



Fachhochschule Köln
Cologne University of Applied Sciences



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA
PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

AND

COLOGNE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
INSTITUTE FOR TECHNOLOGY AND RESOURCES MANAGEMENT IN THE TROPICS AND SUBTROPICS

**PROPUESTA DE PLAN PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA EN UNA CUENCA CON
ACTIVIDAD MINERA EN EL MUNICIPIO DE AQUILES SERDÁN, CHIHUAHUA**

THESIS TO OBTAIN THE DEGREE OF
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
DEGREE AWARDED BY
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
AND
MASTER OF SCIENCE
TECHNOLOGY AND RESOURCES MANAGEMENT IN THE TROPICS AND SUBTROPICS
IN THE SPECIALIZATION: RESOURCES MANAGEMENT
DEGREE AWARDED BY COLOGNE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

PRESENTS:

MANUEL ROMÁN GURROLA

CO-DIRECTOR OF THESIS PMPCA

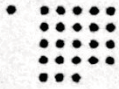
DR. ISRAEL RAZO SOTO

CO-DIRECTOR OF THESIS ITT:

DR. JACKSON ROEHRIG

ASSESSOR:

DR. CARLOS ALFONSO MUÑOZ ROBLES



Fachhochschule Köln
Cologne University of Applied Sciences



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA
PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

AND

COLOGNE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
INSTITUTE FOR TECHNOLOGY AND RESOURCES MANAGEMENT IN THE TROPICS AND SUBTROPICS

**PROPUESTA DE PLAN PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA EN UNA CUENCA CON
ACTIVIDAD MINERA EN EL MUNICIPIO DE AQUILES SERDÁN, CHIHUAHUA**

THESIS TO OBTAIN THE DEGREE OF

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

DEGREE AWARDED BY

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

AND

MASTER OF SCIENCE

TECHNOLOGY AND RESOURCES MANAGEMENT IN THE TROPICS AND SUBTROPICS

IN THE SPECIALIZATION: RESOURCES MANAGEMENT

DEGREE AWARDED BY COLOGNE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

PRESENTS:

MANUEL ROMÁN GURROLA

DR. ISRAEL RAZO SOTO

DR. JACKSON ROEHRIG

DR. CARLOS ALFONSO MUÑOZ ROBLES

PROYECTO FINANCIADO POR:

FORDECYT (CLAVE 190966) "Análisis, diagnóstico y desarrollo de estrategias para el aprovechamiento sostenible de agua y energía en la industria minera, con un enfoque multidisciplinario y formación de recursos humanos en ciencias de la tierra".

PROYECTO REALIZADO EN:

PMPCA

FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

CON EL APOYO DE:

DEUTSCHER AKADEMISCHER AUSTAUSCH DIENST (DAAD)

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT)

**LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO A TRAVÉS DEL PROGRAMA
NACIONAL DE POSGRADOS (PNPC - CONACYT)**

Erklärung / Declaración

Name / Nombre: Manuel Román Gurrola

Matri.-Nr. / N° de matricula: 11096468 (CUAS), 0229334 (UASLP)

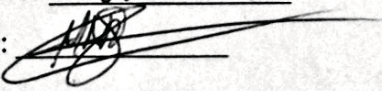
Ich versichere wahrheitsgemäß, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.

Aseguro que yo redacté la presente tesis de maestría independientemente y no use referencias ni medios auxiliares a parte de los indicados. Todas las partes, que están referidas a escritos o a textos publicados o no publicados son reconocidas como tales.

Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht als Prüfungsarbeit eingereicht worden.

Hasta la fecha, un trabajo como éste o similar no ha sido entregado como trabajo de tesis.

San Luis Potosí, den /el 10.08.2015

Unterschrift / Firma: 

Ich erkläre mich mit einer späteren Veröffentlichung meiner Masterarbeit sowohl auszugsweise, als auch Gesamtwerk in der Institutsreihe oder zu Darstellungszwecken im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Institutes einverstanden.

Estoy de acuerdo con una publicación posterior de mi tesis de maestría en forma completa o parcial por las instituciones con la intención de exponerlos en el contexto del trabajo investigación de las mismas.

Unterschrift / Firma: 

DEDICATORIA

Quiero dedicarle el presente trabajo a toda mi familia, quienes con sus acciones siempre me han demostrado como mantener la constancia y perseverancia para lograr las metas propuestas. Quienes siempre me han aportado su cariño, su comprensión y vitalidad para completar cada una de las jornadas de trabajo. Quienes día a día comparten su felicidad, contagian efusividad y devuelven la capacidad de asombro.

AGRADECIMIENTOS

En primer instancia quiero agradecer y reconocer el gran trabajo y esfuerzo que realiza todo el personal académico y administrativo del Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales (PMPCA) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) y del Instituto para el desarrollo de Tecnologías y Gestión de Recursos en el Trópico y Subtrópico (ITT) de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Colonia (CUAS), para la formación profesional de los estudiantes de maestría y doctorado.

Así también agradezco y reconozco el constante apoyo y dedicación del Dr. Israel Razo Soto, y el Dr. Carlos Alfonso Muñoz Robles por parte de los académicos de la UASLP y al Prof. Dr. Jackson Roehrig por parte del ITT, quienes con sus comentarios, retroalimentaciones y conocimientos combinados hicieron posible el desarrollo del presente trabajo de investigación. Además agradezco al Prof. Dr. Alessandro Firmiano de Jesús estudiante de pos-doctorado del ITT, por sus aportaciones en el tema de simulación de flujo de aguas subterráneas y transporte de contaminantes.

Por último quiero agradecer de manera especial a Sandra Milena Avendaño, Maricela Rodríguez, Laura Begbeder, Farah María Ahmed y Lorena Guadalupe Leija, por su gran paciencia e invaluable ayuda en la realización de todos los trámites necesarios durante el programa completo de maestría.

RESUMEN

La actual variabilidad climática advierte que la escasez del recurso hídrico puede intensificarse en aquellas zonas donde existe presión ya sea por déficit o por la competencia en el uso del recurso, debido a esto cada vez es más indispensable el desarrollo de proyectos encaminados a la conservación del agua. México se encuentra dentro del grupo de los países con mayor inversión en la industria minera y siendo el agua de carácter fundamental dentro de la industria extractiva, se requiere que se establezca un manejo adecuado del recurso con base en las características específicas de cada sitio. En el presente trabajo se desarrolla una propuesta de plan de gestión integral del agua (PGIA) para el área de influencia de una unidad minera, en la que se considerará la superficie existente entre los límites naturales establecidos por la cuenca hidrológica y/o el acuífero, como unidad principal de gestión. De ésta manera se lograría reconocer la problemática asociada con la distribución, el consumo, la calidad del agua, las necesidades y probables afectaciones a las comunidades de la zona; así como también el establecimiento de los estudios necesarios para la recopilación de información acerca de las condiciones originales del sitio (datos de línea base); un monitoreo continuo de las variables principales y por último la revisión de la normatividad que sea aplicable en el caso. El objetivo fundamental del PGIA es lograr un consumo eficiente del recurso hídrico, minimizar los impactos ambientales y mantener una flexibilidad estratégica que permita la adopción de medidas para una continua mejora del plan de gestión. Por otra parte; las actividades mineras deben planearse dentro de un esquema de prevención de los impactos negativos que pudieran acontecer durante cualquiera de las etapas del periodo de vida de la mina. Con el enfoque de cuenca como unidad principal de gestión, se proporcionará el marco de análisis necesario para poder integrar los estudios especializados relacionados con la minera y los estudios de caracterización del sitio, además de generar el beneficio de la creación de empresas proactivas que favorezcan al desarrollo sostenible de la región.

Palabras clave: *Gestión del agua, cuenca, minería, prevención, desarrollo sostenible.*

ABSTRACT

Current water scarcity in areas where already exists hydrological stress and competition of resources , can be intensified due to climate variability. Therefore development of water conservation and management projects are needed. Water is one of the most important resources for mining industries and nowadays Mexico has a strong investment in this extractive activity. In this paper an integrated water management plan (IWMP) for an area with mining activities is proposed. The IWMP will consider the natural boundaries of a watershed and/or of an aquifer, as principal management unit. Thus distribution problems, consumption rates, water quality, necessity and probable community affectations can be estimated and at the same time the necessary assessments, base data measurement, main variables monitoring and water policy/regulation can be determined. The aim of the IWMP is to achieve an efficient consumption of the resources, minimized environmental impacts and continue improvement of the resource management plan. On the other hand, mining activities must be planned within a framework that prevents possible negative impacts during all different stages of the mining operation. With a watershed management approach and the establishment of main management units, the analysis framework will be provided in order to integrate specialized resource assessment related with the mining industry and the site characterization. Furthermore it will create the proactive behavior of mining companies for a sustainable development of the region in study.

Key words: *Integrated water management, watershed, mining, prevention, sustainable development.*

Índice general

Índice general	XVII
1. INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	7
OBJETIVOS	9
2. ANTECEDENTES	11
2.1. Vinculación entre el agua y la minería	13
2.1.1. Ciclo hidrológico	13
2.1.2. Proceso minero-metalúrgico	14
2.2. Casos de buenas prácticas en la industria minera (gestión del recurso hídrico) . .	16
2.3. Gestión integral del agua (GIA) y la minería sostenible en México	19
2.4. Plan de gestión integral del agua (PGIA)	20
2.4.1. Plan estratégico para la gestión del agua	21
2.4.2. Política y compromisos	21
2.4.3. Balance hídrico	22
2.4.3.1. Balance de aguas superficiales	22
2.4.3.2. Balance de aguas subterráneas	22
2.4.3.3. Componentes del balance hídrico	23

2.4.4.	Datos de línea base para caracterización física de la región de estudio . . .	30
2.4.4.1.	Topográficos	30
2.4.4.2.	Meteorológicos	31
2.4.4.3.	Geológicos	31
2.4.4.4.	Hidrológicos	32
2.4.4.5.	Hidrogeológicos	36
2.4.4.6.	Hidrogeoquímicos	36
2.4.4.7.	Edafológicos	37
2.4.4.8.	Cobertura vegetal	37
2.4.4.9.	Uso de suelo y vegetación	37
2.4.5.	Construcción de modelos (hidrológico y de flujo de agua subterránea) . . .	38
2.4.5.1.	Modelo hidrológico	38
2.4.5.2.	Simulación de flujo de agua subterránea y transporte de contaminantes	42
2.4.6.	Participación de los grupos de interés	45
2.4.7.	Otros usos del agua	46
2.4.8.	Gestión de riesgos	46
2.4.9.	Gestión Ambiental	48
3.	MARCO LEGAL Y NORMATIVO	49
3.1.	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) . . .	49
3.2.	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) . . .	51
3.3.	Ley de Aguas Nacionales (LAN)	52
3.4.	Programa Nacional Hídrico (PNH) 2014-2018	53
3.5.	Normas Oficiales Mexicanas (NOM)	54

