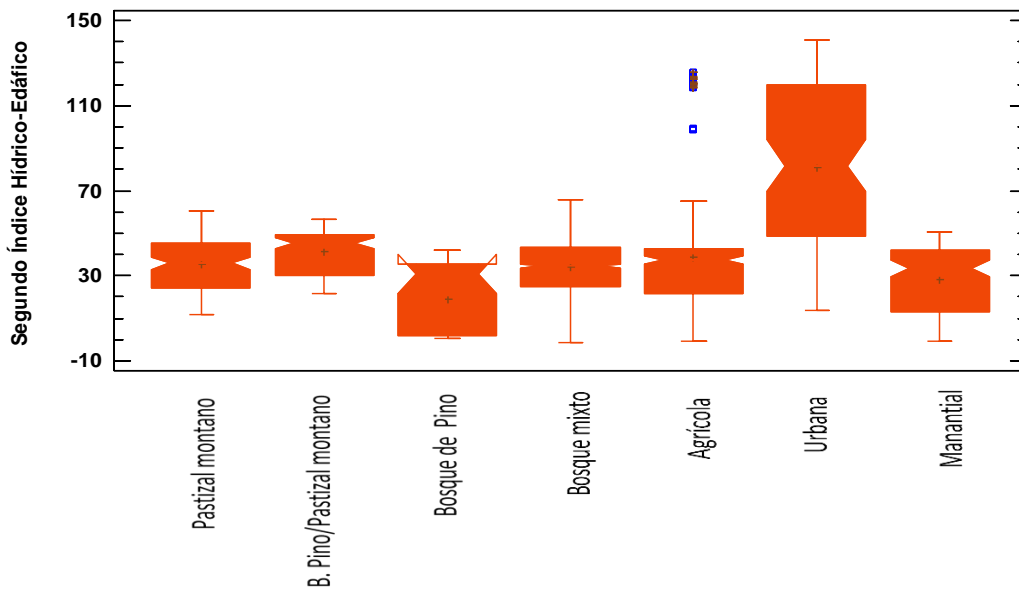


Figura 5.14 Variación del Segundo indicador Hídrico Edáfico (COS y % EP) en función de la Cobertura del suelo






Representación espacial y Zonificación con base en los indicadores Hídrico-Edáficos

Para la representación espacial de los Indicadores Hídrico-Edáficos, fue necesario en principio establecer una escala que relacionará la calidad del estado ribereño desde el punto de vista del agua y del suelo, con los valores obtenidos para el indicador en cada sitio y época del estudio.

Para realizar esto se alimentó la base de datos del SIG, y se realizó una clasificación de los valores de acuerdo al método de Jenks, ya que este respeta los cambios naturales que se presentan en el comportamiento de los datos sin forzar a un modelo establecido, lo que pareció lo más adecuado para lo que se quería representar.

La escala obtenida para el Primer Indicador Hídrico-Edáfico representado por la concentración de nutrientes y la salinidad de los sistemas ribereños, dio como resultado cinco clases con valores en un intervalo de 0 a 500 y se muestra en la tabla 5.12.

Tabla 5.12 Escala del Primer Indicador Hídrico Edáfico.

Valor del Indicador	Calidad Hídrico-Edáfica	Color
0 a 25.000	Muy Buena	
25.001 a 50.000	Buena	
50.001 a 100.000	Aceptable	
100.001 a 250.000	Mala	
≥ 250.001	Muy mala	

Una vez establecida la escala se obtuvo la calidad Hídrico-Edáfica, para cada sitio con el valor promedio obtenido para el Primer indicador y se elaboró el mapa correspondiente (Figura 5.15).

Posteriormente y con base en esta información se realizó un análisis geoestadístico, mediante interpolación por el método de la distancia inversa ponderada (IDW) y se obtuvo una zonificación que arrojó una clasificación de 10 zonas, que van de aquellas en donde existen ecosistemas ribereños de muy buena calidad a las zonas con un alto grado de deterioro y por lo tanto una Muy mala calidad ecológica en función de los nutrientes y salinidad (Figura 5.16).

La zonificación permite identificar las áreas con un estatus conservado de azules a amarillos y aquellas que dada sus condiciones presentan una gran vulnerabilidad y riesgo de deterioro, en colores de naranja a rojos.

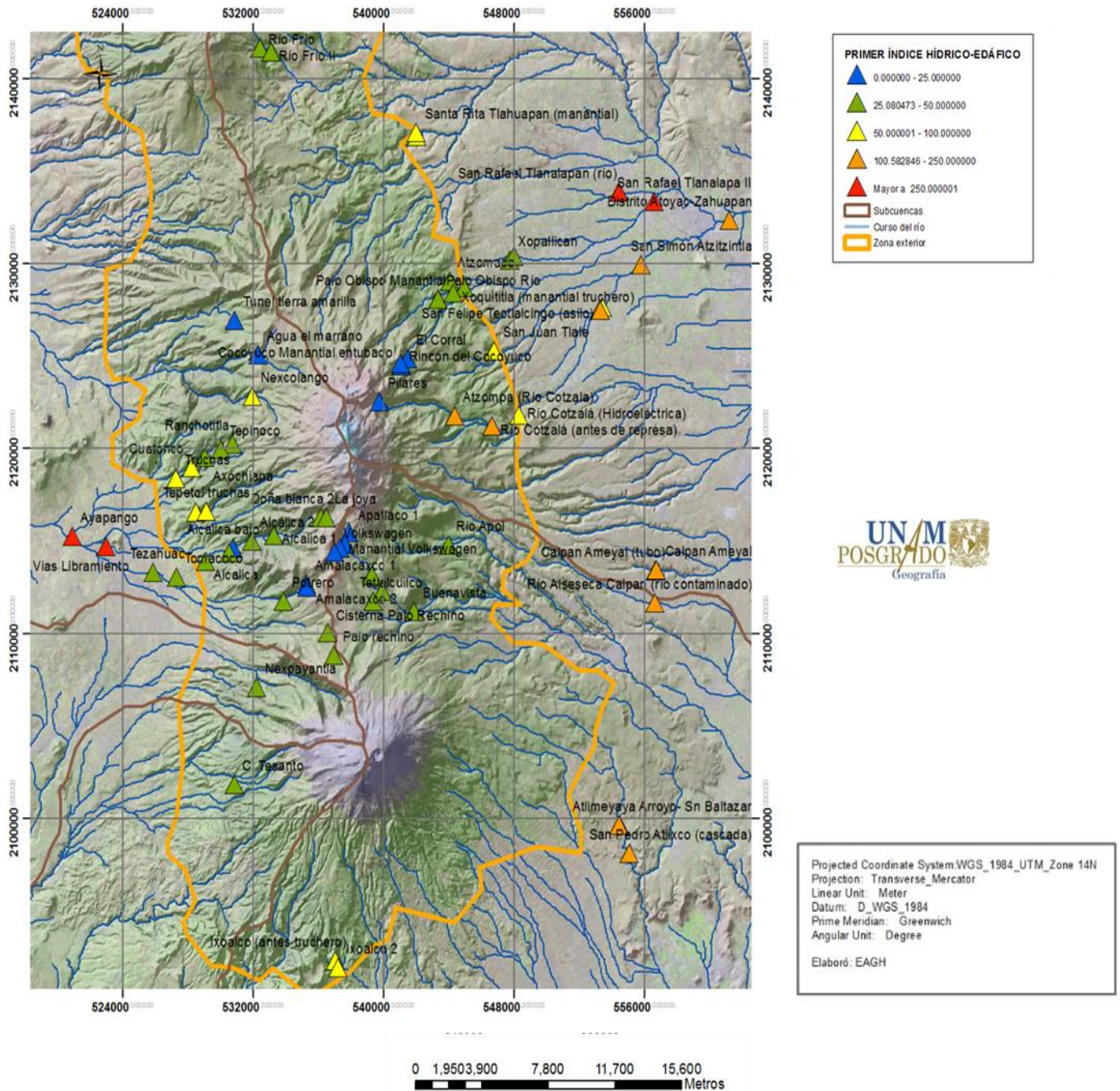


Figura 5.15 Representación espacial de la Variación del Primer indicador Hídrico Edáfico (Salinidad y nutrientes)

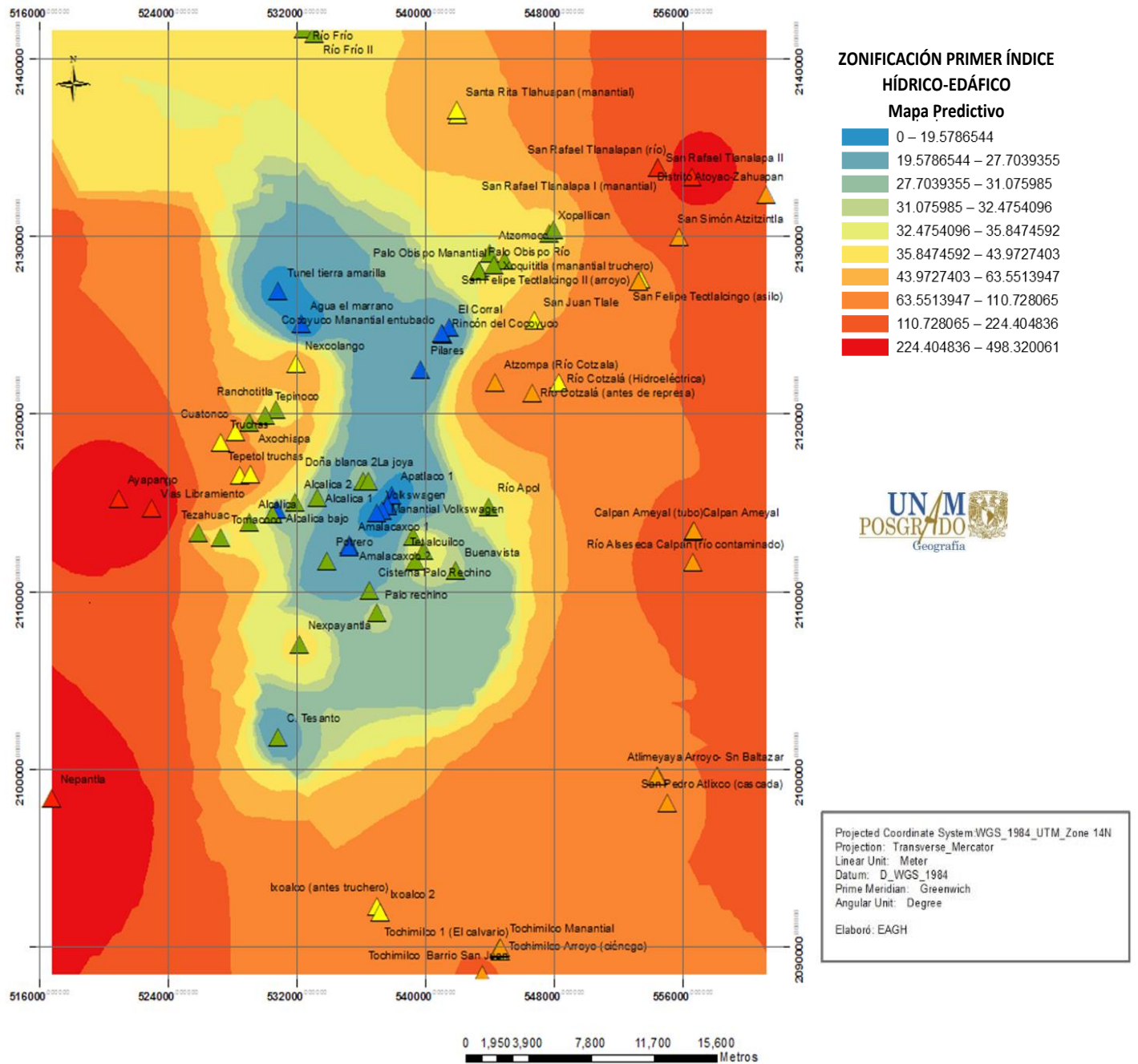







Figura 5.16 Zonificación con base en el Primer indicador Hídrico Edáfico (Salinidad y nutrientes)

Para el Segundo Indicador Hídrico-Edáfico que considera la cantidad de carbono y la compactación en el suelo de los ecosistemas ribereños, se obtuvieron también cinco clases, en un intervalo de valores que van de 0 a 150 unidades, la clasificación obtenida se muestra en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13 Escala del Segundo Indicador Hídrico-Edáfico

Valor del Indicador	Calidad Hídrica-Edáfica	Color
0 a 6.000	Muy Buena	
6.001 a 25.000	Buena	
25.001 a 50.000	Aceptable	
50.001 a 80.000	Mala	
≥ 80.001	Muy mala	

Obtenida la escala para el Segundo Indicador Hídrico-Edáfico, se obtuvo el mapa con la representación espacial de la calidad de los ecosistemas ribereños (Figura 5.17).

Siguiendo el mismo método de zonificación con el SIG, para el Segundo Indicador Hídrico-Edáfico se encontraron nueve zonas, que van desde los ecosistemas ribereños con muy buena calidad hídrico-edáfica con color azul que va cambiando paulatinamente y se representa con una gama de colores fríos a cálidos donde el rojo representa zonas de Muy mala calidad, mostrando aquellas que son vulnerables con los colores amarillos y naranjas (Figura 5.18). Una vez registrados todos los sitios, de acuerdo a las escalas establecidas, se resumió la calidad Hídrico-Edáfica encontrada para los dos indicadores en función del Uso de suelo (Tabla 5.14) y de la Cobertura (Tabla 5.15).