3.6. Legislación Minera	61
3.6.1. Principios de la Ley Minera	62
3.6.2. Iniciativas de reforma a la Ley Minera	63
3.6.3. Regulaciones sobre el uso de aguas nacionales en la minería	64
3.6.3.1. Normas Oficiales Mexicanas aplicables a la minería	65
4. METODOLOGÍA	69
4.1. Recopilación e integración de la base de datos	70
4.1.1. Trabajo de campo	71
4.1.1.1. Toma de muestras de agua	71
4.1.1.2. Análisis de composición química del agua de subsuelo	73
4.1.2. Trabajo de gabinete (recopilación de información)	74
4.1.2.1. Variables meteorológicas	74
4.1.2.2. Topografía	75
4.1.2.3. Vegetación y Uso de Suelo	75
4.1.2.4. Marco geoestadístico nacional	75
4.1.2.5. Edafología	76
4.1.2.6. Red hidrográfica	76
4.1.2.7. Disponibilidad de agua en acuíferos	76
4.1.2.8. Registro Público de los Derechos del Agua (REPGA)	77
4.1.2.9. Geología	77
4.2. Procesamiento de la información con apoyo de software especializado	77
4.2.1. Paquete estadístico IBM SPSS V.21	77
4.2.2. Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS V. 10.1)	77

4.2.3. Delimitación del área de estudio	78
4.2.4. Determinación de coeficientes y parámetros	79
4.2.4.1. Número de curva (CN)	79
4.2.4.2. Parámetros hidrológicos	79
4.2.5. Caracterización morfológica de las cuencas	79
4.3. Estimaciones y construcción de modelos hidrológicos	81
4.3.1. Balance hídrico	81
4.3.2. Vulnerabilidad del acuífero	83
4.3.2.1. Profundidad del nivel estático (D)	83
4.3.2.2. Recarga neta (R)	84
4.3.2.3. Medio del acuífero (A)	85
4.3.2.4. Medio del suelo (S)	85
4.3.2.5. Topografía (T)	86
4.3.2.6. Impacto en la zona no-saturada (I)	86
4.3.3. Construcción de modelos	87
4.3.3.1. Modelo hidrológico	87
4.3.3.2. Simulación de flujo subterráneo y transporte de contaminantes	88
5. CASO DE ESTUDIO	89
5.1. Generalidades	89
5.2. Caracterización	91
5.2.1. Área de estudio	91
5.2.2. Topografía	91
5.2.3. Fisiografía	94

5.2.4. Clima	94
5.2.5. Meteorología	97
5.2.5.1. Modelo digital de precipitaciones (MDP)	97
5.2.5.2. Modelo digital de temperatura (MDT)	99
5.2.6. Vegetación y Uso del Suelo	101
5.2.7. Edafología	101
5.3. Geología	106
5.3.1. Estratigrafía general	108
5.3.2. Estructura geológica	109
5.4. Hidrología	110
5.4.1. Región hidrológica	110
5.4.2. Red hidrológica	111
5.5. Hidrogeología	111
6. RESULTADOS	115
6.1. Diagramas ombrotérmicos	115
6.2. Caracterización morfológica de microcuencas (MC)	118
6.3. Balance hídrico	121
6.3.1. Balance de aguas superficiales	121
6.3.2. Balance de aguas subterráneas	129
6.3.2.1. Recarga vertical (R_v)	129
6.3.2.2. Recarga por flujo horizontal (E_h)	130
6.3.2.3. Recarga inducida (R_i)	130
6.3.2.4. Extracción total por bombeo (B)	131

6.3.2.5. Descarga de acuífero por manantiales (D_m)	131
6.3.2.6. Solución de la ecuación de balance de aguas subterráneas.	131
6.4. Disponibilidad de aguas subterráneas	131
6.5. Hidrogeoquímica	132
6.5.1. Verificación de los resultados de análisis químicos	133
6.5.2. Análisis estadístico de los resultados	133
6.5.3. Análisis jerárquico de conglomerados y familias de agua	135
6.5.4. Calidad del agua para uso y consumo humano	139
6.5.4.1. Características químicas que sobrepasan la norma	142
6.5.4.2. Concentraciones de uranio (U)	145
6.5.5. Determinación de la dirección de flujo	146
6.6. Vulnerabilidad del acuífero	148
6.6.1. Clasificación de la vulnerabilidad del acuífero 0836 Aldama-San Diego	151
6.7. Modelo Hidrológico	151
6.8. Simulación de flujo subterráneo y transporte de contaminantes	156
6.8.1. Generación de la malla de elementos finitos	156
6.8.2. Flujo de aguas subterráneas	157
6.8.3. Campo de velocidades	158
6.8.4. Transporte de contaminantes	158
7. CONCLUSIONES	161
BIBLIOGRAFÍA	167
ANEXOS	177

ANEXO A. TABLAS PARA LA ESTIMACIÓN DE CN	179
ANEXO B. FORMATO DE FICHA DE CAMPO PARA MUESTRAS DE AGUA	185
ANEXO C. REGISTRO PÚBLICO DE LOS DERECHOS DEL AGUA (REPDA)	187
ANEXO D. BALANCE HÍDRICO	251
D.1. Balance de aguas superficiales	251
D.2. Balance de aguas subterráneas	251
D.3. Balance hídrico integrado	252
D.4. Cálculo de los elementos del balance hídrico integrado	252
D.4.1. Precipitación media mensual (P)	252
D.4.2. Escorrentía superficial (R)	252
D.4.3. Evapotranspiración	255
D.4.3.1. Evapotranspiración potencial (ETP)	255
D.4.3.2. Evapotranspiración actual (ETA)	258
D.4.4. Recargas por flujo horizontal subterráneo	261
D.4.5. Recarga inducida	263
D.4.6. Extracción por bombeo	263
D.5. Solución de la ecuación de balance	263

Índice de figuras

1.1. Ubicación geográfica de México en el mundo.	1
1.2. Porcentajes de inversión en exploración minera por país.	3
1.3. Distribución geográfica de las grandes empresas mineras en los estados del norte de México.	3
2.1. Ciclo hidrológico (enfoque de sistemas).	14
2.2. Representación del flujo del agua en el acuífero.	29
2.3. División topográfica (superficial) y freática (subterránea).	33
2.4. Patrones de drenaje	34
2.5. Hidrograma unitario de Snyder.	40
2.6. Hidrograma unitario del <i>SCS</i>	41
2.7. Transporte de contaminantes en aguas subterráneas.	44
2.8. Modelo matemático de flujo en acuíferos confinados.	44
2.9. Modelo matemático de flujo en acuífero libre.	45
4.1. Diagrama de la metodología.	69
4.2. Mediciones en campo.	72
4.3. Estimación del balance hídrico superficial.	82
4.4. Metodología DRASTIC.	83
5.1. Ubicación del municipio Aquiles Serdán y mina San Antonio.	89
5.2. Ubicación geográfica del área de estudio.	92
5.3. Topografía del área de estudio.	93
5.4. Sistema de topofomas.	95
5.5. Unidades climáticas.	96
5.6. Modelo digital de precipitación (MDP).	98
5.7. Modelo digital de temperatura (MDT).	100
5.8. Vegetación y uso de suelo.	102
5.9. Edafología.	104
5.11. Esquema estructural.	106
5.10. Carta geológico-Minera Aquiles Serdán (simplificada).	107
5.12. División hidrológica.	112
5.13. Red hidrológica.	113

5.14. Acuífero Aldama-San Diego 0836.	114
6.1. Diagramas ombrotérmicos (estaciones 8049, 8056, 8085, 8092).	116
6.2. Diagramas ombrotérmicos (estaciones 8113, 8147, 8162, 8185).	117
6.3. Red de drenaje principal.	119
6.4. Perfil del cauce principal de la microcuenca W60.	120
6.5. Perfil del cauce principal de la microcuenca W70.	120
6.6. Perfil del cauce principal de la microcuenca W80.	120
6.7. Perfil del cauce principal de la microcuenca W90.	120
6.8. Perfil del cauce principal de la microcuenca W100.	120
6.9. Distribución espacial del número de curva (CN).	122
6.10. Distribución espacial de la retención máxima (S).	123
6.11. Distribución espacial de la precipitación media anual (P).	124
6.12. Distribución espacial de la esorrentía superficial (R).	125
6.13. Distribución espacial de la precipitación efectiva (P_{EFEC}).	126
6.14. Distribución espacial de la evapotranspiración real (ETA).	127
6.15. Distribución espacial del cambio en almacenamiento de agua en el acuífero (ΔG).	128
6.16. Ubicación de las muestras para análisis hidrogeoquímico.	132
6.17. Porcentaje de electroneutralidad de 51 muestras totales.	133
6.18. Resultados del análisis jerárquico de conglomerados	135
6.19. Distribución espacial de los resultados del análisis estadístico.	137
6.20. Distribución espacial de las muestras por tipos de familias de agua.	137
6.21. Ubicación del prospecto de uranio.	139
6.22. Distribución espacial de las concentraciones de NO_3^- y SO_4^{2-}	143
6.23. Distribución espacial de las concentraciones de As y Cd.	144
6.24. Distribución espacial de las concentraciones de F^- y Na^+	145
6.25. Distribución espacial de las concentraciones de Zn y U.	146
6.26. Concentraciones de Li^+ y valores de la temperatura.	146
6.27. Gráfica de temperatura y concentraciones de litio en las muestras de agua.	147
6.28. Mapas de los factores del índice de vulnerabilidad.	149
6.29. Representación espacial del índice de vulnerabilidad del acuífero.	150
6.30. Región de estudio con simbología de HEC-HMS.	152
6.31. Resultados para un evento aislado.	154
6.32. Resumen de volúmenes para evento de precipitación aislado.	155
6.33. Resultados de volúmenes de esorrentía (periodo 01.1967 – 07.1975).	155
6.34. Polígono de delimitación del acuífero y puntos con elevación del nivel freático.	156
6.35. Malla de elementos finitos (2,496 celdas) delimitada por el dominio del acuífero.	157
6.36. Solución de la dirección de flujo en el acuífero.	157
6.37. Campo de velocidades del flujo de aguas subterráneas.	158
6.38. Ubicación de la unidad minera Santa Eulalia	159

6.39. Instalaciones y presa de jales de la mina San Antonio	159
6.40. Etapas de dispersión de contaminantes.	160
6.41. Isolíneas de concentración del contaminante hipotético.	160
B.1. Formato de ficha de campo para muestras de agua.	186
D.1. Distribución espacial de CN en función a la edafología.	253
D.2. Valor de la precipitación media anual en función a la edafología y CN	253
D.3. Distribución espacial de R en función a la edafología.	254
D.4. Valor promedio de la ETA en función a la edafología.	260
D.5. Celdas de flujo horizontal y elevaciones del nivel freático.	262

Índice de tablas

2.1. Factor de corrección, ETP según Thornthwaite (1948).	26
2.2. Valores de ETP diaria sin corregir para temperaturas mayores a 26,5°C.	26
2.3. Datos de línea base.	30
2.4. Clasificación de los usos del agua.	46
3.1. Organismos administradores de las aguas.	53
3.2. NOM en materia de protección de las aguas y bienes nacionales.	54
3.3. Documentos de la legislación minera actual.	62
3.4. Iniciativas de reformas a la Ley Minera.	64
3.5. NOM en materia de minería, protección al ambiente y el seguro a los trabajadores.	65
4.1. Resumen de información recopilada en trabajo de gabinete.	70
4.2. Volumen y preservación de muestras.	72
4.3. Equipo digital empleado para medición de los parámetros en campo.	72
4.4. Normas y técnicas y para el análisis de los parámetros químicos.	74
4.5. Parámetros morfológicos	80
4.6. Valores de la profundidad del nivel estático (D)	84
4.7. Elementos para el cálculo del factor de recarga neta (R)	84
4.8. Valores de la recarga neta (R)	85
4.9. Valores del medio del acuífero (A)	85
4.10. Valores del medio del suelo (S)	86
4.11. Valores de la topografía (T)	86
4.12. Elementos para el cálculo del impacto en la zona no-saturada (I)	87
4.13. Valores del impacto en la zona no-saturada (I)	87
5.1. Provincias Fisiogáficas.	94
5.2. Tipos de climas.	97
5.3. Valores de la precipitación media anual.	99
5.4. Valores de la temperatura media anual.	99
5.5. Grupos y subgrupos de suelos.	103
5.6. Región hidrológica.	110
6.1. Parámetros morfológicos de la región de estudio.	118

6.2. Balance hídrico superficial (tabla resumida).	129
6.3. Estimación de recarga por flujo subterráneo horizontal.	130
6.4. Estadística descriptiva de los resultados de análisis químicos.	134
6.5. Matriz de correlación entre constituyentes químicos.	134
6.6. Muestras y constituyentes químicos organizados por grupos y subgrupos.	136
6.7. Límites máximos permisibles especificados en la norma NOM-127-SSA1-1997.	140
6.8. Características químicas fuera de norma.	140
6.9. Componentes del método <i>DRASTIC</i> para el caso de estudio Aquiles Serdán.	148
6.10. Tiempos de trayecto de flujo y de concentración (TR-55).	152
6.11. Parámetros y coeficientes para la construcción del UH de Snyder.	153
6.12. Estaciones meteorológicas para series históricas.	153
A.1. Clasificación de suelos.	180
A.2. Número de curva para zonas urbanas.	181
A.3. Número de curva para tierra cultivada.	182
A.4. Número de curva para otro tipo de tierras cultivadas.	183
A.5. Número de curva para zonas áridas y semiáridas.	184
C.1. Base de datos del REPDA.	188
D.1. Valores de la precipitación media anual.	254
D.2. Valores de temperatura media mensual.	256
D.3. Valores de ETP diaria sin corregir para temperaturas mayores a 26,5°C.	257
D.4. Factor de corrección, ETP según Thornthwaite (1948).	257
D.5. Cálculo de la <i>ETP</i> por <i>EMA</i> (método de Thornthwaite, 1948).	259
D.6. Cálculo de recarga por flujo subterráneo horizontal.	261
D.7. Balance hídrico superficial (tabla resumida).	264
D.8. Balance hídrico superficial.	265

1. INTRODUCCIÓN

La gestión del agua se ha convertido en un aspecto principal de la vida diaria ya que está involucrada en cada una de las actividades de las comunidades humanas, sin mencionar que el agua también es indispensable para la conservación de los ecosistemas. El consumo de agua a nivel mundial se ha duplicado tan solo en el transcurso de un par de décadas a causa de la generalizada explosión demográfica que en combinación con el consecuente desarrollo de la producción agrícola e industrial, modifican las condiciones del medio físico natural y finalmente la disponibilidad del recurso hídrico ([Sánchez Cohen and Oswald Spring, 2011](#)).

Además del crecimiento demográfico y desarrollo económico, existen otros factores que también influyen en la disponibilidad de los recursos. Por ejemplo, la disponibilidad hídrica en México está afectada por el relieve topográfico y la gran diversidad climática (causada por la ubicación geográfica del país), ya que la parte sur del país se encuentra en zona intertropical mientras que la parte norte se ubica en la zona templada del globo terráqueo. México está posicionado en la misma latitud que los desiertos del Sahara y Arábigo ([Figura 1.1](#)). Más de la mitad del territorio mexicano se considera como región árida o semiárida con precipitaciones anuales menores a 500 mm, mientras que la parte restante posee clima húmedo con precipitaciones anuales que sobrepasan los 2 000 mm ([CONAGUA, 2014](#)).

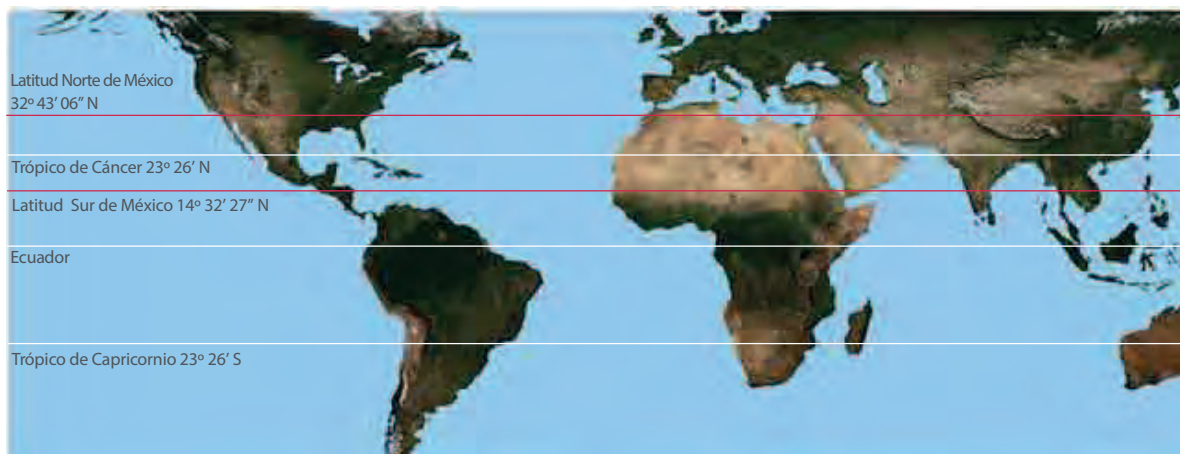


Figura 1.1.: Ubicación geográfica de México en la misma latitud que los desiertos del Sahara y Arábigo.

Fuente: [CONAGUA \(2014\)](#), p.12

La evolución demográfica del país indica que desde mediados del siglo XX, existe una movilización de los habitantes rurales hacia las zonas urbanas. En el transcurso de 60 años (1950 – 2010) la población total dentro de la República Mexicana se cuadruplicó, concentrándose sobre todo en las zonas metropolitanas (ZM) de manera tal que en el 2013, se contabilizaban 32 ZM con más de 500 mil habitantes representando el 50,7% de la población nacional (cerca de 60,1 millones de personas). La marcada tendencia del abandono de las zonas rurales repercutió directamente en las actividades económicas y productivas del país a tal grado que las aportaciones del sector económico primario (actividades agropecuarias, silvicultura y pesca) al producto interno bruto (PIB) disminuyeron en el transcurso del siglo XX, al contrario de las aportaciones del sector económico secundario (minería, industria manufacturera, construcción, electricidad, gas y agua) que se expandieron (CONAGUA, 2014).

A pesar de que en la actualidad permanece la tendencia de disminución de las actividades agrícolas, éstas aún ocupan el primer lugar en los registros de agua concesionada a nivel nacional (75,72% del volumen total con un 40% de eficiencia en su uso); siendo que la mayoría de los distritos de riego se localizan precisamente en las zonas áridas (parte norte y centro del territorio nacional) destacando además que México es uno de los países con mayor infraestructura de irrigación a nivel mundial. En segundo lugar se encuentra el uso agrupado para abastecimiento público (14,65%) seguido por la industria auto-abastecida¹ (4,09%) y el uso agrupado para energía eléctrica (5,55%) excluyendo hidroelectricidad (Sánchez Cohen and Oswald Spring, 2011; CONAGUA, 2014).

Como se mencionó anteriormente, las actividades económicas secundarias son las que ofrecen una mayor aportación al PIB siendo la industria manufacturera la que ocupa el primer lugar con un 17,5% de aportación, seguida por la construcción con 8,1% y por último la minería con 5,5% de aportaciones (INEGI, 2015). Si consideramos que gracias a la minería existe una provisión continua de materia prima para algunos subsectores de la industria (maquinaria y equipo, derivados del petróleo y del carbón, industrias metálicas, productos a base de minerales no metálicos, entre otros) entonces se puede llegar a la conclusión de que la minería constituye una actividad estratégica para el desarrollo nacional. Por ende, debe ser impulsada a través de un aprovechamiento sostenible de los recursos naturales durante todas las etapas del ciclo de vida de la operación minera, comenzando por la etapa de exploración hasta las etapas finales de clausura y abandono del sitio (DOF, 2014).

Actualmente y a pesar de la condición inestable del mercado internacional de los metales, México es uno de los países que ha permanecido como destino popular para la exploración minera en Latinoamérica (Figura 1.2). En el periodo 2001 – 2012, el sector minero creció a una tasa promedio anual de 4,2%. Así pues, el país cuenta con un enorme potencial en la extracción de minerales tanto para las empresas nacionales como para las extranjeras (SGM, 2013).

¹La industria auto-abastecida se refiere a la industria que obtiene el suministro de agua de forma directa desde los ríos, lagos, o acuíferos del país.

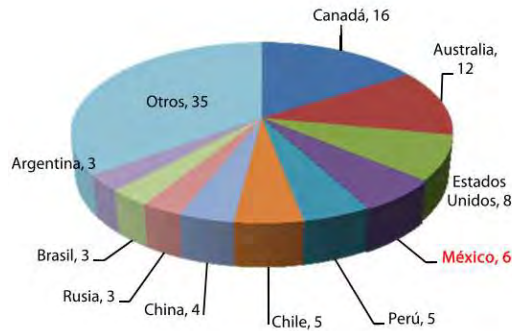


Figura 1.2.: Porcentajes de inversión en exploración minera por país.
Fuente: SGM (2013).