Tabla 5.14 Variación de la Calidad del sistema ribereño en función de los Indicadores Hídrico-Edáficos 1 y 2, para los diferentes Usos de suelo.

Uso de Suelo	Calidad	
	Indicador Hídrico-Edáfico 1	Indicador Hídrico-Edáfico 2
Pradera de alta montaña	Muy buena	Muy buena
	Aceptable	Mala
Forestal	Muy buena	Muy buena
	Aceptable	Mala
Forestal perturbado	Muy buena	Muy buena
	Mala	Mala
Recreativo - Forestal	Muy buena	Buena
	Aceptable	Mala
Agrícola - Forestal	Buena	Buena
	Aceptable	Aceptable
Agropecuario	Muy buena	Muy buena
	Mala	Aceptable
Urbano	Aceptable	Buena
	Muy mala	Muy mala

Tabla 5.15 Variación de la Calidad del sistema ribereño en función de los Indicadores Hídrico-Edáficos 1 y 2, para las diferentes Coberturas del suelo.

Tipo de cobertura	Calidad Indicador Hídrico-Edáfico 1	Calidad Indicador Hídrico-Edáfico 2
Pastizal montano	Muy buena	Buena
	Aceptable	Mala
Bosque de Pino/Pastizal montano	Muy buena	Buena
	Buena	Mala
Bosque de Pino	Muy buena	Muy buena
	Muy buena	Aceptable
Bosque mixto	Muy buena	Muy buena
	Mala	Mala
Agrícola	Muy buena	Muy buena
	Muy mala	Muy mala
Urbana	Aceptable	Buena
	Muy mala	Muy mala
Manantial	Muy buena	Muy buena
	Mala	Mala

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

El sistema fluvial es sensible a una gran cantidad de cambios climáticos, meteorológicos, tectónicos, volcánicos, litológicos, hídricos, edáficos, bióticos y antrópicos. Todos ellos modifican las condiciones naturales y el equilibrio de la ribera, del cauce y de los organismos que lo habitan o dependen de él para sobrevivir (Castillo *et. al.* 2015).

La pérdida de vegetación o su transformación, así como el cambio en la vocación del suelo inducen modificaciones en el entorno que impactan de manera positiva o negativa las propiedades del agua y del suelo y desde luego la calidad del sistema ribereño en muchos casos haciéndolo más vulnerable a cambios menores (Nunes, et al., 2014).

El generar los indicadores hídrico-edáficos, obedece a la necesidad de contar con una herramienta útil de diagnóstico y que permita tomar decisiones en menor tiempo para evitar el deterioro del ecosistema ribereño y evitar llegar al planteamiento de estrategias de mitigación o rehabilitación que llevarán muchos años y nunca logran reestablecer las condiciones originales

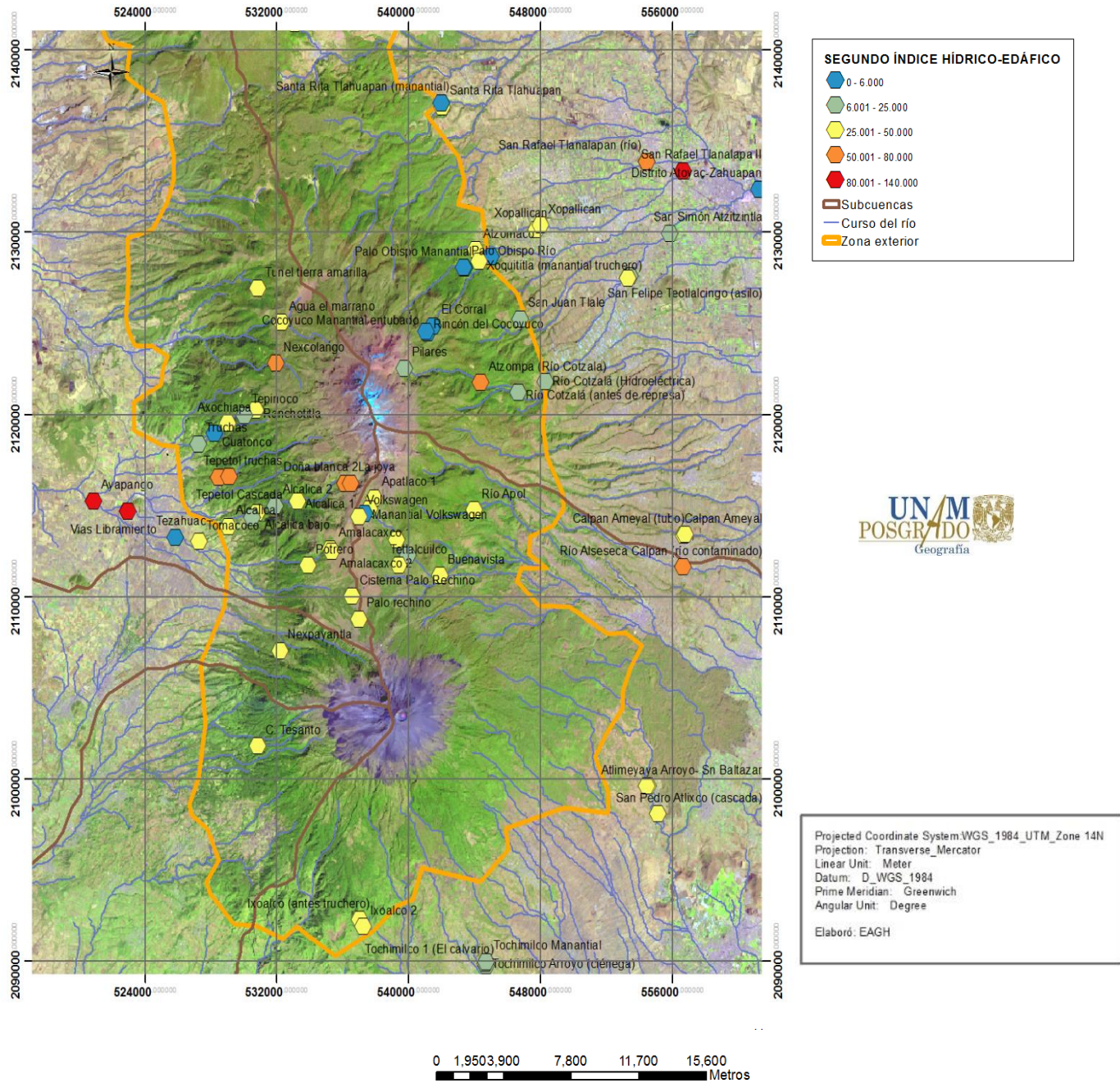


Figura 5.17 Representación espacial de la Variación del Segundo indicador Hídrico Edáfico (COS y % EP)

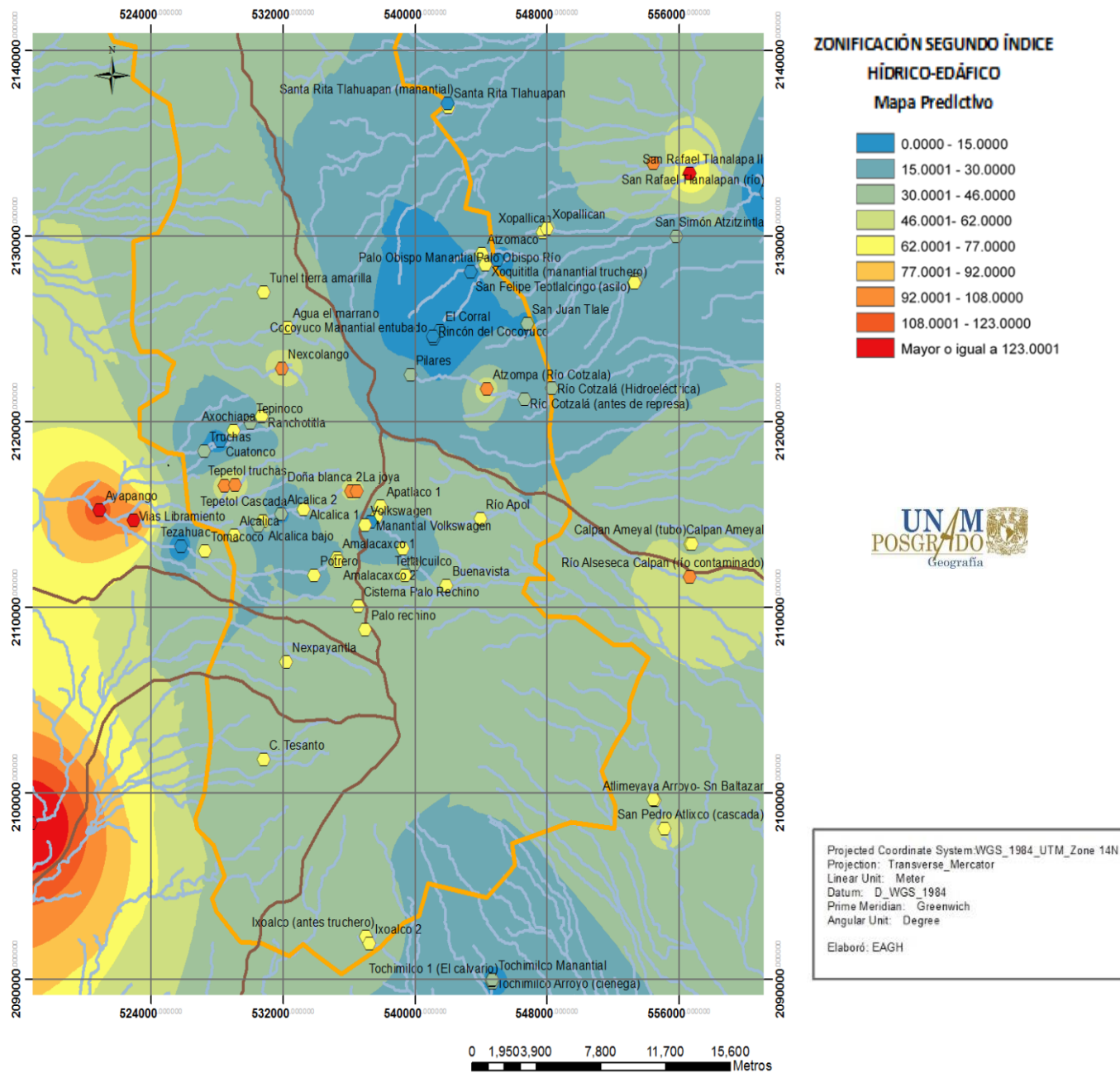


Figura 5.18 Zonificación con base en el Segundo indicador Hídrico Edáfico (COS y % EP)

Selección de variables

Es importante hacer incapié que los 40 parámetros registrados, geográficos, ambientales, hídricos y edáficos, son aquellos que se realizan regularmente en un estudio ecológico ya sea para agua o para suelo, razón por la cual fueron el punto de partida de la investigación, sin embargo la finalidad es su selección paulatina con argumentos y bases estadísticas, de tal manera que se obtuviera los de mayor significancia para explicar el comportamiento de los ecosistemas ribereños de la RBLV, en el intervalo altitudinal entre 2000 y 4000 m s.n.m.

En primera instancia se decidió que algunas de las variables serían los ejes de comparación, como fue la altitud, la cobertura y el uso del suelo y además no considerar como variable la textura por su redundancia al incluir los porcentajes de arena, limo y arcilla. El ACM aplicado en la primera etapa de la selección estadística de variables, fue un acierto por su utilidad, ya que de los 34 parámetros básicos considerados, se seleccionaron solamente 15 de ellos, como representativos, con base en las correlaciones significativas y la eliminación de parámetros colineales.

Los 15 parámetros seleccionados, son sin duda representativos del comportamiento de estos ecosistemas, al estar presentes la conductividad que indica la cantidad de sales y sólidos disueltos; el oxígeno, la DQO y DBO₅ habla de las condiciones de óxido-reducción que prevalecen en el ecosistema y el grado en que la degradación de materia orgánica se esta llevando a cabo, el equilibrio entre los nutrientes se hace visible con los nitratos, el amonio y el fósforo total, lo cuál da un panorama de la condición trófica del sistema acuático. Las propiedades seleccionadas para el suelo también hablan de su calidad nutrimental con el fósforo extractable y el porcentaje de nitrógeno total, de su productividad a través del contenido de carbono orgánico, su salinidad mediante la conductividad eléctrica y su drenaje cuando se muestran con propiedades importantes como los porcentajes de espacio poroso y arena en cada uno de los suelos estudiados. Finalmente como un parámetro integrador que tiene gran influencia en el ambiente terrestre y el acuático está la velocidad de corriente que muestra con que rapidez se desplazan los sólidos y nutrimentos en la conectividad longitudinal del río y la dinámica de la interacción suelo-agua en la conectividad transversal. Por lo tanto, se considera que el realizar este tipo de análisis como el primer filtro es altamente recomendable, para evitar que haya variables que aunque parezcan independientes, al tener colinealidad, brinden información similar a otra, lo que que causaría problemas en la siguiente etapa del ACP.

El ACP, alimentado con los 15 parámetros elegidos mediante el proceso anterior, arrojó como resultado cinco componentes que explican en un 71.80% la variabilidad del sistema (Tabla 5.2) esto es un efecto de la complejidad del sistema y lo difícil que es representar el comportamiento multifactorial a través de solamente algunas variables. Los componentes agruparon las 10 variables que indicaron de manera más significativa los cambios en los sistemas ribereños, con la información obtenida para los 78 sitios de estudio de 2010 a 2014.

Primer componente: este es el componente que representa el 27.6 % de la variabilidad y considera la dinámica nutricional y de concentración de sales mediante la conductividad, el fósforo total, la alcalinidad y los nitratos.

Segundo componente: estuvo dirigido a las propiedades edáficas con un 13.29 %, corroborando la importancia del porcentaje de carbono en la productividad y el porcentaje del espacio poroso indicando el tipo de drenaje en estos suelos.

Tercer componente: representado solo por dos variables explica el 12.5% de variabilidad de los ecosistemas ribereños estudiados y muestra la relevancia del nitrógeno por medio de los nitratos y la importancia de la velocidad de corriente en estos cambios.

Cuarto componente: Con un 11%, es indicativo de las condiciones de oxidoreducción y degradación de materia orgánica en el agua, con la concentración de oxígeno disuelto y su demanda bioquímica.

Quinto componente: se encuentra solamente representado por la conductividad eléctrica del suelo que impacta en 7 % de la variabilidad total de estos sistemas.

La generación de cinco componentes para explicar el 71.8% de la variabilidad del sistema, corrobora la complejidad de su comportamiento y indica que las 10 variables que los conforman son las que mejor ilustran lo que sucede en los sistemas en los ejes espacial y temporal. A partir de este resultado se analizó la pertinencia de convertir estos componentes en los Indicadores Hídrico edáficos. La decisión fue incluir no solamente el primer componente como el único Indicador Hídrico-Edáfico, sino considerar también el componente 2, como un Segundo Indicador Hídrico-Edáfico y ver la coincidencia de la clasificación obtenida para ambos con las condiciones prevalecientes para cada sitio según las observaciones y mediciones en campo, lo cual permitió validar estos dos modelos.

La comprobación de la congruencia de las 10 variables extraídas a través del ACP, fue realizada por el ACC, donde estas variables fueron separadas en dos bloques, el hídrico con siete variables, seis del agua y la velocidad de corriente; y el edáfico con la tres variables de suelo seleccionadas. A partir del ACC se identificaron tres conjuntos de ecuaciones que comprueban la relaciones significativas entre ambos bloques. Los gráficos obtenidos a partir de los tres conjuntos de correlaciones significativas mostrados (Figuras 5.5, 5.6 y 5.7) resaltando que el primero y el tercero de estos conjuntos tienen evidentemente una tendencia de correlación lineal, entre los bloques hídrico y edáfico, mientras que en el segundo existe evidentemente una relación entre los bloques pero esta no es lineal. Y los tres conjuntos corroboran la significancia de estas 10 variables para representar los procesos que tuvieron lugar en estos ecosistemas durante el periodo del estudio.

Los resultados encontrados con el procesamiento estadístico aplicado son congruentes con la información de campo y lo que se ha observado en otros estudios realizados en el PNIP a través del análisis de la calidad física y química del agua o del suelo. Los indicadores hídrico-edáficos obtenidos cumplen con el propósito para el que fueron generados y su validación se da al aplicarlos y ver como el estado del ambiente ribereño estimado, coincide plenamente con las observaciones de

campo, lo que se discute más ampliamente en las comparaciones por cobertura y uso de suelo, así como en la zonificación.

Comprobación de categorías propuestas para Uso y Cobertura del Suelo (ARN)

La aplicación del ARN, fue realizada para comprobar que la clasificación propuesta inicialmente tanto para coberturas, como para uso de suelo, con base en trabajos anteriores realizados en el laboratorio y sobre todo valorando la caracterización realizada en campo para cada uno de los sitios de estudio.

En el caso del Uso de suelo, es muy interesante como además de haber obtenido como resultado del ARN los siete grupos que coinciden con las siete categorías de Uso de suelo propuestas en un 98.93%, cuatro de las categorías son 100% coincidentes y tres de ellas lo son en más del 97% (Tabla 5.7). Si se considera que estas tres categorías son de actividad forestal, pero en una de ellas el bosque tiene signos de perturbación y en la otra se llevan a cabo en esa área del bosque, actividades recreativas, es fácil de entender que entre estas categorías no haya límites muy marcados, pero si áreas de transición que comparten características; donde es difícil establecer sí el grado de perturbación es bajo, a cual de las dos categorías pertenecen. O bien cuando los ecosistemas perturbados son utilizados para actividades de recreación, sin que estas sean intensivas o incluso solo son sitios con visitas poco frecuentes. Debido a lo anterior podemos asegurar que el resultado fue satisfactorio y corroboró las categorías por Uso de suelo propuestas (Figura 5.8).

Las categorías propuestas para la cobertura de suelo, se comprueba estadísticamente que fueron correctas en un 99.03% (Tabla 5.8), registrando como coincidentes al 100% las coberturas urbanas y con manantiales. Mientras que las demás fluctúan en un porcentaje correcto entre 93.33 y 99.37, por lo tanto la clasificación se puede tomar como adecuada en todas las categorías, considerando que los cambios entre una y otra categoría son transicionales y no con límites o barreras fijas. Por lo tanto, se corrobora que la categorización propuesta para las coberturas del suelo fue adecuada, con la generación de siete grupos como resultado de la red neuronal aplicada para la clasificación (Figura 5.9).

Cálculo y Comparación de los Indicadores Hídrico-Edáficos en función del Uso y Cobertura del suelo.

El cálculo para los 78 sitios del valor promedio para de cada uno de los indicadores (Tabla 5.9) permite ver el estado ribereño de ese sitio de manera particular destacando cuatro sitios con valores muy bajos de acuerdo al Primer Indicador y por

lo tanto Muy buena calidad, estos son Agua el Marrano, Pilares, Apatlaco 1 y la zona de Volkswagen y seis sitios con valores muy altos de este indicador lo que muestra que son los sitios que se registraron con la más baja calidad y son: Vías libramiento, Nepantla, Ayapango, San Rafael Tlanalapa Río, San Rafael Tlanalapa II y Distrito Atoyac-Zahuapan. Estos resultados tienen una gran congruencia con los registrados para el sistema acuático en el capítulo 3 y para la información recabada en otros trabajos realizados en el laboratorio. Además de ser coincidente con lo reportado en otros sistemas donde se menciona la relación de calidad del agua en relación con la actividad humana en ellos (Amóros y Bornette, 2002; Figuepron et al., 2013; Wijesiri et al., 2018; Gu et al., 2019).

Por otro lado, de acuerdo al Segundo indicador los que tienen valores menores son Manantial y Rincón del Cocoyuco, Palo obispo en el río y manantial, Cuatonco y Tezahuac, llaman la atención esos dos últimos que son de uso agropecuario, el primero con cobertura de Bosque mixto y el segundo con cobertura agrícola, pero presentan un buen estado edáfico según su drenaje y cantidad de carbono. Aquellos con valores más altos y peor calidad en función de este indicador son Nepantla, Vías Libramiento y Ayapango, resaltando que estos resultados empatan con los obtenidos de acuerdo al primer indicador.

En la Figura 5.10 se observa una tendencia al incremento de ambos indicadores conforme disminuye la altitud. Para el primer Indicador se ven diferentes etapas una muy estable de los 4054 a los 3200 m, incrementos moderados en varios sitios ubicados en altitudes entre 3200 y 2500 m s.n.m. y cambios con valores muy altos y calidad muy deteriorada entre 2500 y 1900 m. Para el segundo indicador se observan dos zonas, la primera entre los 4054 y los 2500 m, con cambios pequeños y moderados entre los distintos sitios y la segunda zona con mayores fluctuaciones en la calidad entre los 2500 y 1900 m, detectando algunos sitios con muy bajos valores para el indicador, a pesar, de las actividades que se llevan a cabo son principalmente agropecuarias y otros sitios con los valores más altos registrados en donde sobresalen las zonas con asentamientos humanos.

Sí los indicadores sintetizan la información de las principales variables en el sistema; el impacto que sufre el ecosistema ribereño en sus propiedades hídrico-edáficas, en los diferentes usos del suelo o diferentes coberturas se ve reflejado en estos indicadores. Por lo tanto, los resultados del capítulo tres y cuatro, permiten inferir los resultados de los dos Indicadores Hídrico-Edáficos generados en el capítulo cinco, y la congruencia sobre la calidad de los ambientes ribereños en función de las condiciones hídrico-edáficas.

El primer indicador Hídrico-Edáfico, que tiene un enfoque en la concentración de nutrientes y la salinidad del ecosistema ribereño, muestra de acuerdo a la Tabla 5.10 y a la Figura 5.11, que los Usos de suelo, Pradera de alta montaña y Forestal permanecen estables con una buena calidad, por lo que se recomienda que en estos sitios se realice un manejo de protección y conservación para lograr la sostenibilidad y que su calidad, belleza y servicios ambientales se mantengan. En aquellos ecosistemas que tienen un uso forestal, pero presentan perturbaciones, se nota un ligero impacto y variabilidad en su calidad que sin duda puede ser recuperada, con estrategias de manejo que minimicen las actividades de perturbación en el

ecosistema, como la tala, la presencia de ganado, el retiro de la vegetación ribereña, la visita masiva en algunas épocas del año, etc. Los usos Recreativo-Forestal y Agrícola-Forestal muestran una mayor variabilidad en la calidad de los ambientes ribereños, de acuerdo a este indicador, en donde la afectación del ecosistema es evidente; sin embargo con un manejo más conciente, un cambio en la forma de ver al ecosistema y educación a los diferentes sectores, se podría mejorar su calidad a mediano plazo. En el caso del uso Agropecuario se identifica un cambio más notorio y mayor variabilidad, con daños evidentes en los ecosistemas ribereños con este uso de suelo, que podrían reducirse si se cambian los sistemas productivos del campo que son utilizados hasta ahora, revalorando la importancia del suelo y el agua no solo para la productividad agrícola de mejor calidad, sino para la vida. Por último en el caso del uso de suelo urbano, como ya se había observado para la calidad del agua y del suelo, el impacto es muy claro, pero que se presenta en una gama amplia de deterioro en los diferentes ecosistemas ribereños con esta categoría y en todos los casos los efectos son graves, dando lugar a sitios con muy mala calidad y que requieren de cambios muy drásticos para lograr una recuperación a mediano o largo plazo, en aspectos como educación, conocimiento del entorno, estrategias de manejo del ecosistema ribereño, prohibición de descargas de aguas residuales ganaderas, agrícolas, domésticas y de residuos sólidos.

El segundo indicador Hídrico-Edáfico se centra en el porcentaje carbono orgánico y el porcentaje de espacio poroso del suelo, pero es con éste último con el que tiene una relación directamente proporcional. Su comparación entre los diferentes usos de suelo con base en la Tabla 5.10 y la Figura 5.12, muestra que existen diferencias significativas entre ellos de manera general, pero similitudes en los Usos como Pradera de alta montaña, Forestal y Forestal perturbado; las variaciones notables en este indicador aparecen con el Uso Recreativo-Forestal incrementándose el valor y la variabilidad del indicador como consecuencia de sus efectos en el ecosistema ribereño. Los ecosistemas con uso Agrícola forestal registran una disminución en el valor y poca dispersión, incrementándose ambos aspectos en el uso de suelo agropecuario, pero manteniendo un valor del indicador cercano a 50 y calidad aceptable. En el diagrama el uso de suelo urbano, presenta de forma evidente el impacto que este uso de suelo ha tenido en los ecosistemas ribereños y la variabilidad que hay entre ellos, registrando sitios desde buena hasta muy mala calidad, con base en este indicador.

En la comparación de ambos indicadores en función de la cobertura del suelo (Tabla 5.11), tenemos lo siguiente: El primer indicador Hídrico-edáfico (Figura 5.13) se mantiene estable con buena calidad y con poca variabilidad en las coberturas de Pastizal montano, Bosque de Pino/Pastizal montano y Bosque de pino, la calidad empieza a disminuir ligeramente y la variabilidad a incrementarse a partir del Bosque mixto esto se explica ya que la cobertura es menos densa, con cambios importantes en el dosel, la vegetación tiene un patrón más heterogéneo y el acceso a estas zonas es más frecuente. Las zonas agrícolas tienen una mayor variabilidad con sitios que van de buena a mala calidad y un sitio atípico con muy mala calidad. La cobertura urbana como hemos visto en todos los casos cambia radicalmente las condiciones de los ecosistemas ribereños y los lleva de buena calidad a muy mala calidad. Esta

visualización muestra la gravedad de seguir abandonando los ecosistemas ribereños en las zonas urbanizadas o con asentamientos humanos sin atención, a pesar del mal aspecto visual que tienen estos sitios y la pérdida de beneficios ambientales y paisajísticos, debemos incidir en el daño a la salud ambiental y humana que se está generando en ellos y de los cuales no parecen percatarse las autoridades y los pobladores. Por último, la categoría de manantiales, aunque en muchos de los sitios están identificados y hay una extracción continua de agua, algunos presentan deterioro evidente aunque su calidad va de muy buena a aceptable, es necesario centrar la atención en esta cobertura por su vulnerabilidad, alta explotación y riesgo a desaparecer.