México cuenta con una gran cantidad de yacimientos minerales de calidad que dan lugar al establecimiento de pequeñas, medianas y grandes empresas mineras. Las pequeñas y medianas empresas desarrollan sus actividades sobre todo en los estados del centro de la República Mexicana. Por otro lado, las grandes empresas mineras operan en el norte del territorio, siendo principalmente en las entidades federativas de Chihuahua, Zacatecas, Coahuila de Zaragoza, Sonora y San Luis Potosí, en donde se registran el mayor número de empresas (Figura 1.3). Además es particularmente en estos estados donde se cuenta con condiciones áridas y de déficit del recurso hídrico (DOF, 2014).

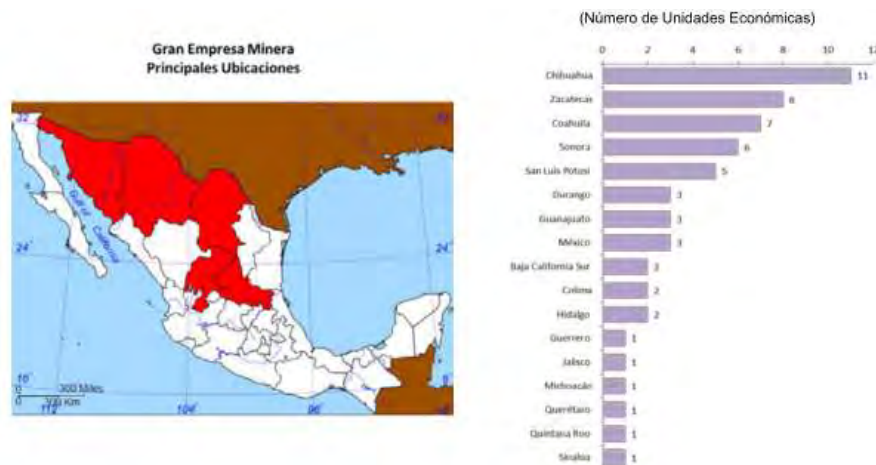


Figura 1.3.: Distribución geográfica de las grandes empresas mineras en los estados del norte de México.

Fuente: DOF (2014).

En este punto se menciona que el plan de desarrollo económico de México pone especial atención al crecimiento del sector Agropecuario, Industrial y de actividades extractivas como procesos de producción e inversión que ayuden a alcanzar los objetivos de desarrollo social (DOF, 2013); sin embargo a medida de que existe un incremento de las actividades productivas, también aumenta

la infraestructura necesaria para soportar la producción y el nivel de los impactos que se presentan en el ambiente puede ser mayor. En el caso de las operaciones mineras, algunos de los impactos negativos se relacionan directamente con la calidad y disponibilidad del recurso hídrico (descargas directas de los materiales de desecho en corrientes de agua naturales, inundaciones y generación de drenaje ácido, etc.) ya que el agua siempre está implicada en cada uno de los procesos o etapas de la minería.

Además de lo mencionado anteriormente, es importante resaltar el hecho de que el recurso hídrico es un elemento determinante para la salud de los ecosistemas y el desarrollo económico-social por lo cual, la gestión del recurso a nivel de cuenca es de vital importancia, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas del país (UNESCO, 2009). En este contexto, las empresas mineras pueden generar un avance importante en el proceso de la gestión del agua, ya que éstas cuentan con los suficientes recursos humanos, económicos y estudios acerca del área en donde se establecen las operaciones de extracción, y pueden ser empleados para incrementar la comprensión del medio físico y para determinar la disponibilidad de los recursos de la región.

Con la adopción de un plan de gestión integral del agua (PGIA), se realiza el establecimiento de objetivos y prioridades afines a las políticas internacionales en torno a la sostenibilidad de la industria minera; se incorpora el principio precautorio en la gestión del agua desde las etapas tempranas y posteriores a las operaciones; se promueve la investigación e implementación de soluciones de largo plazo en beneficio del ambiente y de las comunidades; y se desarrollan herramientas de planificación y simulación de escenarios para la determinación de impactos ambientales relacionados con la calidad y la disponibilidad del agua (UNESCO, 2009; ICMM, 2012). Por los motivos anteriores, el presente trabajo de investigación se centra en el desarrollo de una propuesta de PGIA, que establezca un acoplamiento de los procesos hidrológicos superficiales y subterráneos generados dentro de los límites naturales de la cuenca o el acuífero, con el objetivo de lograr una gestión eficaz y equitativa del recurso hídrico.

Sin embargo, el completo desarrollo e implementación de un PGIA requiere una considerable cantidad de recursos (humanos, financieros, de información) y tiempo, los cuales sobrepasan los disponibles para la realización del presente proyecto de investigación. Es por esto que la estructura del presente documento se limita a abordar los aspectos importantes de carácter político, normativo y de gestión sin pretender hacer referencia completa y exhaustiva de los mismos.

Para la elaboración del presente trabajo de investigación, se consideraron otros escritos y guías publicadas con el propósito de establecer un punto de partida común en relación a la planificación y gestión del recurso hídrico bajo el contexto de las operaciones mineras. Entre los documentos que fueron consultados, los de mayor relevancia fueron: “Agua y Minería en Cuencas Áridas y Semiáridas - Guía para la Gestión Integral” del Proyecto CAMINAR (UNESCO, 2009); “Abriendo Brecha” proyecto del Instituto Internacional para el Medio Ambiente y el Desarrollo (IIED)

en Londres, Reino Unido (IIED, 2002); “Water Management” del proyecto Leading Practices Sustainable Development Program for the Mining Industry (MCA, 2008); por tratar asuntos relacionados directamente con zonas áridas y semiáridas que corresponde completamente con la situación en la que se desarrollan las actuales operaciones mineras más importantes en la República Mexicana y por abarcar ampliamente los aspectos relacionados con los desafíos que enfrenta la industria minera en el campo de la sustentabilidad, en la cooperación y aceptación por parte de las comunidades, el cumplimiento de los aspectos legales, cumplimiento de leyes, regulaciones en relación al cuidado del ambiente y establecimiento de responsabilidades para generar un cambio de paradigmas.

El presente trabajo se integra por siete capítulos. En el primer capítulo se encuentra la parte introductoria, contando con justificación y objetivos. En el segundo capítulo se aborda una breve reseña acerca de la gestión integral del agua desde sus primeras menciones en conferencias internacionales, los principios rectores de la gestión integral y la definición que se le otorga actualmente. En este mismo capítulo también se menciona la vinculación entre el agua y la minería, algunos casos de buenas prácticas en la industria minera en relación con la gestión del recurso hídrico, una breve descripción de la situación actual de la gestión integral del agua (GIA) y la minería sostenible en México, y finalmente se presentan los elementos que conforman el Plan de Gestión Integral del Agua (PGIA). El tercer capítulo se ha dedicado a las políticas y al marco legal enlistando las principales leyes y normas regentes en el tema del agua y las actividades mineras. El capítulo cuarto se refiere al marco metodológico (recopilación de información, el procesamiento de datos, estimaciones y construcción de los modelos hidrológico y de simulación de flujo de aguas subterráneas). En el quinto capítulo se presenta la descripción general del caso de estudio y la caracterización de la región de interés. El sexto capítulo está dedicado a los resultados del trabajo de investigación y finalmente en el séptimo capítulo se presentan las conclusiones y consideraciones finales.

JUSTIFICACIÓN

Una mejor comprensión del entorno natural y de los elementos que intervienen en el ciclo hidrológico, ayudará a la implementación del plan de gestión integral del agua (PGIA) y a definir la cantidad de recurso hídrico que se encuentra disponible para su extracción sin comprometer la integridad y salud del ecosistema. Así mismo se podrán integrar eficazmente los diferentes intereses sociales y de desarrollo económico de la región, mejorando el nivel de confianza de la toma de decisiones bajo un enfoque de gestión con base en la equidad.

Actualmente, la región de estudio cuenta con un grado fuerte de estrés hídrico y por la condición de sobreexplotación de los acuíferos vecinos, se pronostica que la disponibilidad de agua será menor en los próximos años. Por lo tanto, se considera necesaria una solución a largo plazo que se centre en los medios que garanticen el abastecimiento hídrico tanto para el desarrollo de las actividades productivas como para el consumo de las comunidades locales, ayudando a la vez a mejorar la condición y expansión del hábitat natural y a conservar una adecuada calidad del agua de las corrientes naturales.

El marco metodológico y el (PGIA) que son desarrollados en el presente trabajo, pueden ser considerados como referencias para el desarrollo e implementación de trabajos similares en otras regiones o cuencas que posean características semejantes a las establecidas en el presente proyecto de investigación, sin embargo debe comprenderse que es absolutamente necesario realizar todo tipo de adecuaciones y ajustes para considerar las propiedades y características específicas del área en donde se desean desarrollar los trabajos de estudio o de análisis.

Lo anterior es posible gracias a la propiedad que posee el PGIA para poder adecuarse a los cambios, necesidades u obstáculos que se presentan durante su desarrollo e implementación, lo cual le permite alcanzar una mayor eficiencia durante la ejecución de las actividades y la consecución de los objetivos establecidos.

Por último se menciona que con el desarrollo e implementación de un PGIA, se adquirirá el beneficio del cumplimiento por adelantado de las normas, reglamentos y leyes vigentes; ya que si bien en ellos se han realizado reformas, establecido planes y estrategias en relación al recurso hídrico; los cambios en dichas políticas, reglamentos e implementación de normas son procesos que toman tiempo considerable y pueden entorpecer la gestión adecuada de los recursos.

OBJETIVOS

General

Caracterizar y analizar los componentes básicos del ciclo hidrológico en el marco natural de la cuenca hidrográfica o acuífero de una zona minera, para proponer el plan de gestión integral del agua.

Particulares

Determinar los datos de línea base mínimos necesarios para la integración del plan de gestión integral del agua.

Evaluar la condición de los recursos hídricos superficiales y subterráneos para mejorar su uso, calidad y disponibilidad.

Establecer los aspectos principales del plan de gestión integral del agua, con base a la información recopilada y el resultado de la evaluación inicial del sitio.

2. ANTECEDENTES

La organización de las Naciones Unidas (ONU) hizo mención a la gestión integral del agua (Integrated Water Resources Management, IWRM) por vez primera en la “Conferencia de las Naciones Unidas en relación al Agua” efectuada en el Mar del Plata, Argentina, en noviembre de 1977. A partir de entonces tanto la ONU como otras organizaciones internacionales han provocado un gran impacto en el desarrollo del concepto. Los primeros usos del término se referían a la coordinación entre diferentes servicios de soporte para el suministro del recurso hídrico, pero no involucraban más que a un único usuario ([Snellen and Schrevel, 2004](#)).

En 1992 se modificó la visión del suministro y consumo de agua durante la “Conferencia Internacional sobre el Agua y Medio Ambiente (CIAMA)” realizada en Dublín del 26 al 31 de enero, en donde se establecieron recomendaciones y acciones preventivas en contra de la tendencia creciente del consumo de agua, contaminación del ambiente y los problemas relacionados con las sequías e inundaciones. En el informe de la conferencia se establecieron los cuatro principios siguientes ([SEMARNAT, 1992](#)):

Principio No.1. El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.