El segundo indicador Hídrico-Edáfico (Figura 5.14) presentó mayor estabilidad en las diferentes coberturas del suelo, destacando sus cambios en el Bosque de pino donde tiende a disminuir en valor y aumentar en variabilidad con respecto a las coberturas de Pastizal montano, Bosque de Pino/Pastizal montano, Bosque mixto y Agrícola. Al igual que para el primer indicador Hídrico-edáfico, la cobertura urbana refleja un gran impacto y variabilidad sobre la calidad ecológica de los sistemas ribereños con sitios desde Buena calidad hasta Muy mala y desviando las alertas siempre al impacto que esta cobertura genera en los ecosistemas. Para la cobertura de manantiales también este indicador los lleva desde muy buena calidad hasta aceptable e invita a reflexionar en el cambio que debe sufrir el manejo y conservación de esta cobertura para seguir proporcionando los beneficios ecosistémicos de manera sostenible, sin sobreexplotación y con mayor protección para lograr su preservación a largo plazo.

Los ecosistemas ribereños de la RBLV, sufren de manera natural cambios espaciales por las condiciones geomorfológicas, topográficas, climáticas, meteorológicas y edáficas, conforme descienden altitudinalmente, sin embargo a través de esta investigación podemos decir que la calidad Hídrico-edáfica de estos ecosistemas tiene una relación directa con los cambios que se van dando de manera paulatina y moderada con la modificación en la vocación del suelo. Sin embargo, como se puede visualizar en las Figuras 5.15, 5.16, 5.17 y 5.18, los cambios que se empiezan a registrar en la tercera o cuarta categoría, se vuelven notorios en la cobertura agrícola y uso agropecuario, pero son evidentemente graves cuando la cobertura se vuelve urbana y los usos del ecosistema ribereño cambian, con extracción inmoderada de agua y en ocasiones también de suelo, alteración de la ribera, el margen del río y la orilla, eliminación de la vegetación ribereña, lo que impide que la ribera del río cumpla con su función de amortiguamiento, filtración y estabilización, dando como resultado un ecosistema deteriorado que además recibe descargas de aguas residuales agrícolas, domésticas y en casos extremos industriales o mineras, así como el vertido indiscriminado de residuos sólidos, lo que coincide con el impacto en los sistemas fluviales por agricultura y urbanización mencionado por otros autores (Liberoff, et al. 2019., Escobar, 2006, Miller, et al., 2014., Takana, et al. 2016).

A través del tiempo hemos sido testigos de cómo el acceso a los ecosistemas de mayor altitud ha ido en aumento, la cantidad de visitantes y la diversidad de las actividades que realizan, la presencia de ganado pastando en la pradera natural, tampoco pasa desapercibida y se hace evidente en los cambios de algunos de los sitios de estudio, el crecimiento de las actividades recreativas, piscícolas y el establecimiento de centros ecoturísticos o de producción de especies vegetales

para explotación y venta, sin lineamientos claros porque están fuera de los límites del PNIP en áreas de bienes comunales, ejidales o de propiedad privada. La presión demográfica de los poblados de la zona de influencia, aunada a el incremento en su desarrollo y el aumento de caminos y vialidades, así como el desarrollo de áreas con infraestructura habitacional temporal para fines de semana o vacaciones.

Es urgente tomar medidas que generen un cambio en la percepción de la gente y de las autoridades en donde se reconozca que las acciones que realizan dañan severamente a los ecosistemas ribereños y su calidad, dando como resultado sistemas muy deteriorados que pierden productividad, han dejado de ser agradables a la vista y dañan la salud, haciendo que la niñez y juventud de esta zona no pueda gozar y valorar la riqueza ambiental que podría tener.

Representación espacial y Zonificación con base en los indicadores Hídrico-Edáficos

Una vez conformados los Indicadores Hídrico-Edáficos, en donde se establecen las variables con mayor significancia en el ecosistema y sus pesos para cada uno de los indicadores establecidos, se calcularon los indicadores y se analizaron los valores obtenidos, pero era indispensable elegir una escala pertinente de acuerdo a los valores y congruente con la información recabada en campo. Al utilizar el SIG, se estudiaron las opciones de clasificación disponibles y se seleccionó aquella que respetaba de la mejor manera los cambios que se presentaban en los ecosistemas ribereños estudiados. Las escalas obtenidas para los dos indicadores son adecuadas para la representación de la calidad de estos ambientes; al analizar y comparar no solo estadísticamente, sino ecológicamente las características de los sitios con los valores obtenidos para ambos indicadores y que exista congruencia en casi todos ellos.

Cada uno de los Indicadores fue tratado de manera independiente, pero en ambos, se distinguieron cinco clases, de acuerdo a las separaciones naturales que reconoce el Método de Jenks, lo que corrobora el comportamiento de los datos.

En el caso del Primer Indicador Hídrico-Edáfico, los valores obtenidos fueron desde 2.68 hasta 598.45, y la escala considera para las dos primeras clasificaciones intervalos de 25 unidades, para la tercera de 50 unidades, la cuarta el intervalo es de 150 y para la última aquellos valores superiores a 250 unidades, esto sigue el comportamiento propio de los datos y no un modelo establecido, elegido de manera arbitraria.

Si se observa cuidadosamente, el mapa correspondiente al Primer Indicador Hídrico-Edáfico, se identifica que en la cuenca alta, superior a 3200 m, se localizan el 85% de los sitios catalogados con Muy buena calidad, el 40 % de los de Buena calidad y solo dos sitios que tienen calidad aceptable, uno de ellos es un nacimiento de agua muy conocido al que se le da el nombre de Doña Blanca, que se encuentra a 3870 m y es emblemático por la cantidad de ceremonias y rituales que se llevan a cabo en el lugar, en diferentes épocas del año; el otro es Nexcolango, lugar muy conocido

por los alpinistas que ascienden al Iztaccíhuatl, por ser una zona de campamento casi a 3500 m de altitud. La disminución en la calidad del agua de estos dos sitios, cuando a su alrededor hay mejores condiciones indica el impacto que causa la presencia de los visitantes frecuentes en la calidad ecológica de estos sistemas.

En el intervalo altitudinal entre 2500 y 3200 m s.n.m., se ubican el 15 % de sitios con calidad Muy buena, el 60% de los de buena calidad, 67% de los de calidad Aceptable y 13% de mala calidad. Sin embargo, por debajo de la cota de 2500 m tenemos 20 de ecosistemas con calidad aceptable, 87% de los de mala calidad y el 100% de los de Muy mala calidad. Estos porcentajes dan una idea clara de la situación en la RBLV. Todos los sitios deben ser monitoreados y cuidados, pero hay gran diferencia entre la conservación de las condiciones ecológicas en los sitios con Muy buena calidad, establecer estrategias de recuperación y extremo cuidado con los sitios donde la calidad es buena, para propiciar que esta mejore, lo cual puede suceder en un mediano plazo con estrategias claras de monitoreo, control, concientización y educación a los visitantes; así como evitar la presencia de ganado libre y tala. En los ecosistemas ribereños que presentaron calidad aceptable, las campañas de educación y concientización a alpinistas, lugareños y visitantes en general deben ser exhaustivas para evitar que los residuos de su visita queden en el lugar y afecten al ecosistema, generar un ordenamiento para los procedimientos que deben seguirse con la basura, los que hay que llevar a cabo con residuos orgánicos y hasta establecer medidas para los sitios donde evacuar, de tal manera que se evite que la contaminación fecal, llegue a los sistemas acuáticos.

La localización en el mapa (Figura 5.15) de cada uno de los sitios es de gran utilidad para dar a conocer a los diferentes sectores de la sociedad que conviven en la RBLV, cual es la situación de los sistemas ribereños y la razón de esta condición ecológica. En muchas ocasiones, las conversaciones con los pobladores que viven en la RBLV, permiten reconocer diferentes grupos, los que tienen plena conciencia del deterioro que están sufriendo los ecosistemas ribereños y están muy interesados en hacer acciones que cambien la situación; aquellos que se dan cuenta que hay problemas de deterioro pero no tienen la información, ni la conciencia de que son parte del problema y por lo tanto ni siquiera han pensado en hacer algo; aquellos que ante la problemática quieren mejorar su entorno, pero por falta de información las acciones que realizan empeoran la situación, como ejemplo, está el caso de los pobladores que con la intención de limpiar el acceso al río o arroyo eliminan la vegetación ribereña y disminuyen la capacidad amortiguadora, de filtración y de retención de sedimentos de la zona de ribera. Otro grupo potencialmente más peligroso es aquel que está informado, conoce los procesos que se dan en la zona alta, media y baja de la RBLV, pero considera que los servicios ecosistémicos que se generan deben canalizarse a la creación de zonas habitacionales, desarrollo agrícola tecnificado y desarrollo empresarial sin evaluar el impacto que la presión de estos servicios genera en la zona de la cuenca media y alta, a los Bosques, a los ríos y arroyos y desde luego a la población que ahí habita; sin embargo esto no es nuevo se ha identificado en otros lugares, pero la respuesta ante esto es diferente en diferentes países del mundo.

Es muy importante dar a conocer a la población y autoridades de los sitios con clasificados en color rojo y naranja, ya que representan un riesgo ecológico y para la

salud de los pobladores y presentarles alternativas una vez que se ha identificado, el radio en donde cambio la condición ecológica del sistema fluvial.

La zonificación (Figura 5.16) que se realizó para el Primer Indicador Hídrico-Edáfico (nutimentos y salinidad), con base en la calidad de los ecosistemas ribereños, muestra las zonas en tonos azules en donde se registra una buena calidad y debemos enfocar acciones de conservación, preervación y mejoramiento de las condiciones ecológicas, las en la gama de amarillos que presentan condiciones de perturbación y vulnerabilidad, donde de seguir sin modificar las acciones y actividades que se realizan en poco tiempo cambiaran su estatus a uno de mala calidad. Las zonas en tonos naranjas y rojos tienen graves problemas de deterioro, en las cuales al no emprender acciones para su recuperación y mejoramiento de su calidad, se irán recorriendo invadiendo la parte media de las cuencas con tonos amarillos. El conocimiento claro de las condiciones en los ecosistemas ribereños es el primer paso, pero no servirá de nada si no se comunica a los tomadores de decisiones y se les recomiendan estrategias ecológicas, para la rehabilitación de los sistemas fluviales que son foco de insalubridad y están en riesgo de desaparecer.

Para el Segundo Indicador Hídrico edáfico (Carbono y Espacio poroso del suelo), tenemos que del total de los sitios el 13% tienen Muy buena calidad, el 17% Buena y en el 53% la calidad es Aceptable, el 14% se clasifican como de mala calidad y el 4% de Muy mala, lo que corresponde a una distribución esperada con un mayor porcentaje en la calidad media. Pero su distribución en el gradiente altitudinal no presenta un patron común o esperado. Entre los 3200 y los 4054 m, solo se encontraron tres sitios con Muy buena calidad, que fueron los dos de Cocoyuco y el manantial Volkswagen, dos con Buena calidad, Pilares y Apatlaco antes de la cascada, 36% de los de calidad Aceptable y 36% de los de Mala calidad. En la zonas comprendidas entre 2500 y 3200 m s.n.m., se localizan 70 % de los sistemas ribereños con Muy buena calidad, 38% de los de Buena calidad, 39% de los que tienen calidad Aceptable y 27% de los de Mala calidad. En la ultima franja altitudinal por debajo de 2500 m, están el 46% de los sitios con Buena calidad, 8% de los de Calidad Aceptable , el 36% de aquellos que tienen mala calidad y el 100% de los de Muy mala calidad, que está constituido por tres sitios que son Nepantla, Ayapango y Vías libramiento.

Solamente ocho sitios presentan la misma categoría de acuerdo a los dos Indicadores y son Manantiall y Rincón de Cocoyuco con Muy buena calidad y situados en una zona de Bosque de Pino, bien conservado, que registra presencia humana continua, pero de pocas personas. Apatlaco 4 en el Parque ecoturístico con Buena calidad, Ixoalco 1, con calidad Aceptable; Distrito Atoyac-Zahuapan con Mala calidad y tres sistemas ribereños con Muy mala calidad en ambos indicadores Nepantla, Ayapango y Vías libramiento, estos tres sitios se encuentran despúes de áreas urbanizadas, con agua en condiciones de evidente contaminación, producto principalmente de descargas de aguas agrícolas y domésticas, sin descartar la recepción ocasional de residuos pecuarios e industriales. Por lo tanto, la obtención de la misma categoria en los dos indicadores los situa como los dos sitios de Mejor calidad y los tres de la peor calidad en esta investigación.

En el mapa 5.17 se encuentran los ubicados los 78 sitios estudiados con el color de su categoría de acuerdo al Segundo Indicador Hídrico –Edáfico, a simple vista se percibe como la mayoría de los sitios son de calidad Aceptable (color amarillo) y la presencia de sitios con Muy buena calidad no tiene un patrón definido aunque dominan en la subcuenca del Atoyac, aquellos sistemas con Mala calidad están muy dispersos y los de muy mala calidad en las zonas más bajas y urbanizadas.

La zonificación con respecto al Segundo Indicador Hídrico-Edáfico (Figura 5.18), muestra que con respecto a este indicador se visualiza mayor fragmentación en los ecosistemas generando islas tanto de Muy buena calidad en las zonas con tonos azules, algunas con menor extensión y más dispersas con calidad Aceptable y principalmente dos de Mala calidad una en la Subcuenca Chalco-Texcoco considerando el punto central Ayapango y la otra en la subcuenca Amecameca con centro en Nepantla. El área en tono verde que es la de mayor extensión está considerada como de Buena calidad. Este mapa permitirá mostrar a los diferentes sectores de la población la problemática que se presenta en la RBLV y resaltar que la fragmentación de los sistemas ribereños es un paso de transición hacia su deterioro o desaparición, por lo tanto es fundamental evitarla y tratar de que se den las condiciones para la continuidad y para que esto suceda debe haber acuerdo entre los pobladores, las autoridades, las diferentes entidades gubernamentales y una asesoría adecuada con la finalidad de recuperar los ecosistemas ribereños y fomentar que la hidratación del Bosque y su conservación sean una realidad.

Posteriormente se comparó la calidad de los Ecosistemas ribereños de acuerdo a los dos indicadores en función de su Uso de suelo (Tabla 5.14). Para el Primer Indicador que no debemos olvidar que se enfoca en el comportamiento nutrimental en el agua y la salinidad tenemos que los Usos de Suelo: Pastizal montano, Forestal y Recreativo-Forestal tienen calidades de Muy buena a Aceptable lo que indica que tienen menos efectos negativos en los ecosistemas ribereños. Mientras que en el Forestal perturbado y el agropecuario el impacto es mayor y hay sitios con Mala calidad y el Uso Urbano en el que pocos sitios conservan una calidad Aceptable y la mayoría están en condiciones Mala y Muy mala.

La separación por Usos de suelo hace que las estrategias sean más dirigidas a los usuarios del suelo en las diferentes categorías, las sugerencias de proponer estrategias conjuntas de conservación a la Dirección del Parque Nacional para los Usos Pradera de alta montaña y Forestal, de tal manera que no solo se conserve el estatus de la calidad identificado, sino que mejore para que todos estos sitios puedan tener Muy buena calidad. Darles a conocer a los integrantes de los diferentes grupos de Bienes comunales, como se encuentra la calidad de los sitios que les pertenecen y tratar de establecer mecanismos de colaboración para tomar las medidas necesarias para mejorar la calidad en las zonas Forestales que ya han sido perturbadas y resaturar la vegetación de las zonas de ribera (Dosskey, et al., 2010). Estudios diversos coinciden en el efecto adverso que las áreas con uso de suelo agrícola causan en suelo, agua e incluso aire (Baker et al., 2006, Wijesiri et al., 2018b), por ello es necesario comunicar a los agricultores y ganaderos las medidas que podrían llevar a cabo, para mejorar las condiciones del ecosistema y el beneficio que obtendrían. Y finalmente interactuar con los pobladores, autoridades municipales y organizaciones civiles para darles a conocer que todas las actividades que se

realizan en áreas adyacentes al río o arroyo, como, cultivos, construcciones, descargas, acumulación de basura, escombros, etc., afectan las condiciones que prevalecen en los sistemas fluviales y que hacer una planificación o regulación puede generar soluciones, aunque estas sean a mediano o largo plazo, tratando de hacer un acompañamiento en el proceso en algunos sitios para mostrar ejemplos a otras localidades.

Para el Segundo indicador vemos que los usos con mejores resultados son el Agrícola-Forestal y el Agropecuario, lo cual se atribuye al manejo que se le da a estos suelos en donde se usa el arado y la labranza, lo que hace que se volteen y se evite su compactación lo que favorece la calidad en este indicador, además los restos de cultivos anteriores ayudan a mejorar el porcentaje de Carbono en los suelos (Cuevas, 2006). Esto desde luego no sucede en las zonas altas y aquellas donde la vegetación no es densa o ha sido talada, hay presencia de ganado continuo o bien son zonas de acceso continuo, se observa que hay deterioro del suelo, erosión y por ende mayor compactación, lo que hace que el valor del indicador muestre que hay sitios con mala calidad desde la Pradera de alta montaña hasta el Recreativo-Forestal. Las zonas urbanas presentan efectos de compactación del suelo por el paso continuo, las construcciones y eliminación de la vegetación, por lo tanto los suelos quedan desnudos y erosionables.

La Tabla 5.13, indica la calidad de cada uno de los indicadores en las diferentes coberturas del suelo, resaltando que el Bosque de Pino es la cobertura con mejores resultados para el Primer indicador siempre tiene Muy buena calidad y para el segundo va de Muy buena a Aceptable. Las coberturas con mayores problemas fueron la Agrícola y la Urbana en las que se llega a calidad Muy mala en el caso de ambos indicadores. Es importante observar la condición de la cobertura con manantiales, ya que para los dos indicadores van desde Muy buena a mala calidad, lo que demuestra que no en todos estos sitios se tiene el cuidado de conservarlos y cuidarlos adecuadamente a pesar de ser en muchos casos el suministro de agua para la zona, en ocasiones hasta para consumo directo, como se realiza en Calpan donde los pobladores descienden al cauce a pie o en burro, para tomar agua de algunos de los manantiales que ellos mismos han entubado para facilitar el llenado de sus garrafones o bidones.

CONCLUSIONES

- La elección de la altitud, la cobertura del suelo y los usos del suelo, como ejes de comparación permitió tener diferentes apreciaciones de las causas y efectos en la calidad del sistema agua-suelo de los ecosistemas ribereños de montaña de la RBLV y su zona de influencia.
- La aplicación inicial de un Análisis de Correlación Múltiple entre los 34 parámetros registrados generó una primera reducción a 15 parámetros representativos del comportamiento de los ecosistemas ribereños, con base en su significancia y evitando colinealidad.
- La obtención de cinco componentes principales que explican el 71.8% de la variabilidad de estos ecosistemas como resultado del ACP, es producto de la interacción multifactorial y la complejidad de estos sistemas, lo que hace difícil su interpretación con base en un número reducido de variables.
- Las diez variables que conforman los cinco componentes principales reflejan de manera significativa la variabilidad espacial de estos ecosistemas.
- La congruencia de las diez variables resultado del ACP, fue corroborada con el ACC, con tres conjuntos con correlaciones significativas entre las variables del bloque hídrico y el bloque edáfico.
- Se seleccionaron las ecuaciones y, por lo tanto, los pesos correspondientes a cada una de las diez variables, de los primeros dos componentes principales (ACP), para conformar los dos indicadores Hídrico-Edáficos que representan el comportamiento de los ecosistemas ribereños de montaña de la RBLV en el periodo de estudio.
- El primer Indicador Hídrico-Edáfico da mayor peso a la variabilidad hídrica, a través de la conductividad en el agua, la alcalinidad, el fósforo total y los nitratos, sin dejar de considerar las otras 6 variables.
- El segundo Indicador Hídrico-Edáfico asigna mayor peso a las variables edáficas como los porcentajes de Espacio poroso y Carbono y considera con menor peso las ocho variables restantes.
- El ARN corroboró que la clasificación de los Usos de Suelo propuesta fue adecuada al destacar que el 98.93% de los casos fueron clasificados correctamente.
- El ARN comprobó que las Coberturas de suelo propuestas fueron apropiadas al encontrar que el 99.04% de los casos fueron clasificados correctamente.
- El valor promedio obtenido para el Primer Indicador Hídrico-Edáfico en cada sitio es muy congruente con las observaciones y caracterización ecológica realizada en campo.
- El valor del Segundo Indicador Hídrico-Edáfico, tiene mayor dificultad para su interpretación. Algunos sitios en zonas de alta montaña con condición ecológica conservada reducen su calidad por su porosidad media y sitios con perturbación ecológica por agricultura obtienen una mejor calificación del indicador, ya que el manejo de arado y labranza mejora la porosidad del suelo.
- Los dos Indicadores Hídrico-Edáficos presentan la misma tendencia a aumentar su valor, conforme se desciende en el gradiente altitudinal.
- La comparación por uso de suelo para el Primer Indicador Hídrico-Edáfico, identifica al uso Recreativo-Forestal como en el que se presentan las primeras alteraciones, las que se incrementan en el Agrícola-Forestal y el Agropecuario y por último el uso de suelo Urbano muestra el mayor impacto.

- La comparación por uso de suelo para el Segundo Indicador Hídrico-Edáfico muestra la mejor calidad en los usos Agrícola-Forestal y Agropecuario, afectaciones moderadas en los sistemas con uso Recreativo-Forestal y alteración grave en el uso Urbano.
- La comparación por cobertura del suelo para el Primer Indicador Hídrico-Edáfico señala que a partir de la cobertura de Bosque mixto empieza a cambiar la calidad de los sistemas ribereños, en la cobertura Agrícola la calidad disminuye y el deterioro completo se presenta en la cobertura Urbana.
- La comparación por cobertura del suelo para el Segundo Indicador Hídrico-Edáfico indica que las mejores condiciones se encuentran en la cobertura de bosque de pino, los ecosistemas en bosque mixto y agrícola presentan calidad muy variable y la cobertura urbana registra calidad muy deficiente con alta variabilidad.
- Las escalas obtenidas con base en el método de Jenks fueron adecuadas para ambos indicadores, ya que respeta los cambios naturales de acuerdo con el cálculo de los indicadores.
- La representación en el mapa de los dos indicadores muestra con claridad su variabilidad espacial e identifica claramente los sitios con diferentes grados de deterioro, esto facilita su socialización en diferentes sectores de la población y su utilidad para la planeación y toma de decisiones, al ponerse a disponibilidad de las instancias pertinentes.
- La zonificación del Primer Indicador Hídrico-Edáfico, muestra áreas centrales con muy buena y buena calidad que se va perdiendo gradualmente conforme se acerca a las zonas con actividad antrópica, principalmente de uso agrícola y con asentamientos humanos y áreas muy localizadas con mayor deterioro.
- La zonificación del Segundo Indicador Hídrico-Edáfico muestra islas con muy buena calidad, con calidad aceptable y con muy mala calidad, sobre una matriz de buena calidad
- Los cambios en la calidad de los ecosistemas ribereños de la RBLV son producto de diferentes factores, el cambio en el gradiente altitudinal, el cambio en el tipo de cobertura vegetal, el grado de perturbación del tipo de vegetación adyacente, los diferentes usos de suelo y la influencia antrópica.
- Los indicadores reflejan que se requiere mayor cuidado y medidas de conservación en los manantiales, para seguir disfrutando de sus beneficios.
- El uso de suelo es el factor que causa mayores problemas en la calidad de los ambientes riparios
- El uso de suelo Urbano genera el mayor impacto en la calidad de los ecosistemas ribereños.

Referencias

- Allan, J.D. (2004) Landscapes and Riverscapes: The influence of the land Use on stream ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 35:257-284.
- Alonso, J. A., Bermúdez, F. L., y Rafaelli, S. (2011). La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación (Vol. 4). Editum.
- Álvarez N. A. y J. A. Oria De Rueda S. (2004). Las Riberas: Síntesis De La Ecología de un Ecosistema Singular. Universidad De Valladolid. España. Pp. 7.
- Amóros, C. y G. Bornette, (2002) Conectivity and biocomplexity in waterbodies of riverine floodplains. *Freshwater Biology* 47: 761-776.
- Anbumozhi, V., Rakhakrishnan, J.y Yamaji, E. (2005). Imapa of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations. *Ecological Engineering.* 24: 517-523.
- Anderson, T. (1984). An introduction to multivariate statistical analysis.[Una introducción al análisis estadístico multivariado] John Wiley & Sons, Nueva York. US. c1984. xvii, 675 p.
- Aparicio, M. (1994). Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa, Grupo Noriega Editores. México. 303 pp.
- APHA, (2012). American Public Health Association. Standard methods for examination of water and wastewater, method 9221 B.
- APHA, AWWA, WPCF. (1992). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Díaz Santos. España. 9244 pp.
- AQUASTAT. n.d. AQUASTAT s/f. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm . Recuperado el 24 de mayo de 2018.
- Arana L., Siebe C., Macías J.L., (2010), Dynamics of the ca. 4965 yr 14C BP "Ochre Pumice" Plinian eruption of Popocatepetl volcano, México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 192, 212–231.
- Armijo, M., y Pública, G. (2009). Manual de planificación estratégica e indicadores de desempeño en el sector público. Ilpes/Cepal, 103.
- Baker, A. (2006). Land use and water quality. *Encyclopedia of hydrological sciences.*
- Barlow, M. (2006). La protección del agua: diez principios. Polis. *Revista Latinoamericana*, (14).
- Bautista, A. J. Etchevers, R. F. del Castillo, and C.Gutiérrez.(2004) La calidad del suelo y sus indicadores, *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, pp. 90-97.
- Bautista, F.; Zinck, A. J.; Cram, S. (2009). Los Suelos de Latinoamérica: retos y oportunidades de uso y estudio. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *Boletín* 2(3): 93 – 142.
- Bayley, P. B. (1995). Understanding large river: floodplain ecosystems. *BioScience*, 45(3), 153-158.
- Becerra, E. MG. (2018). De Parque Nacional a Reserva de la Biosfera. Historia biocultural de la Sierra Nevada de México. Editorial Académica Española.
- Bell, S., y Morse, S. (2012). Sustainability indicators: measuring the immeasurable? Routledge.
- Birkeland P.W., Shroba R.R., Burns S.F., Price A.B., y Tonkin P.J. (2003). Integrating soils and geomorphology in mountains—an example from the Front Range of Colorado. *Geomorphology* 55: 329-344.