Principio No.2. El aprovechamiento y la gestión del agua deben inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles.

Principio No.3. La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua.

Principio No.4. El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico.

Las naciones participantes en la CIAMA elaboraron una serie de recomendaciones que ayudarían a hacerle frente a los diferentes problemas relacionados con el recurso hídrico a escalas local y/o nacional. Como algunas de las acciones establecidas y sus respectivos beneficios, se pueden mencionar las siguientes ([SEMARNAT, 1992](#)):

- Establecer el reaprovechamiento y reciclado del agua para disminuir su consumo en el sector agrícola, industrial y abastecimiento público;
- La integración de un sistema sólido de información básica acerca de los componentes climáticos y del ciclo hidrológico (tanto de la parte superficial como subterránea) para protección de los ecosistemas y como medida precautoria y de planeación;
- El establecimiento de la cuenca hidrográfica como la escala espacial más apropiada que beneficia el desarrollo sostenible y la gestión de los recursos hídricos.

La CIAMA se efectuó como una preparación del nuevo enfoque de la gestión integral del agua que se dio a conocer en la “Conferencia de las Naciones Unidas acerca del Desarrollo y el Ambiente” celebrada en Río de Janeiro en junio de 1992, en donde los temas principales del nuevo enfoque establecían ([Snellen and Schrevel, 2004](#)):

- Que la capacidad de carga del ecosistema es la consideración inicial para el análisis y planeación;
- La limitación del consumo de agua junto con el incremento de la eficiencia en el uso y disminución de la contaminación;
- La gestión coordinada entre el sector social y económico.

Ocho años más tarde, se continuó con el desarrollo de IWRM durante el “Segundo Foro Mundial y Conferencia Ministerial del Agua” en Holanda donde se logró introducir la gestión del agua dentro de la agenda política y un año más tarde, en el 2001 en la “Conferencia Internacional acerca del Agua” en Bonn se recomendaron nuevas implementaciones políticas para mejorar la gestión de los recursos hídricos.

Posteriormente en la “Conferencia Mundial acerca del Desarrollo Sostenible” en Johannesburgo en 2002, se logró que la IWRM fuera uno de los primeros temas por considerar dentro de las políticas internacionales presentándola como elemento clave del desarrollo sostenible; lo cual finalmente generó que en el “Tercer Foro Mundial acerca del Agua” celebrado en Kioto en 2003, se estableciera el diálogo, coordinación y participación entre naciones y organizaciones internacionales con el beneficio de intercambio de información para la implementación y mejora de la IWRM ([Muhammad Mizanur Rahaman and Varis, 2005](#)).

Si bien es cierto que las recomendaciones actuales en relación al recurso hídrico emitidas y tratadas por los expertos mundiales han sufrido ciertos cambios y se han propuesto nuevas prioridades, los cuatro principios que fueron establecidos en la CIAMA en 1992, aún continúan vigentes en conjunto con el concepto de desarrollo sostenible desarrollado en Comisión Mundial del Desarrollo y el Ambiente en 1987.

Actualmente, la gestión integral del agua se define como “*el proceso que promueve el desarrollo y la gestión coordinada del agua, el territorio y todos los recursos relacionados con el objetivo de maximizar los beneficios económicos y de bienestar social de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales*” (GWP, 2000).

Bajo este contexto es actualmente analizada la industria minera, ya que son actividades destinadas a la extracción de recursos naturales no renovables que consumen volúmenes representativos del recurso hídrico y las implicaciones o los posibles impactos ambientales, generan riesgos que afectan de manera directa a la capacidad del ecosistema para mantenerse por si mismo, y por extensión al sector socio-económico. La comprensión y la inclusión de todas las demandas de agua existentes en una región determinada, es una parte fundamental del proceso de gestión del agua en las operaciones mineras (ICMM, 2012).

2.1. Vinculación entre el agua y la minería

2.1.1. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es la “sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la atmósfera a la tierra y volver a la atmósfera...” de forma continua e indefinida (Campos Aranda, 1992). Este movimiento e intercambio del agua se efectúa por medio de los procesos hidrológicos, que pueden clasificarse en (Environment Australia, 1999):

- Procesos hidrológicos básicos: precipitación, infiltración, escorrentía superficial, evapotranspiración y percolación.
- Procesos hidrológicos agregados: flujo de corrientes superficiales y subterráneas. Se consideran agregados porque son el resultado de la combinación de los procesos hidrológicos básicos.

La visualización y el análisis del ciclo hidrológico a escalas locales o regionales, puede realizarse a través del enfoque de sistemas. Bajo este enfoque, el ciclo hidrológico local o regional es considerado como un sistema abierto que no se encuentra condicionado por el tipo de salidas que produce. La **Figura 2.1** es la representación del ciclo hidrológico bajo el enfoque de sistemas.

Gracias a los procesos hidrológicos se hace posible que cierta cantidad del agua que está contenida en la hidrosfera, pueda ser aprovechada tanto por el ecosistema como por la sociedad; sin embargo, pueden ocurrir procesos hidrológicos que causen afectaciones directas, sobre todo a las sociedades y a las actividades humanas (Campos Aranda, 1992).

Como ejemplo se puede mencionar un evento de precipitación extrema que desencadene en la generación de escorrentías superficiales extraordinarias, lo cuál puede causar inundaciones en

zonas urbanas y en campos destinados a la agricultura ocasionando fuerte pérdidas económicas y situaciones de riesgo para la sociedad.

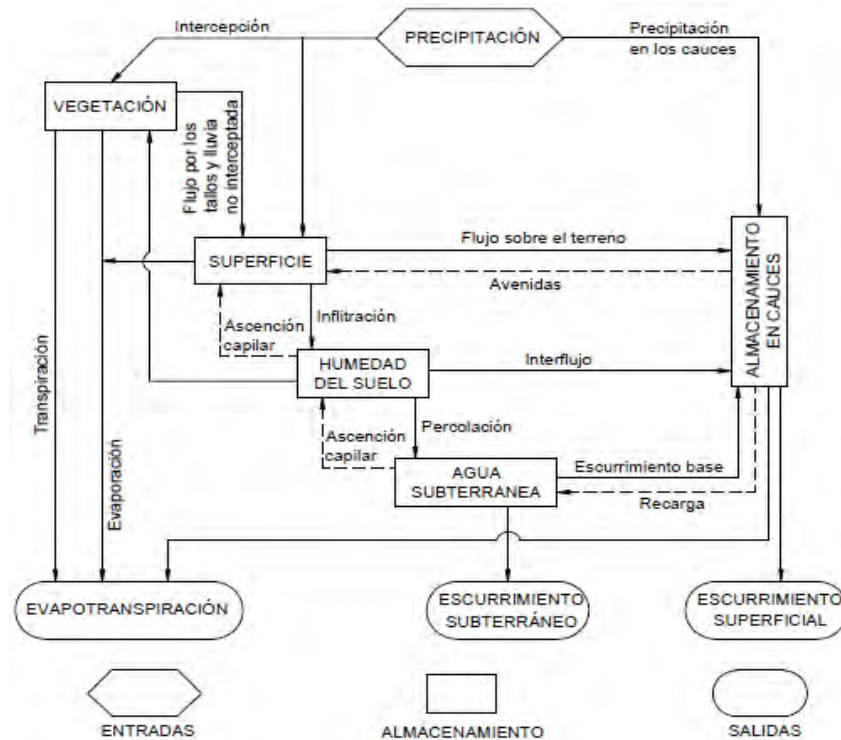


Figura 2.1.: Ciclo hidrológico (enfoque de sistemas).
Fuente: Campos Aranda (1992).

En el contexto de las actividades mineras, los procesos hidrológicos pueden ocasionar la falla estructural de obras de contención y almacenamiento de jales mineros, lo cual generaría graves impactos ambientales que pudieran ser de una extensión considerable. Así también, las obras de construcción de caminos, accesos, estructuras de contención, etc., necesarias para el desarrollo de cualquier proyecto minero, causarían la modificación de los procesos hidrológicos.

En conclusión, el ciclo hidrológico afecta de forma directa a las operaciones mineras y al mismo tiempo las operaciones mineras deben garantizar que la ejecución de las actividades de extracción de los minerales no genere graves disturbios a los procesos del ciclo hidrológico (Environment Australia, 1999).

2.1.2. Proceso minero-metalúrgico

La minería es una actividad que recientemente ha buscado modificar sus prácticas para mejorar su desempeño y alcanzar un alto grado de responsabilidad social y ambiental. Su objetivo principal

es obtener el máximo beneficio económico a partir de la explotación de recursos minerales no renovables depositados de forma natural en el subsuelo (PROESMIN, 2013).

La industria extractiva se relaciona directamente con el recurso hídrico debido a que durante todas las etapas de la operación minera se consumen grandes volúmenes de agua y es por tal motivo que el uso racional del recurso es un aspecto indispensable del proceso. Además, el hecho de que en cualquier actividad minera está implicada la remoción y reubicación de enormes cantidades de materiales, es suficiente para demostrar que estas acciones modifican las condiciones hidrológicas tanto superficiales como subterráneas. Por último, hay que considerar que dentro de los procesos y etapas de las operaciones minero-metalúrgicas, se generan residuos que dependiendo de sus características físico-químicas, pueden contribuir a la contaminación del recurso hídrico, disminuyendo su calidad y disponibilidad.

Las fases o etapas de las operaciones minero-metalúrgicas son las siguientes:

1. *Prospección*: investigación de las anomalías por medio de diferentes métodos para la detección de parámetros o propiedades físicas que dependen del causante de las anomalías (DOF, 2014). Los métodos aplicables son: magnéticos (aéreo y terrestre); gravimétrico (terrestre); resistividad (aéreo y terrestre); polarización inducida (terrestre); electromagnético (aéreo y terrestre); radiométrico (aéreo y terrestre); sísmico (terrestre); registro de pozos (terrestre); imágenes hiperespectrales (aéreas).
2. *Exploración*: estudios más detallados acerca de la cantidad de las reservas, la calidad del depósito y la viabilidad económica. Existen dos tipos de exploración: para ampliación de reservas (exploración de zonas donde existe probabilidad de encontrar yacimientos) y para reposición de reservas (exploraciones para ubicar yacimientos que prolonguen la vida de una operación minera) (PROESMIN, 2013).
3. *Evaluación técnica y económica del proyecto*: estudio de factibilidad económica que depende de los resultados obtenidos en la etapa de exploración (PROESMIN, 2013).
4. *Desarrollo del proyecto*: preparativos para la extracción del mineral; es decir, todas aquellas actividades necesarias para acceder al yacimiento desde la parte superficial. Tratándose de una operación minera subterránea los trabajos son para la preparación de tiros y socavones; si es el caso de una operación minera superficial se enfocarían a la remoción de material estéril o descapote (Coll-Hurtado et al., 2002; PROESMIN, 2013).
5. *Construcción*: se refiere a la adecuación de las vías de comunicación y de suministro de energía eléctrica, telecomunicaciones, instalaciones para el suministro de agua, equipos especiales para el procesamiento del material extraído, etc.
6. *Operación*: se desarrolla en tres diferentes fases: a) extracción del mineral que puede ser de dos formas diferentes: minería a cielo abierto o minería subterránea. b) concentración del

porcentaje de contenido metálico, que puede ser mediante diferentes métodos dependiendo del tipo de mineral, los más usados son el proceso de flotación y lixiviación. El material extraído debe sufrir una reducción de tamaño, invariablemente del método de concentrado elegido, sin embargo para el proceso de flotación se realiza una molienda (pulverización) para obtener partículas de solamente unas cuantas micras de diámetro. c) refinación por procesos pirometalúrgicos (obtención de los metales destruyendo los enlaces que tiene con el oxígeno), o bien hidrometalúrgicos (proceso de lixiviación selectiva).