- Blum WEH y Santelises A.A. (1994) A concept of sustainability and resilience based on soil functions. In: Greenland DJ, Szabolcs I (eds) Soil resilience and sustainable land use. CABI, Wallingford, pp 535–542.
- Bray, R., Kurtz, L. (1945). Determination of total, organic, and available phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Bremner, J. (1965). Total nitrogen. In: C.A. Black (ed.), *Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9.* American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 1149-1178.
- Brüschweiler S., Hóggel U. y Klay A. (2004). *Los bosques y el agua: interrelaciones y su manejo.* Centro de Desarrollo y Medio Ambiente. Berna.
- Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M. T., Scherzer, A., Tramberend, S., y Hanasaki, N. (2016). *Water futures and solution-fast track initiative.* IIASA
- Cabezas A. y Comín .A. (2010). Carbon and nitrogen accretion in the topsoil of the Middle Ebro River Floodplains (NE Spain): Implications for their ecological restoration. *Ecological Engineering* 36: 640-652.
- Camacho R. F., Trejo I. y Bonfil C. (2006). Estructura y composición de la vegetación ribereña de la barranca del río Tembembe, Morelos, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México.* México. 78:17-31.
- Camacho V. y Ruiz, A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista Bio Ciencias*, 1(4).
- Camargo, F. A. O. (2018). Propuesta de índices sintéticos de calidad ambiental (ICA) mediante la aplicación del análisis de componentes principales, aplicados a los indicadores ambientales de Nariño (Colombia). *El agua en la ciudad y los asentamientos urbanos*, 289.
- Cardona, G. G. (2008). Aportes para el análisis de ecosistemas fluviales: una visión desde ambientes ribereños. *Revista Tumbaga*, 1(3).
- Carreño, S., Prada, Y., Santana, A., Silva, P., y Estupiñán, R. (2020). Diagnóstico de la calidad del agua mediante índices fisicoquímicos para formular herramientas de gestión y preservación. *Revista Matices Tecnológicos*, 11.
- Castillo, E. F., Gonzales, W. F., López, I. D., Figueroa, A., Corrales, D. C., Hoyos, M. G., y Corrales, J. C. (2015). Water quality warnings based on cluster analysis in Colombian river basins. *Sistemas y Telemática*, 13(33), 9-26.
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J. y Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería solidaria*, 10(17), 111-124.w
- Ceccon E. (2003). Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *Ciencias* (72):47-53. México, D.F.
- Cervantes, A. (1985). *Manual de técnicas básicas para el análisis de ambientes acuáticos.* Biología. Departamento de biología Sección de limnología contaminación. UNAM. ENEP Zaragoza.
- Chadwick, O. A., Gavenda, R. T., Kelly, E. F., Ziegler, K., Olson, C. G., Elliott, W. C., y Hendricks, D. M. (2003). The impact of climate on the biogeochemical functioning of volcanic soils. *Chemical Geology*, 202(3-4), 195-223.
- Challenger, A. (2003). Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación. Sánchez O., Vega E., Peters E., Monroy-Vilchis. Eds. *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México.*
- Challenger, A., y Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres. *Capital natural de México*, 1, 87-108.
- Chovanec, A., Jäger, P., Jungwirth, M., Koller-Kreimel, V., Moog, O., y Muhar, S. (2000). The Austrian way of assessing the ecological integrity of running waters: a contribution to the EU Water Framework Directive. *Hydrobiologia*, 422, 445-452.
- Chun-Chih, T., Zueg-Sang, C., y Chang-Fu, H. (2004). Relationships between soil properties and slope position. *Geoderma*, 123:131-142.

- COLPOS. S. C. (2003). Evaluación de la degradación del suelo inducida por el hombre, escala 1: 250,000.
- CONABIO. (2007). Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA)
http://avesmx.conabio.gob.mx/FichaRegion.html#AICA_223
- CONABIO. (2017). Diversidad biológica de Montañas en México.
- CONAGUA. (2013). Comisión Nacional del Agua Atlas del Agua en México 2013.
- CONAGUA-SMN. (2020) Comisión Nacional del Agua -Sistema meteorológico Nacional. Climogramas de las Estaciones Meteorológicas. www.snm.conagua.gob.mx/es/climatología/información-climatologica/climogramas-1981-2010
- CONANP.(2004). Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl. Formulario de propuesta de Reserva de Biosfera UNESCO - Programa el Hombre y la Biosfera (MAB).
- CONANP. (2010). Las áreas naturales protegidas de México. Disponible en línea:
<http://www.conanp.gob.mx/gue/hacemos/> [fecha de consulta: 23 de junio de 2010].
- Cotler, H. (ed). (2010). Las Cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. Instituto Nacional de ecología (INE) 231 pp.
- Cotrina, D. S. (2019). Determinación de niveles de contaminación del agua a partir de técnicas de análisis multivariable. Publicaciones e Investigación, 13(1), 81-94.
- Cruz, F., Guerra, H., Ángeles, C. (2008). Descripción de propiedades físicas y químicas de agua y suelo en ambientes riparios en la exposición occidental del PN Izta-Popo.
<http://www.camafu.org.mx/index.php/> .
- Cruz .G. y Guerra E. (2017). Ecosistemas ribereños de montaña. Descripción y Estudio. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México.160 pp.
- Cuadras, C. (2012). Nuevos métodos de análisis multivariante. CMC Editions. Barcelona, Spain. 297 pp.
- Cuevas Becerra, J. (2006). Efecto de la materia orgánica y el manejo sobre la hidrofobicidad de suelos volcánicos. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, 6(2), 13-27.
- De la Lanza, G. (1990). Algunos conceptos sobre hidrología y calidad del agua. En: de la Lanza, G., Arredondo, J. La acuicultura en México: de los conceptos a la producción. Instituto de Biología. UNAM. México. 288 pp.
- Décamps, H. (2001). How a riparian landscape finds form and comes alive. Landscape and urban planning 57:169-175.
- Delgado H. (2011). Study of Ayoloco glacier at Iztaccíhuatl Volcano (Mexico): hazards related to volcanic activity-ice cover interactions.
- Devenish, C., Hofstede, R., y Saravia, M. (2012). Las montañas en nuestro lugar: La importancia de las montañas para el desarrollo sostenible antes y después de Río+ 20. Revista Virtual REDESMA, 6, 11.
- Dodds W.K., Gido K., Whiles M.R., Daniels Melinda D., y Grudzinski B.P. 2015. The stream biome gradient concept: factors controlling lotic systems across broad biogeographic scales. Freshwater Science. 34: 1–19
- Domínguez Serrano, M., Blancas Peral, F. J., Guerrero Casas, F. M., y González Lozano, M. (2011). Una revisión crítica para la construcción de indicadores sintéticos. Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa, 11, 41-70.
- Doran, J. W., y Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment, 35, 1-21.
- Dosskey, M. G., Vidon, P., Gurwick, N. P., Allan, C. J., Duval, T. P., y Lowrance, R. (2010). The role of riparian vegetation in protecting and improving chemical water quality in streams 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 46(2), 261-277.

- Dourojeanni, A., Jouravlev, A. (2002). Gestión de recursos a nivel de cuencas. Curso manejo de cuencas hidrográficas I. CATIE, CR. 16.
- Dumanski, J., Gameda, S., y Pieri, C. (1998). Indicators of land quality and sustainable land management: an annotated bibliography. The World Bank
- Dumanski, J., y Pieri, C. (2000). Land quality indicators: research plan. Agriculture, Ecosystems y Environment, 81(2), 93-102.d
- Duque, E., y Gonzalo y Escobar, C. (2002). Origen, formación y constitución del suelo. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Colombia
- Escobar, L. (2006). Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas. Eure (Santiago), 32(96), 73-98.
- Espinasa Pereña R. (2014) CENAPRED. Historia de la Actividad del volcán Popocatepetl. 17 años de erupciones, México
- Estrada-Herrera, I. R., Hidalgo-Moreno, C., Guzmán-Plazola, R., Almaraz Suárez, J. J., Navarro-Garza, H., y Etchevers-Barra, J. D. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. Agrociencia, 51(8), 813-831.
- Estrella, J. (2005). Biodiversidad y recursos genéticos: una guía para su uso y acceso en el Ecuador. Editorial Abya Yala.
- FAO. (1994). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 1994. Dilemas del desarrollo y las políticas forestales. Food and Agriculture Organization.
- FAO. (2000). El Estado mundial de la pesca y la acuicultura, 2000. Food y Agriculture Org..
- FAO. (2004). Servicios ecoistémicos y Biodiversidad. Food and Agriculture Organization
- FAO. (2014). Alianza para las montañas. Propuesta de gestión operativa y estrategia 2014-2017, Food and Agriculture Organization FAO. (2015). Portal de Suelos de la FAO. <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- FAO (2015). Estado mundial del recurso suelo (EMRS). Resumen técnico. Roma.
- Feijó C. (2009). La destrucción morfológica y biológica de los arroyos pampeanos. Programa de Investigación en Ecología Acuática. Departamento de Ciencias Básicas. Universidad Nacional de Luján. Buenos Aires, Argentina. Pp. 7.
- Fi J., C., Meng-Jung, T., Wen-Ping, T., y Edwin, E. (2008). Assessing the ecological: hydrology of natural flow conditions in Taiwan. Journal of Hydrology. 354: 75– 89.
- Fiquepron, J., Garcia, S., y Stenger, A. (2013). Land use impact on water quality: valuing forest services in terms of the water supply sector. Journal of environmental management, 126, 113-121.
- Flores, L., y Alcalá, J. (2010). Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio de Física de Suelos. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Departamento de Edafología. Recuperado de <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/Manual%20del%20laboratorio%20de%20fisica%20de%20suelos1.pdf> (accedido el 14/04/2017).
- Flores, O., y Fernández, P. G. (1994). Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo.
- Flores, O., y Gerez, P. (1994). Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad y Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF, 439.
- Franco, O., y Vázquez L. (2017). Trabajo de campo dendrocronológico para estudios de Geografía Física. Experiencias en los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl, 2006-2017. Investigaciones geográficas, (94).
- Fredley, J., Durako, M. J., y Hall, M. O. (2019). Multivariate analyses link macrophyte and water quality indicators to seagrass die-off in Florida Bay. Ecological Indicators, 101, 692-701.

- Gallardo J.F. (2017a). "La materia orgánica del suelo: Residuos orgánicos, humus, compostaje, captura de carbono". Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco (Méjico). I.S.B.N.: 978-607-12-0474-5. 424 pp
- Galván, A., y Márquez, A. Z. (2006). Descripción biofísica de la cuenca del río Coapa, Chiapas. *Hidrobiológica*, 16(2), 107-119.
- García E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, 1973
- García L. (2005) Lineamientos para la selección y uso de indicadores de sostenibilidad y desempeño, como herramienta de gestión empresarial. Tesis de Maestría. Medio ambiente y Desarrollo UN, Medellín 368 p.
- García T., G. y Serrano, R. (2011). Geology and geochemistry of pleistocene lavas from the Telapón stratovolcano, Sierra Nevada, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 28(2), 301-322.
- García, A. (2004). Dinámica del paisaje post-fuego en el pastizal tropical de alta montaña. Volcán Iztaccíhuatl. *Venezuela*. 29(11): 604-611.
- García, Y., Ramírez, W., y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y forrajes*, 35(2), 125-138.
- García, F., Reyes, G., y López, F. (2012). Geology and geochronology of Tlaloc, Telapón, Iztaccíhuatl, and Popocatepetl volcanoes, Sierra Nevada, central Mexico. *The Southern Cordillera and Beyond*, 25, 163.
- Garrido, A., Pérez, J., y Enríquez, C. (2010). Delimitación de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización*. Instituto de Ecología de México Press, México, 14-17.
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Delgado, M. I., y Besteiro, S. (2013). Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>
- Giovanini K. (2019). El estado del agua en 2019. *Expok*. Comunicación de sustentabilidad y RSE. <https://www.expoknews.com/el-estado-del-agua-en-2019/>
- Glenz, C., Lorgulescu, I., Kienast, F., y Schlaepfer, R. (2003). Modelling the dynamics of riparian forests by accounting for hydraulic and geomorphological processes. In EGS-AGU-EUG Joint Assembly.
- González del Tánago, M., M.R. Vidal, M.L. Suárez y C. Molina. (1996). Consideraciones sobre el estado actual de las riberas de los principales cauces fluviales de la cuenca del río Segura (España)". *Anales De Biología. Biología Ambiental* 20(9):117-130 ++
- González del Tánago, M., y García, D. (2006). Attributes for assessing the environmental quality of riparian zones. *Limnetica*, 25(1-2), 389-402.
- González, E., y Roldán, G. (2019). Monitoreo biológico de la calidad del agua en las Américas. *Calidad del Agua en las Américas*, 39.
- Granados S. D.; M.A. Hernández G.; G.F. López R. (2006). Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias forestales y ambiente*. México. 12(1):55-69
- Gu Q., Hu, H., Ma, L., Sheng, L., Yang, S., Zhang, X., ... y Chen, L. (2019). Characterizing the spatial variations of the relationship between land use and surface water quality using self-organizing map approach. *Ecological indicators*, 102, 633-643.
- Guerra, E. y Cruz G. (2014). Métodos de Evaluación y Diagnóstico para agua y suelo. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México.
- Guzmán, A. M. (1997). El Agua ¿Un recurso sustentable? Curso sobre Desarrollo Sustentable. Inst. Tecnol. Est. Sup. Occ., Guadalajara.