7. *Cierre y abandono*: el cierre es una serie de actividades que se establecen desde el comienzo de la operación con el objetivo de restaurar todas aquellas áreas que sufrieron disturbios durante la explotación; y posteriormente el abandono de las instalaciones cuando se considera que las acciones realizadas durante el cierre cumplieron el objetivo de restaurar el equilibrio del sitio y los trabajos de monitoreo y de control ya no son necesarios ([PROESMIN, 2013](#)).

2.2. Casos de buenas prácticas en la industria minera (gestión del recurso hídrico)

Las adaptaciones de la industria minera en algunos países como Estados Unidos, Canadá y Australia, donde ésta actividad forma parte fundamental de la economía, resultaron en un conjunto de buenas prácticas para la gestión ambiental en actividades mineras que ayudan a mejorar la comprensión y aplicación de diferentes enfoques y conceptos ambientales, incrementando el nivel de confianza de la toma de decisiones, disminuyendo los riesgos e impactos ambientales a niveles aceptables y por último integrando eficazmente los diferentes tipos de intereses sociales y de desarrollo económico ([Environment Australia, 1999](#)).

A continuación se mencionan cuatro casos de empresas mineras de diferentes países, que forman parte de un grupo de trabajo creado por el Consejo Internacional en Minería y Metales (ICMM), cuyo objetivo principal es considerar los asuntos y la problemática que enfrenta el sector industrial minero en relación al agua y los cursos de acción que brindan una solución adecuada. Todos los casos se desarrollan en regiones donde existe un estrés hídrico, volviendo necesario el garantizar la calidad y disponibilidad del agua (para el ambiente, consumo humano y desarrollo de actividades productivas) mediante soluciones efectivas socialmente aceptables, con beneficios de largo plazo y que cumplan con la reglamentación aplicable en cada país ([ICMM, 2012](#)).

Adicionalmente se menciona el caso del complejo metalúrgico no ferroso Met-Mex Peñoles S.A. perteneciente a la empresa Industrias Peñoles S.A.B. de C.V. (una de las más grandes en la industria minera en la República Mexicana), que se asocia con medidas de prevención ante problemas de contaminación con plomo, y con la optimización del uso del recurso hídrico durante los procesos de producción.

Proyecto eMalahleni Water Reclamation Plant

Se localiza en la República de Sudáfrica y pertenece a la empresa Anglo American Group. El objetivo principal del proyecto es la investigación y desarrollo de tecnologías para el tratamiento de aguas provenientes de tres diferentes unidades además del desarrollo de infraestructura y acuerdos para el suministro de agua tratada para consumo humano. El plan de manejo del agua posee cuatro puntos principales: (a) eficiencia en el uso del agua; (b) seguridad hídrica; (c) responsabilidades y riesgos; (d) establecer compromisos de los actores principales.

El principal logro de ésta empresa fue el proveer una solución a largo plazo gracias al tratamiento de un total de 30 mega litros de agua para el suministro de la región, garantizando a su vez la remediación del sitio cuando la etapa de cierre fue alcanzada.

Proyecto Olympic Dam

El proyecto se localiza en la parte sur de Australia. En éste caso el plan de gestión del agua se enfocó en la identificación de las oportunidades de conservación del recurso hídrico mediante la implementación de políticas y estrategias, control y mitigación de los impactos ambientales. Los objetivos que se establecieron contemplaban la reducción del volumen de agua subterránea utilizada durante el proceso y mejorar la comprensión acerca del comportamiento del acuífero.

Los resultados del proyecto favorecieron la reinterpretación de los datos recopilados acerca del acuífero, lo cual permitió garantizar la disponibilidad de agua en la zona. Al mismo tiempo se logró mejorar el sistema de monitoreo para la conservación de la calidad del agua y se generó un ahorro de 450 mega litros por año, equivalente a 40 litros por tonelada de material molido.

Proyecto Cerro Vanguardia S.A.

Este proyecto ubicado en tierras argentinas perteneciente a la empresa AngloGold Ashantise estableció como objetivo principal la instalación de una amplia red de monitoreo para mejorar el control de la calidad del agua, identificar y prevenir posibles problemas de contaminación en agua del subsuelo. En el plan de manejo de agua del proyecto se determinaron los requisitos necesarios para las buenas prácticas en relación al monitoreo de la calidad y consumo de aguas tanto superficiales como subterráneas; y se efectuó la integración de una base de datos adecuada para el beneficio de la cooperación entre la empresa y las autoridades locales. Con la implementación de estas medidas se consiguió una mayor eficiencia de las medidas preventivas y sistemas de alarma temprana para la aplicación de acciones correctivas y de mitigación de contaminación.

Proyecto Homestake mine

El proyecto se ubica cerca de la ciudad Lead, Dakota del Sur en Estados Unidos de Norteamérica. En este caso, la empresa Barrick estableció un plan de manejo del agua que consideraba dentro de sus objetivos la rehabilitación de los terrenos e instalaciones auxiliares; el desarrollo de sistemas para captura de infiltraciones y desvíos de corrientes superficiales; tratamiento de las infiltraciones recolectadas; mantenimiento de la red de distribución de agua proveniente de fuentes naturales.

Las medidas adoptadas para el alcance de los objetivos se reflejaron en la mejorar de la condición y expansión del hábitat natural obteniendo un mayor nivel en la calidad del agua de las corrientes naturales y por último el establecimiento de un sistema de distribución de agua para consumo humano e industrial mejorando el desarrollo económico del área.

Complejo metalúrgico Met-Mex Peñoles S.A.

Met-Mex Peñoles (MMP) perteneciente a la empresa Industrias Peñoles S.A.B. de C.V., es el complejo metalúrgico no ferroso más importante de América Latina, el cuarto a nivel mundial, y es el primer productor de plata afinada en el mundo. Sus instalaciones se ubican en la ciudad de Torreón, en el estado de Coahuila de Zaragoza, México. El problema principal de MMP involucraba la contaminación de plomo que repercutía directamente en los habitantes de la ciudad de Torreón, especialmente en los infantes.

Las medidas de acción desarrolladas por MMP se enfocaron principalmente en: (a) la reducción de cualquier tipo de emisiones; (b) acciones preventivas en el área circundante al complejo metalúrgico; (c) incremento de la atención médica en la comunidad; y (d) campañas de concientización sobre higiene y alimentación.

Adicionalmente, MMP estableció un convenio con el Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento (SIMAS) de la ciudad de Torreón, para el tratamiento y reaprovechamiento de las aguas residuales provenientes de la ciudad, en los procesos de producción del complejo; disminuyendo así los efectos del estrés hídrico en la región.

Los ejemplos anteriores pueden considerarse como evidencias del progreso de las empresas mineras (nacionales e internacionales) en materia de gestión de recursos, desarrollo económico y prevención de impactos negativos al ambiente; pero a pesar de ello, éstas representan un mínimo porcentaje en comparación con el total de pequeñas y medianas empresas que están actualmente operando y que no cuentan con la suficiente infraestructura para desarrollar sus actividades de forma sostenible. Por otro lado, es posible que la adaptación de los planes de gestión integral a las condiciones particulares de un proyecto, no sea medida suficiente para generar los resultados

positivos esperados; sin embargo se debe admitir que las pautas, los principios y soluciones prácticas confieren confiabilidad en la toma de decisiones y favorece la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible.

2.3. Gestión integral del agua (GIA) y la minería sostenible en México

Así como en la mayoría de los países, en México también existe una gran complejidad que se asocia con la gestión del sector hídrico y se considera que el avance de la tecnología y una mayor comprensión del estado actual de los recursos, son elementos que contribuyen a la solución de la problemática de gestión integral del agua ([Gómez Ugarte et al., 2013](#)).

Para poder cumplir con los objetivos de seguridad y sustentabilidad hídrica, el gobierno de los Estados Unidos Mexicanos ha implementado en el Programa Nacional Hídrico (PNH) 2013-2018 una serie de estrategias, reformas y modernizaciones del sector hídrico con las cuales se pretende ([DOF, 2015b](#)):

- Fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua;
- Incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones;
- Fortalecer el abastecimiento de agua y el acceso a los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento;
- Incrementar las capacidades técnicas, científicas y tecnológicas del sector;
- Asegurar el agua para el riego agrícola, energía, industria, turismo y otras actividades económicas y financieras de manera sustentable;
- Consolidar la participación de México en el contexto internacional en materia de agua.

Por su parte, se observa que los problemas de sostenibilidad de la industria minera, generalmente son abordados desde el tema de la prevención de impactos ambientales y en la actualidad la Secretaría de Economía (SE) de los Estados Unidos Mexicanos, busca establecer la cooperación entre diferentes naciones para promover el trabajo conjunto en la resolución de los problemas de desarrollo sostenible y preservación de los recursos naturales. Es por ello que se han establecido convenios internacionales de colaboración para generar el intercambio de información (política, metodológica, programas de investigación, etc.) y tecnología; además de fomentar el desarrollo de iniciativas, celebración de reuniones, conferencias y por último la generación de capacidades humanas de calidad (a partir de programas de estudio, becas y vinculaciones con universidades

en el extranjero, etc.) con el fin último de alcanzar el nivel necesario de la protección ambiental durante cada una de las diferentes etapas de la industria (SE, 2012).