- Harper, R. J., McKissock, I., Gilkes, R. J., Carter, D. J., y Blackwell, P. S. (2000). A multivariate framework for interpreting the effects of soil properties, soil management and landuse on water repellency. *Journal of Hydrology*, 231, 371-383.
- Hernández G., R y Herrerías G., G. (2001). Procesos de delimitación de cuencas tributarias. *Alternativas y Procesos de Participación Social A.C. Tehuacán, Puebla, México.*
- HLPW. (2018) Making Every Drop Count. An Agenda for Water Action. High-Level Panel on Water. Outcome Document 14 March 2018 HLPW Outcome Report
- Hurtado, M., y Gómez, C. F. (2019). Evaluación de la calidad de los cuerpos de agua superficial en el área de influencia del proyecto minero San Ramón (Red Eagle) aplicando herramientas SIG Y QUAL2Kw.
- Ibáñez, A., Moreno, H. R., y Gisbert, B. (2011). La ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE). Universidad Politécnica de Valencia-Ingeniería Agronómica y del medio natural. España.
- INEGI. (2004). Instituto Nacional De Estadística y Geografía. Guías para la Interpretación de Cartografía Edafología 1:250 000 México
- INEGI. (2009). Instituto Nacional De Estadística y Geografía. Guía para la interpretación de cartografía uso de suelo y vegetación escala 1:250 000 serie III. México.
- Ives, J. D., Messerli, B., y Spiess, E. (1997). Mountains of the world-a global perspective. *Mountains of the world: a global perspective*, 313-335.
- Izenman, A. J. (1975). Reduced-rank regression for the multivariate linear model. *Journal of multivariate analysis*, 5(2), 248-264.
- Izenman, A. J. (2008). Modern multivariate statistical techniques. Regression, classification and manifold learning, 10, 978-0.
- Jiménez, C. B., Torregrosa A. ML., y Aboites A. L. Ed. (2010). El agua en México: cauces y encauces. Academia Mexicana de Ciencias, Comisión Nacional del Agua. ISBN 978-607-95166-1-1.
- Jiménez, M. A., y Vélez, M. V. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. *Avances en recursos hidráulicos*, (14).
- Johnson, D. (2000). Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. International Thomson Eds. 566 pp.
- Jorgensen, S., Xu, L., & Costanza, R. (Eds.). (2016). Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health. CRC press.
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., y Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4-10.
- Kendall, M. (1975). *Multivariate analysis*. Charles Griffin y Company Ltd.
- Kevern, R., Darrell, L., King, L. y Ring, R. (1996). Lake classification systems, part 1. *The Michigan Riparian February*.
- Kobiyama, M. 2003. Conceitos de zona ripária e seus aspectos geobiohidrológicos. Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas Ripárias. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil. Pp. 13.
- Kutschker, A. M., Papazian, G., Martínez, O. A., y Ibañez, N. (2020). Calidad de los bosques ribereños y perspectivas de restauración en un río de la Patagonia Andina, Argentina. *Ecología Austral*, 30(1), 099-112.
- Kutschker, A. C. Brand y M. L. Miserendino. (2009). Evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos del NO del Chubut sometidos a distintos usos de la tierra. *Ecología Austral*. Chubut, Argentina. 19(1):18.
- Labrador, J. 2001. La materia orgánica en los agroecosistemas. 2ª edición. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi Prensa. Madrid, España

- Lal, R., Kimble, J. M., Follett, R. F., y Stewart, B. A. (Eds.). (1997). Soil processes and the carbon cycle (Vol. 11). CRC press.
- Lehmann, A., y Stahr, K. (2010). The potential of soil functions and planner-oriented soil evaluation to achieve sustainable land use. *Journal of Soils and Sediments*, 10(6), 1092-1102.
- Leija, E.G., Reyes, H. Reyes, O. Flores, J.y Sahagún F. (2016). Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México. *Madera y Bosques* 22(1)
- Liberoff, A. L., Flaherty, S., Hualde, P., Asorey, M. I. G., Fogel, M. L., y Pascual, M. A. (2019). Assessing land use and land cover influence on surface water quality using a parametric weighted distance function. *Limnologica*, 74, 28-37.
- Lindegaard, C. (1995). Classification of water-bodies and pollution. In *The Chironomidae* (pp. 385-404). Springer, Dordrecht.
- Liniger, H., Weingartner, R., y Grosjean, M. (1998). Mountains of the world: Water towers for the 21st century. Berne (Switzerland): Paul Haupt.
- Lobo, M. (2008). Importancia de los recursos genéticos de la agrobiodiversidad en el desarrollo de sistemas de producción sostenibles. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(2), 19-30.
- López, H. (2004). Fábrica de agua en la región del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. BQ010. México D. F. (Edición digital: CONABIO 2006).
- Lowrance, R. (1998). Riparian forest ecosystems as filters for nonpoint-source pollution. In *Successes, limitations, and frontiers in ecosystem science* (pp. 113-141). Springer, New York, NY.
- Lyon, J., y Gross N.M. (2005). Patterns of diversity and plant-environmental relationships across three riparian corridors. *Forest Ecology and Management*, 204, 267-278.
- Maass, J. M., y Cotler, H. (2007). Protocolo para el manejo de ecosistemas en cuencas hidrográficas. El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, México, DF México, 41-58.
- Macías, J. L. (2005). Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57(3), 379-424.
- Mander, U., Kuusumets, V. Lõmus, K. yMauring, T. 1997. Efficiency and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments. *Ecological Engineering*. 8: 299-324.
- Manners, R.B., Schmidt, J.C., Scott, M.L. (2014). Mechanisms of vegetation-induced channel narrowing of an unregulated canyon river: results from a natural field-scale experiment. *Geomorphology*. 211: 100-115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.12.033>.
- Margalef, R. (1983). *Limnología* (Vol. 1009). Barcelona: Omega.
- Martin del Pozzo A. L. / Alatorre Ibarquengoitia M. / Arana Salinas L. / Bonasia R. / Capra Pedol L. / Cassata W. / Córdoba G. Cortés Ramos J. / Delgado Granados H. / Ferrés López M. D. / Fonseca Álvarez R. / García Reynoso J. A. / Gisbert G. / Guerrero López D. A. / Jaimes Viera M. C. / Macías Vázquez J. L. / Nieto Obregón J. / Nieto Torres A. / Paredes Ruiz P. A. / Portocarrero Martínez J. / Renne P. / Rodríguez Espinosa D. M. / Salinas Sánchez S. / Siebe Grabach C. / Tellez Ugalde E. (2017).. Estudios geológicos y actualización del mapa de peligros del volcán Popocatepetl Instituto de Geofísica. UNAM. México
- Martin, A., Cifuentes, G., Cabral, E., Bonifaz, R., Correa, F., y Mendiola, I. F. (2003). Timing magma ascent at Popocatepetl volcano, Mexico, 2000–2001. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 125(1-2), 107-120.
- Martin, A., Espinasa, R. P., Armienta, M. A., Aguayo, A., Reyes, M., Sánchez, G., ... y Butrón, M. A. (2016) CENAPRED-Instituto de Geofísica. UNAM, CU, 4510.

- Martin, A.L., González-Morán, T., Espinasa-Pereña, R., Butrón, M.A. Reyes, M., 2008, "Characterization of the recent ash emissions at Popocatepetl volcano, Mexico", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 170, iss. 1-2, p. 61-75.)
- Martínez, F. (2010). Los indicadores como herramientas para la evaluación de la calidad de los
- Martínez, G., Gutiérrez, M. E., Martínez, Á. R., Villalobos-Pi, R., y Arteaga T. (2015). Concentración total y geodisponible de elementos potencialmente tóxicos en suelos volcánicos con uso agrícola del Nevado de Toluca, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(2), 113-125.
- Martínez P., y Patiño, C. (2012). Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(1), 5-20.
- Matich, D. J. (2001). *Redes Neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones*. Universidad Tecnológica Nacional, México.
- Miller, J. D., Kim, H., Kjeldsen, T. R., Packman, J., Grebby, S., y Dearden, R. (2014). Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover. *Journal of Hydrology*, 515, 59-70.
- Mooser, F. (2013). THE MEX/CAN VOLCANIC BELT STRUCTURE AND TECTONICS. *Geofísica Internacional*, 12(2).
- Morales, C.M. y J. Fernández B. (2005). Aspectos relevantes de la interacción entre la vegetación de ribera, la hidráulica y la morfología de cauces. 3^{er} Congreso de Ingeniería Civil, territorio y medio ambiente. Valencia, España. p.p. 14.
- Naiman, R. y H. Décamps, 1997. The ecology of interfaces: riparian zones. *Annual review of Ecology and Systematics* 28:621-658.
- Naiman, R. J.; Décamps, H. y Mc Clain, M.E. (2005). *Riparia: ecology, conservation, and management of streamside communities*. Elsevier, Academic Press, UK. 430 p.
- Naiman, R. y H. Décamps y M. McClain. (2010). *Riparia: Ecology, Conservation and Management of Streamside Communities*. Elsevier Academic Press. 440 p.
- Nilson, C. y M. Svekmark, (2002). Basic principles and ecological consequences of changing water regimes: riparian plant communities. *Environmental Management* 30:468-480.
- Nixon, G. T. (1989). The geology of Iztaccíhuatl volcano and adjacent areas of the Sierra Nevada and Valley of Mexico (Vol. 219). *Geological Society of America*.
- Norris, R. H., y Hawkins, C. P. (2000). Monitoring river health. *Hydrobiologia*, 435(1-3), 5-17
- Nunes, S. S., Barlow, J., Gardner, T. A., Siqueira, J. V., Sales, M. R., y Souza, C. M. (2015). A 22-year assessment of deforestation and restoration in riparian forests in the eastern Brazilian Amazon. *Environmental Conservation*, 42(3), 193-203.
- OCDE. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (2003) *Environmental Indicators: Development, measurement and use*. Reference paper. 37 P.
- OCDE Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2012). *OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction*. París, OECD Publishing. doi.org/10.1787/9789264122246
- Ojeda, A. O., Ferrer, D. B., Bea, E. D., Mur, D. M., Fabre, M. S., Naverac, V. A., y Gil, N. S. (2007). Un índice hidrogeomorfológico (IHG) para la evaluación del estado ecológico de sistemas fluviales. *Geographicalia*, (52), 113-142.
- Oldeman, L. R. (1994). An international methodology for an assessment of soil degradation, land georeferenced soils and terrain database. *RAPA Publication* (FAO).
- Olías, M., Cerón, J. C., y Fernández, I. (2005). Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del US Laboratory Salinity (USLS). *Geogaceta*, 37, 111-113.
- ONU. (2010). Programa de ONU-Agua para la Promoción y la Comunicación en el marco del Decenio y Consejo de Colaboración para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento

- ONU, (2015^a). Objetivos para el desarrollo sostenible-ODS. <https://onu.org.gt/objetivos-de-desarrollo/>
- ONU, (2015b). Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible La Asamblea General Resolución aprobada por la Asamblea General. Transformar nuestro mundo. Aprobada Septiembre, 2015.
- ONU. (2019). Organización de Naciones Unidas, Población. <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>
- Ortega, L. P., (2015). El suelo hábitat de interacciones maravillosas. CONABIO- Biodiversitas (13) 85-96. MP t M. Rangel Villafranco. 2007. "Fungus-assisted reintroduction and long-term survival of two Mexican terrestrial orchids in the natural habitat. *Lankesteriana International Journal on Orchidology*, 7(1-2), 317-321.
- Ortiz-Arrona, C.I., P.R.W. Gerritsen, L.M. Martínez R., A. Allen y M. Snoep. (2005). Restauración de bosques ribereños en paisajes antropogénicos, en el occidente de México [En línea]. Cuba. Pp. 12. Disponible en: www.dama.gov.co
- Palacio-Prieto, J. L., y Prieto, J. P. (2004). Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial. Instituto Nacional de Ecología.
- Parsons, T., Yoshiaki, L., Carol, M. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press. Oxford, England. 173 pp.
- Peña Domínguez, D. D. (2019). Diagnóstico de la calidad de agua de la microcuenca quebrada Las Delicias cerros orientales de Bogotá a partir de los parámetros químicos de acuerdo con la normatividad colombiana vigente.
- Perevotchkikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y política pública*, 22(2), 283-312.
- Pérez, A. R. M. (2002). ¿Qué son los indicadores? *Revista de información y análisis*, 19, 52-58.
- Pérez, F., Blancas, F., González, M., Guerrero, F. M., Lozano, M., y Ruiz, M. (2008). Análisis, diseño y comparación de indicadores sintéticos. *Journal Economic Literature*, 16(1), 803-815.
- Pérez, A., Leyva, D. A., y Gómez, F. C. (2018). Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(1), 175-189.
- Piscitelli M., (2015). Degradación de suelos. El suelo un recurso natural y un medio dinámico. <https://www.unicen.edu.ar/content/degradaci%C3%B3n-de-suelos>
- Polanco, C. (2006). Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones. *Gestión y ambiente*, 9(2), 27-41.
- Que, S., Luo, H., Wang, L., Zhou, W., y Yuan, S. (2020). Canonical Correlation Study on the Relationship between Shipping Development and Water Environment of the Yangtze River. *Sustainability*, 12(8), 3279.
- Quinn, P., Beven, K., y Culf, A. (1995). The introduction of macroscale hydrological complexity into land surface-atmosphere transfer models and the effect on planetary boundary layer development. *Journal of hydrology*, 166 (3-4), 421-444.
- Quiroga M. R. (2009) Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, junio de 2009. Naciones Unidas, CEPAL. Serie manuales 61.
- Ramírez M., Oropeza J. L., Benavides J. de D., Rodríguez D. A. y Mejía E. (2007). Impacto del fuego sobre el proceso físico de la erosión hídrica del suelo y el escurrimiento superficial, en un ecosistema forestal en el Ajusco, Distrito Federal, utilizando lluvia simulada. En: VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Libro de Resúmenes, pp. 138, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.
- Raven, P. J. (1998). River Habitat Quality: the physical character of rivers and streams in the UK and Isle of Man. Environment Agency.
- Reed, T., y Carpenter, S. R. (2002). Comparisons of P-Yield, Riparian Buffer Strips, and Land Cover in Six Agricultural Watersheds. *Ecosystems*, 5(6), 568-577.

- Reyes, J. I. (2014). Una Ojeada a la Clasificación del Suelo. Departamento de Biología. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México. 30 – 40 p.
- Ricker M.C., Stolt M.H., Donohue S.W., Blazejewski G.A., y Zavade M.S. 2013. Soil organic carbon pools in riparian landscapes of southern new England. *Soil Science Society of America Journal* 77: 1070–1079.
- Rieger I., Lang F., Kowarik I., Cierjacks A. 2014. The interplay of sedimentation and carbon accretion in riparian forests. *Geomorphology* 214: 157-167.
- Robinson, D. A., y Lebron, I. (2010). On the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological economics*, 70, 137-138.
- Rodríguez, M., Y López, J. (2008). Determinación de indicadores ambientales a escala detallada para la evaluación biofísica y la planeación del territorio: el caso de Milpa Alta, Distrito Federal. López, J., Rodríguez, M. Coords. Desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad en México. Instituto de Geografía, UNAM. Geografía para el siglo XXI. Serie Libros de Investigación. México, DF, 165-196.
- Romeo, R., Vita, A., Manuelli, S., Zanini, E., Freppaz, M., y Stanchi, S. (2015). Understanding Mountain Soils: A contribution from mountain areas to the International Year of Soils 2015. FAO, Rome.
- Romero, A. M., Gómez, K. F., Sánchez, J. O., y García-Luján, C. (2009). Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la cuenca hidrológica del Río Nazas, México. *Química Viva*, 8(1), 35-47.
- Ruano, M., Trejos, J. (2012). El Análisis Canónico para el Estudio de las Relaciones entre Dos Conjuntos de Variables Cuantitativas. 19 pp.
- Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México. Editorial Limusa, México.
- Sainz, J., y Becerra, M. (2003). Los conflictos por el agua en México. *Gaceta ecológica*, (67), 61-68.
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., y Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e investigación*.
- Sánchez-González, A. y López-Mata, L. (2003). Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología. (Serie Botánica)*. Universidad Nacional Autónoma de México. 74 (1):43-71.
- Sánchez-Velásquez, L. R., Ramírez-Bamonde, E. S., Andrade-Torres, A., y Rodríguez-Torres, P. (2008). Ecología, florística y restauración del bosque mesófilo de montaña. *Ecología, Manejo y conservación de los Ecosistemas de Montaña en México*, 9-49.
- Sarukhán y Dirzo. (2001), "Biodiversity-rich countries.": 419-436.
- SCFI. (2001a). Norma Mexicana.NMX-AA-029-SCFI-2001. Análisis de agua. que establece dos métodos de análisis para la determinación de fósforo total en aguas residuales, naturales y residuales tratadas *Diario oficial de la federación*, 17 de abril.
- SCFI. (2001b). Norma Mexicana.NMX-AA-072-SCFI-2011. Análisis de agua. Determinación de Dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. *Diario oficial de la federación*, 13 de agosto.
- SCFI. (2016). Norma Mexicana.NMX-AA-008-SCFI-2016. Análisis de agua. Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. *Diario oficial de la federación*, 9 de septiembre.
- SEDUE. (1989) Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.CE-CCA-001/89. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. *Diario oficial de la federación*. 13 de diciembre.
- Segnini, S., y Chacón, M. M. (2005). Caracterización fisicoquímica del hábitat interno y ribereño de ríos andinos en la Cordillera de Mérida, Venezuela. *Ecotropicos*, 18(1), 38-61.
- Segueda, A. N., Correa, G. V., Blanco, J. L., y Gamino, M. D. L. R. (2011). Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *Contactos*, 80, 29-37.
- SEMARNAT.(1996) Norma Oficial Mexicana. NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y

- bienes nacionales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario oficial de la federación, 6 de enero de 1997.
- SEMARNAT (2000). Norma Oficial Mexicana. NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario oficial de la federación, 1. 23 de abril de 2003.
- SEMARNAT 2000a. La Gestión ambiental en México. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. México.
- SEMARNAT (2002b). Inventario Nacional de Suelos. México, 2002, con base en información de SEMARNAP y Colegio de Postgraduados.
- SEMARNAT (2005). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Estatal del Agua y Medio Ambiente del Estado de Morelos. Modelo de ordenamiento ecológico y por riesgo eruptivo del territorio del volcán Popocatepetl y su zona de influencia.
- SEMARNAT (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario oficial de la federación, 30 de diciembre.
- SEMARNAT, (2013) Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). Programa de Manejo Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl. México.
- SEMARNAT-CONAFOR. (2001) Programa Estratégico Forestal para México 2025. Informe Final Versión 2.1. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/4/307Programa%20Estrat%C3%A9gico%20Forestal%202025.pdf>
- SEMARNAT-EPA, (2003). Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) de México y la Agencia de Protección Ambiental Programa Binacional Frontera 2012 https://www.cmec.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/publicaciones_conagua/salud%20Ambiental2/Programa%20Forest
- Sentís, I. (2010). Problemas de degradación de suelos en el mundo: causas y consecuencias. X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Congreso llevado a cabo en Quito, Ecuador. Recuperado de <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/1.-Problemas-de-Degradacion.pdf>.
- Siebe, C., Macías, J. L., Abrams, M., Rodriguez, S., Castro, R., y Delgado, H. (1995). Quaternary explosive volcanism and pyroclastic deposits in east central Mexico: implications for future hazards. In Guidebook of geological excursions: in conjunction with the Annual Meeting of the Geological Society of America, New Orleans, Louisiana, November 6-9, 1995 (pp. 1-48).
- Siebe, C., y Macías, J. L. (2006). Volcanic hazards in the Mexico City metropolitan area from eruptions at Popocatepetl, Nevado de Toluca, and Jocotitlán stratovolcanoes and monogenetic scoria cones in the Sierra Chichinautzin Volcanic Field. Special Papers-Geological Society of America, 402, 253.
- Singer, M. J., y Ewing, S. A. (2000). Soil quality. p. G271–G298. Handbook of soil science. CRC Press Inc., Boca Raton, FL.
- Sliva, L., Williams, D. D. (2001). Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality. Water research, 35(14), 3462-3472.
- Sojka, R. E., y Upchurch, D. R. (1999). Reservations regarding the soil quality concept. Soil Science Society of America Journal, 63, 1039-1054.
- SQI-Soil Quality Institute. (1996). Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural
- SSA. (2000). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994-2000. Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salud. Diario oficial de la federación, 22 de noviembre de 2000.

- Sutfin, N., Wohl, E., y Dwire, K. (2016). Banking carbon: A review of organic carbon storage and physical factors influencing retention in floodplains and riparian ecosystems. *Earth Surf. Process. Landforms* 41, 38–60.
- Swank, T., y Crossley A. (1988). *Forest ecology and hydrology*. Coweeta. Ecological Studies, 66.
- Tabacchi, E., Correll D. L., Hauer, R., Pinay, G., Planty Tabacchi A. M. y Wissmar R. C. (1998). Development, maintenance, and role of riparian vegetation in the river landscape. *Freshwater Biology* 40(3): 497-516.
- Talavera, J. M., y Sánchez, R. N. (2019). Aplicación del índice hidrogeomorfológico (ihg) en la cuenca del segura: embalse de la fuensanta-llano de la vida (desembocadura del río taibilla). *GeoGraphos: Revista Digital para Estudiantes de Geografía y Ciencias Sociales*, 10(120), 238-268.
- Tanaka, M. O., de Souza, A. L. T., Moschini, L. E., y de Oliveira, A. K. (2016). Influence of watershed land use and riparian characteristics on biological indicators of stream water quality in southeastern Brazil. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 216, 333-339.
- Terrádez, M. (2013). Análisis de componentes principales. Proyecto e-Math. Financiado por la Secretaría de Estado de Educación y Universidades (MECD).
http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Componentes_principales.pdf
- Terrell, C. R. (1989). *Water quality indicators guide: surface waters* (Vol. 161). US Department of Agriculture, Soil Conservation Service.} Schmalz, B., y Kruse, M. (2019). Impact of Land Use on Stream Water Quality in the German Low Mountain Range Basin Gersprenz. *Landscape Online*, 72, 1-17.
- Thiers, O., Reyes, J., Gerding, V., y Schlatter, J. E. (2014). Suelos en ecosistemas forestales. *Ecología forestal. Bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile*, 133-178.
- Toivonen, T., Mäki, S., y Kalliola, R. (2007). The riverscape of Western Amazonia—a quantitative approach to the fluvial biogeograp, ONUhy of the region. *Journal of Biogeography*, 34(8), 1374-1387.
- Toledo, V.M. y M. Ordóñez. (1993). The biodiversity scenario of Mexico: a review of terrestrial habitats. En: Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). *Biological diversity of Mexico. Origins and distribution*, Oxford University Press. Nueva York.
- Toledo, A. (2002). El agua en México y el mundo. *Gaceta Ecológica*, (64), 9-18.
- Tonkin, J. D., Merritt, D. M., Olden, J. D., Reynolds, L. V., y Lytle, D. A. (2018). Flow regime alteration degrades ecological networks in riparian ecosystems. *Nature ecology y evolution*, 2(1), 86-93.
- UNESCO. 1996. *Reservas de la biosfera: La Estrategia de Sevilla y el Marco Estatutario de la Red Mundial*. UNESCO, Paris, 20 pp.
<http://unesdoc.UNESCO.org/images/0010/001038/103849sb.pdf>
- UNESCO. (2006) : *The United Nations World Water Development Changing Natural Systems*. Chapter 4 (UNESCO & WMO, with IAEA), Part 1. *Global Hydrology and Water Resources*, 1b. Water's global occurrence and distribution, p.122-123. www.unesco.org/water/wwap/wwdr2/pdf/wwdr2_ch_4.pdf
- UNESCO-WWAP. (2003) (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2003. Agua para todos, agua para la vida.*
- UNESCO-WWAP. (2019) (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. París, UNESCO.
- Uriel, E. J. (1995). *Análisis de datos: series temporales y análisis multivariante*.
- USDA, C. P. (1999). *National Agricultural Statistics Service*. Government Printing Office, Washington DC (annual issues, 1965–2002).
- USDA, (2018). United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service Soil. Soil Texture calculator. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/>

- Veitia Rodríguez, E. R., Montalván Estrada, A., y Martínez López, Y. (2014). Elección de indicadores sistémicos para la sostenibilidad ambiental del suelo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4), 43-50.
- Vidal Zepeda, R. (2005). Las regiones climáticas de México, *Temas Selectos de Geografía de México (I.2.2)*, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Vidal Zepeda, R. y G. Gómez Rodríguez (2007), "Clima según sistema de clasificación climática de Köppen modificado por Enriqueta García", hoja NA IV.13, 1:8 000 000, *Nuevo Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM, México
- Villamarín, C., Prat, N. y Rieradevall, M. (2014). Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Latin american journal of aquatic research*, 42(5), 1072-1086.
- Villanueva, M. J., 2008. *Microcuencas*. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 222 pp.
- Villers, L. y Trejo, I. (1998). Climate change on Mexican forests and natural protected areas. *Global Environmental Change*, 8(2), 141-157.
- Vinhal, I. C., Corrêa, G. F., Wendling, B., Bobuřská, L. y Ferreira, A. S. (2017). Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators. *Ecological indicators*, 74, 182-190.
- Walsh, Patrick J.; Milon, J. Walter. Nutrient standards, water quality indicators, and economic benefits from water quality regulations. *Environmental and Resource Economics*, 2016, vol. 64, no 4, p. 643-661.
- Ward, J. V., K. Tockner, D. B. Arscott y C. Claret. (2002). Riverine landscape diversity. *Freshwat. Biol.*, 47: 517-539
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: lake and river ecosystems*. gulf professional publishing.
- Wijesiri, B., Deilami, K., y Goonetilleke, A. (2018a). Evaluating the relationship between temporal changes in land use and resulting water quality. *Environmental pollution*, 234, 480-486.
- Wijesiri, B., Deilami, K., McGree, J., y Goonetilleke, A. (2018b). Use of surrogate indicators for the evaluation of potential health risks due to poor urban water quality: A Bayesian Network approach. *Environmental pollution*, 233, 655-661.
- Wilson, M. G., Quintero, C. E., Boschetti, N. G., Benavidez, R. A., y Mancuso, W. A. (2000). Evaluación de atributos del suelo para su utilización como indicadores de calidad y sostenibilidad en Entre Ríos. *Rev. Fac. Agr. UNER*, 20(1), 23-30.
- WRB. (2007). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional*. IUSS Grupo de Trabajo. *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103*. FAO, Roma.
- Yarza, E. (2003). Los volcanes del sistema volcánico transversal. *Investigaciones geográficas*, (50), 221-234.
- Yohai, V. J., y García B. (1980). Canonical variables as optimal predictors. *The Annals of Statistics*, 8(4), 865-869.
- Young K y Rose J. (2015). La Evaluación de Riesgos como herramienta para mejorar la calidad del Agua, el Saneamiento y la Salud. En *Agua y Desarrollo sostenible. Water Monographies*. Oficina de Naciones Unidas de apoyo al Decenio «El agua, fuente de vida» 2005-2015/Programa de ONU-Agua para la Promoción y la Comunicación en el marco del Decenio • WCCE - World Council of Civil Engineers. Fundación Aquea.
- Zinck, J. A., Metternicht, G., Bocco, G. y Del Valle, H. F. (Eds.). (2015). *Geopedology: An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies*. Springer.