Sin embargo, a pesar de las iniciativas de cooperación entre naciones y la amplia documentación para el manejo integrado de los recursos y buenas prácticas mineras (Environment Australia, 1999; MCA, 2008; UNESCO, 2009; Minerals Council of Australia, 2012), normatividades y reglamentaciones para la protección ambiental; aún se observan deficiencias en la aplicación de tales prácticas y en el cumplimiento de las leyes, lo cual genera problemas de sobrexplotación y el detrimento de los recursos. Por lo que el principal problema de sostenibilidad en la industria minera, no consiste en la falta de los principios o metodologías y estrategias, sino más bien es un problema de aplicación de los mismos (López et al., 2013; Snellen and Schrevel, 2004).

Las operaciones mineras constituyen una de las pocas industrias que desarrollan sus actividades en el mismo lugar en donde el yacimiento es encontrado; y ésta particularidad ofrece una oportunidad para la conservación de recursos y de beneficio para las comunidades de la región, ya que puede establecerse un punto descentralizado de desarrollo social-económico y de gestión racional de los recursos (PROESMIN, 2013; IIED, 2002).

Debemos considerar que las empresas mineras cuentan con un equipo de personas especializadas en diferentes áreas científicas (geología, ecología, hidrología, construcción, etc.), además de recursos económicos y con estudios suficientes acerca de las condiciones generales del sitio en donde realizan sus actividades. Si se combinan éstas características y estudios con una actitud proactiva de las empresas, la minería se convertiría en la parte central del desarrollo económico, promotora de conservación, y de uso equitativo y eficiente de los recursos (UNESCO, 2009).

En el presente trabajo se considera que la amplia comprensión de la situación actual de los recursos, es el punto de inicio para la correcta implementación y planificación de la gestión del agua. Es de vital importancia lograr una integración de los procesos hidrológicos superficiales y subterráneos para que de ésta manera se adquiera una visión más clara acerca de los riesgos y las medidas de seguridad adecuadas para la disminución y/o atenuación de los impactos ambientales. El objetivo del proyecto de investigación, es establecer la información base para la planificación de la gestión del recurso hídrico que integre los procesos hidrológicos y la influencia antropogénica que modifica la disponibilidad y calidad de recurso hídrico, dentro de la unidad hidrológica básica de estudio.

2.4. Plan de gestión integral del agua (PGIA)

El Plan de Gestión Integral del Agua (PGIA) debe poseer la capacidad de ser dinámico por la simple razón de que es necesario adecuarse a los constantes cambios de las condiciones climáticas, sociales y económicas de la región en donde se desea implementar dicho plan. Incluso las

leyes y normas que establecen el marco regulatorio de las actividades, han sido objeto de continuas modificaciones en el curso de pocos años con el objetivo de ofrecer un marco incluyente y de ésta manera salvaguardar los bienes e intereses de las comunidades y la integridad del ambiente (UNESCO, 2009).

El PGIA es tan complejo como los elementos que lo integran y se enfoca sobre todo a la gestión apropiada del recurso hídrico destinado al consumo y a la eliminación o disminución de los impactos negativos que las actividades humanas tienen sobre el ambiente. Los componentes y herramientas que conforman el PGIA amplían el conocimiento del sistema socioeconómico-ambiental y ofrecen el soporte apropiado para la toma de decisiones (MCA, 2008).

Entre los aspectos que se deben considerar en el PGIA se establecen como los más importantes: (a) el plan de estrategias, (b) la política interna y compromisos; (c) información de línea base; (d) balance hídrico; (e) gestión ambiental y de riesgos; (f) participación de grupos de interés; y finalmente (g) los reglamentos, leyes y normas (UNESCO, 2009).

2.4.1. Plan estratégico para la gestión del agua

La primera etapa para la implementación del PGIA es el establecimiento de las estrategias para mejorar la gestión del agua e incrementar la eficiencia en su uso, destacando el gran valor intrínseco que posee el recurso tanto para el sector económico como para las comunidades y el ambiente (Blafe, 2006). Es vital que la estrategia se centre en la conservación de la cantidad y calidad del agua; promover la participación de los actores y grupos de interés; y establecer un valor apropiado a los productos por el consumo de agua (UNESCO, 2009).

2.4.2. Política y compromisos

Con el término “política” se desea englobar todo el marco jurídico (nacional, estatal, local) que reglamentan y regulan las actividades de las empresas o proponentes de proyectos y de ésta manera disminuir los impactos negativos a las comunidades y al ambiente.

Además de las políticas propias de cada nación, existe una serie de leyes, acuerdos y principios internacionales (EPFI, 2013; GRI, 2013; ICMM, 2003) que tienen como objetivo el establecimiento de proyectos que sean social y ambientalmente responsables, reforzando a la vez los compromisos de contribución y mejora del desarrollo sostenible en la industria.

2.4.3. Balance hídrico

2.4.3.1. Balance de aguas superficiales

El balance hídrico es una cuantificación del agua existente dentro de una superficie de captación o cuenca, en donde las entradas se presentan por la precipitación y recargas artificiales de agua en el acuífero; y las salidas se componen por la escorrentía superficial, evapotranspiración, cambio en el contenido de agua del suelo y el cambio en el volumen de almacenamiento de agua en el subsuelo, tal como se representa en la expresión simplificada del balance ([Ecuación 1](#)) ([Campos Aranda, 1992](#)):

$$P - R - ET \pm \Delta A = \Delta G \quad (1)$$

En donde P es la precipitación; R es la escorrentía superficial; ET es la evapotranspiración; ΔA es el cambio en el contenido de humedad en el suelo; y ΔG es el cambio de almacenamiento del agua en el subsuelo.

Thornthwaite y Mather (1955) desarrollaron un método sencillo para la estimación de los componentes del balance del agua en el suelo, que ofrece resultados confiables. El procedimiento se concentra en la determinación de la evapotranspiración actual, el déficit y el exceso del agua en la matriz de suelo durante las temporadas secas y húmedas, por lo que es ampliamente aplicado para la caracterización ambiental e hidrológica; para el desarrollo de planes para la gestión del agua y para determinar el uso del suelo o las prácticas de cultivo ([Dourado-Neto et al., 2010](#)). Los términos involucrados en la expresión del balance hídrico pueden variar de acuerdo a la disponibilidad y al grado de confiabilidad de la información, así como también de las condiciones naturales en el área de interés.

El método de Thornthwaite y Matter (1955) tiene un inconveniente al ser aplicado en zonas áridas o semiáridas empleando los registros de los volúmenes medios mensuales de precipitación y temperatura, ya que dichos valores tienden a menospreciar los volúmenes de agua que son resultado de aquellas precipitaciones de corta duración pero que sin embargo generan aportaciones de humedad al suelo por medio de la infiltración, resultando de ésta manera que las recargas hacia el acuífero pueden ser subestimadas ([Montaner Salas and Sánchez-Almohalla Serrano, 1988](#)).

2.4.3.2. Balance de aguas subterráneas

Por otra parte, la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 en el Apéndice Normativo “B”, establece que el cambio del almacenamiento del agua en el subsuelo, ΔG , es igual a la diferencia

entre la recarga total del acuífero (suma de entradas) y la descarga total (suma de salidas) de agua del sistema (Ecuación 2) (CNA, 2002).

$$R_v + E_h + R_i - B - D_m = \Delta G \quad (2)$$

Donde R_v es la recarga vertical; E_h es la recarga por flujo subterráneo horizontal; R_i corresponde a la recarga inducida; B corresponde al bombeo; D_m son las descargas por manantiales; y ΔG es el cambio de almacenamiento.

2.4.3.3. Componentes del balance hídrico

Precipitación (P)

La estimación de la distribución espacial de la precipitación es posible gracias a la aplicación de instrumentos de detección remota (datos no puntuales) y la instalación de redes de instrumentos para el registro y monitoreo de las variables meteorológicas (datos puntuales); siendo éste último el método más habitual para la obtención de la información (Ferreiro, 2004).

A partir de los datos de precipitación disponibles, es posible generar el Modelo Digital de Precipitaciones (MDP), que es una representación visual en donde cada uno de los píxeles que integran la imagen, posee un valor resultante de la interpolación de los datos puntuales extraídos de los instrumentos de registro y monitoreo (Estación Meteorológica Automática, EMA). El MDP presenta la ventaja de una mejor interpretación de la distribución espacial de la precipitación.

Precipitación efectiva (P_{EFEC})

Es la diferencia entre el volumen total de precipitación, P , y el volumen de la escorrentía superficial, R . En otras palabras, es el volumen total de agua que logra infiltrarse en la matriz del suelo (Montaner Salas and Sánchez-Almohalla Serrano, 1988).

Escorrentía superficial (R)

En 1968, el Servicio de Conservación de Suelos (*Soil Conservation Service, SCS*) desarrolló un método empírico para la estimación de la escorrentía superficial, R , como la diferencia entre el volumen total de la precipitación y el volumen de agua que logra infiltrarse en el suelo. Para ello, se considera un parámetro que depende del tipo y uso del suelo y las condiciones de humedad (Bras, 1990).

$$R = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (3)$$

Donde R es la escorrentía superficial; P es la precipitación; I_a es la abstracción inicial (pérdida inicial); y S es la máxima retención potencial que representa la habilidad de la cuenca para retener el agua precipitada.

El *SCS* determinó de manera empírica, que la abstracción inicial puede expresarse de acuerdo a la **Ecuación 4**.

$$I_a = 0,2S \quad (4)$$

Por lo tanto, si se sustituye el valor de I_a en **Ecuación 3**, se obtiene la **Ecuación 5**.

$$R = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \text{ donde; } P > 0,2S \quad (5)$$

La retención máxima, S , y otras características de la cuenca están relacionadas a través del parámetro conocido por sus siglas en inglés, *CN* (*Curve Number*) determinado por la siguiente **Ecuación 6**.

$$S (mm) = \frac{25400 - 254CN}{CN} \quad (6)$$

De acuerdo a lo anterior, se observa que el valor de R es directamente proporcional a CN . En teoría, el valor de S puede variar desde cero hasta infinito, y se establece que el rango de CN es de 100 (cuerpos de agua) a 30 (suelos con elevado índice de infiltración). Adicionalmente CN depende del tipo, condiciones y uso del suelo (A).

Evapotranspiración (*ET*)

La combinación de la evaporación y la pérdida del agua mediante la transpiración de la vegetación, genera un proceso conocido como evapotranspiración (*ET*). La evaporación y la transpiración se generan al mismo tiempo y es muy difícil realizar una verdadera distinción entre los dos procesos. Los principales factores meteorológicos que afectan la *ET* son: radiación solar, temperatura del aire, humedad del aire, y velocidad del viento. Respecto a los parámetros atmosféricos que determinan la *ET* son: la presión atmosférica, el calor latente de vaporización y la constante psicrométrica (Allen et al., 2006).

Evapotranspiración potencial (ETP) Cuando se habla acerca de la evapotranspiración potencial, *ETP*, ésta se refiere a la cantidad de agua que teóricamente puede evaporarse (el agua precipitada y la almacenada en el suelo), en caso de que exista en cantidad suficiente (Mendoza et al., 2002).

Thornthwaite (1948) desarrolló un procedimiento en donde la *ETP* se calcula con base a la temperatura media mensual, y posteriormente es afectada por un factor de corrección determinado con base a la duración astronómica del día (horas de luz de acuerdo a la latitud) y el número de días del mes. Éste método considera que cuando la temperatura media mensual sobrepasa el valor de 26,5°C, la *ETP* se vuelve independiente del valor del índice de calor anual (Almorox Alonso, 2010).

Para el cálculo de la *ETP* ajustada se emplean las ecuaciones Ecuación 7, Ecuación 8, Ecuación 9 y Ecuación 10, que se muestran a continuación.

$$e = 16L (10tm/I)^a \quad (7)$$

En donde e es la *ETP* ajustada en milímetros; L es el factor de corrección del número de días (Nd_i) y la duración astronómica del día (N_i , horas de sol); tm es la temperatura media mensual (°C); I es el índice de calor anual; y a es un parámetro que se encuentra en función de I , de tal forma que:

$$a = 0,000000675I^3 - 0,0000771I^2 + 0,49239 \quad (8)$$

A su vez, el índice de calor anual, I , se determina como la sumatoria de los índices de calor mensuales, i :

$$I = \sum i_j, j = 1, \dots, 12 \text{ donde } i_j = (tm_j/5)^{1,514} \quad (9)$$

Por último, los valores del factor de corrección pueden obtenerse mediante:

$$L_i = (Nd_i/30) (N_i/12) \quad (10)$$

O en su defecto, pueden extraerse directamente de la Tabla 2.1 que muestra los valores correspondientes al factor de corrección entre los 27° y 44° de latitud norte, para cada uno de los meses del año.

Tabla 2.1.: Valores del factor de corrección del número de días del mes (Nd_i) y la duración astronómica del día (N_i).

Fuente: Almorox Alonso (2010).

LAT. N (°)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
27	0,92	0,88	1,03	1,07	1,16	1,15	1,18	1,13	1,02	0,99	0,9	0,9
28	0,91	0,88	1,03	1,07	1,16	1,16	1,18	1,13	1,02	0,98	0,9	0,9
29	0,91	0,87	1,03	1,07	1,17	1,16	1,19	1,13	1,03	0,98	0,9	0,89
30	0,9	0,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,2	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
35	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
36	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84
37	0,86	0,84	1,03	1,1	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	0,97	0,85	0,83
38	0,85	0,84	1,03	1,1	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83
39	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	0,96	0,84	0,82
40	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81
41	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,8
42	0,82	0,83	1,03	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19	1,04	0,95	0,82	0,79
43	0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,2	1,04	0,95	0,81	0,77
44	0,81	0,82	1,02	1,13	1,27	1,29	1,3	1,2	1,04	0,95	0,8	0,76

Cuando los valores de la temperatura media mensual sobrepasa el rango de los 26,5 °C, el valor de la *ETP* sin corregir se obtiene de la [Tabla 2.2](#) para posteriormente ser afectado por el factor de corrección , *L*.

Tabla 2.2.: Valores de *ETP* diaria sin corregir para temperaturas mayores a 26,5°C.

Fuente: Almorox Alonso (2010).

tm (°C)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
26						4,5	4,5	4,6	4,6	4,6
27	4,6	4,7	4,7	4,7	4,8	4,8	4,8	4,8	4,9	4,9
28	4,9	5,0	5,0	5,0	5,0	5,1	5,1	5,1	5,1	5,2
29	5,2	5,2	5,2	5,2	5,3	5,3	5,3	5,3	5,4	5,4
30	5,4	5,4	5,4	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,6	5,6
31	5,6	5,6	5,6	5,6	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,8
32	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,9	5,9	5,9	5,9
33	5,9	5,9	5,9	5,9	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
34	6,0	6,0	6,0	6,0	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
35	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
36	6,1	6,1	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
37	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
38	6,2									

Evapotranspiración actual (ETA) Corresponde a la cantidad de agua que realmente se evapora desde la matriz del suelo en conjunto con el agua que transpiran las plantas. Para determinar la

ETA es necesario conocer la ETP , la precipitación efectiva ($P_{EFEC} = P - R$) y la variación de la cantidad de humedad actual en el suelo (ΔA), de este modo se presenta dos posibles casos:

$$Si (P_{EFEC} \pm \Delta A) \geq ETP \text{ entonces; } ETA = ETP \quad (11)$$

$$Si (P_{EFEC} \pm \Delta A) < ETP \text{ entonces; } ETA = P_{EFEC} \pm \Delta A \quad (12)$$

Cambio en el contenido de humedad en el suelo (ΔA)

El contenido de humedad en el suelo es variable en relación al tiempo. Los factores que intervienen en éste proceso son el volumen de infiltración y la evapotranspiración; ya que en meses en donde la precipitación excede las tasas de evapotranspiración, se puede decir que se presenta un incremento en la retención de agua en el suelo, misma que se almacenará hasta alcanzar la capacidad de retención máxima. Cuando esto sucede, el volumen de agua excedente, percolará y formará parte de la recarga del acuífero (Mendoza et al., 2002).

Almacenamiento potencial del agua en el suelo en función de la textura (A_c) Representa la máxima cantidad de agua que el suelo puede absorber. La distribución de valores correspondientes a diferentes tipos de suelo demuestra que los valores más altos de retención de agua corresponden a las áreas que presentan grandes concentraciones de arcilla o materia orgánica. El almacenamiento potencial del agua determinado en función de la textura, es usado comúnmente para las estimaciones de la humedad disponible en la matriz del suelo (Webb et al., 1991).

Contenido real de humedad en el suelo (A) El contenido de humedad en el suelo, A , se determina por medio de la **Ecuación 13**.

$$A = A_c e^{-\frac{L}{A_c}} \quad (13)$$

Donde L es la pérdida potencial de humedad, y A_c es el almacenamiento potencial del agua en el suelo en función de la textura. el caso particular de estudio

La pérdida potencial de humedad, L , se define como la suma acumulada de la diferencia entre la P_{EFEC} , la ETP y A_c . Si se emplean subíndices para diferenciar los meses que componen los periodos secos y húmedos se tiene (Dourado-Neto et al., 2010):

$$\text{Si } (P_{EFEC-i} - ETP) < 0 \text{ entonces; } L = L_{i-1} - (P_{EFE-i} - ETP) \quad (14)$$

$$\text{y } A = A_c e^{-\frac{L}{A_c}} \quad (15)$$

$$\text{Si responsabilidadesy } (P_{EFEC-i} - ETP) \geq 0 \text{ entonces; } L = -A_c \ln\left(\frac{A_i}{A_c}\right) \quad (16)$$

$$\text{y } A_i = A_{i-1} + (P_{EFEC-i} - ETP) \quad (17)$$

Si $A_i > A_c$ entonces :

$$A_i = A_c \quad (18)$$

En el modelo de Thornthwaite y Mather se considera que el cálculo de L y A comienzan en el último mes de la temporada húmeda y que el suelo se encuentra en la *capacidad de campo*; sin embargo es probable que esto no se cumpla en las zonas áridas y semiáridas, ya que el incremento de evapotranspiración causará que el contenido de humedad sea menor (Dourado-Neto et al., 2010).

Recarga vertical (R_v)

La recarga vertical está representada por el agua precipitada que logra infiltrarse y percolar en el terreno para posteriormente alimentar las reservas de agua en el subsuelo; es decir:

$$R_v = P_{EFEC} - ETA \quad (19)$$

Flujo horizontal subterráneo (E_h)

Éste tipo de recarga del acuífero se presenta cuando el agua proveniente de las precipitaciones se infiltra en el terreno ubicado en las partes altas y posteriormente fluyen de manera horizontal a través del subsuelo por causa de la diferencia de elevaciones del nivel freático (CONAGUA, 2008).

Para la estimación del volumen de agua que fluye a través de un medio poroso (Figura 2.2), es necesario combinar la ecuación de la *Ley de Darcy*; $Q = KA(dh/dl)$; con la ecuación de la transmisividad de un acuífero, $T = Kb$; en donde Q es el volumen de agua que fluye en un tiempo determinado a través de un área definida; K es la conductividad hidráulica, A es el área transversal en ángulo recto a la dirección del flujo a través de la cual circula el volumen de agua; dh/dl representa el gradiente hidráulico; T es la capacidad del acuífero para transmitir agua (transmisividad); y b es el espesor del acuífero. Al sustituir la conductividad hidráulica y el área ($A = bW$) en la ecuación de la Ley de Darcy, y al eliminar términos semejantes se obtiene la siguiente Ecuación 20 (Heath, 1983).

$$Q = TW \left(\frac{dh}{dl} \right) \quad (20)$$

En donde W representa la longitud de la sección transversal a través de la cual ocurre el flujo, Q , en un tiempo determinado.

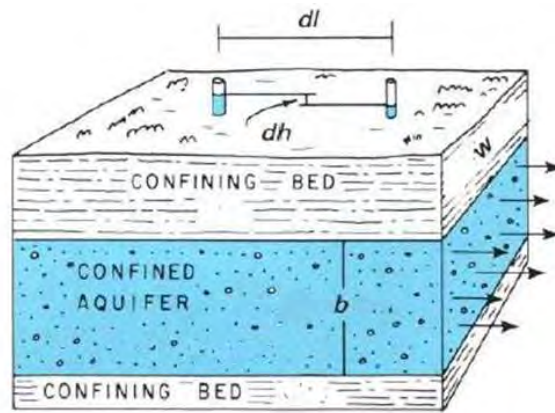


Figura 2.2.: Representación del flujo del agua en el acuífero.
Fuente: Heath (1983), p. 26.

Recarga inducida (R_i)

Este tipo de recarga es por causa del agua de riego que se extrae directamente del acuífero y que al no ser aprovechada retorna al sistema por medio de infiltración. Por cuestiones prácticas, se considera que éste volumen es aproximadamente el 20% del empleado en los sistemas de riego (CONAGUA, 2008).

Descargas por manantiales (D_m)

Este tipo de descargas se presenta de manera natural manifestándose en afloraciones de agua del subsuelo conocidos comúnmente como manantiales.

Bombeo (B)

Es la cantidad de agua que se extrae del acuífero ya sea para consumo humano o para las actividades productivas de la zona de estudio (CONAGUA, 2008).

2.4.4. Datos de línea base para caracterización física de la región de estudio

Es información de carácter esencial en el desarrollo del PGIA. Todos los elementos enlistados en la [Tabla 2.3](#) son requeridos para la caracterización del sistema físico localizado dentro de los límites espaciales de la unidad básica de gestión hidrológica (cuenca o acuífero) y se consideran los mínimos necesarios, al menos durante las etapas iniciales del proyecto de investigación.

Tabla 2.3.: Datos de línea base.

TIPO	DATOS
Topográficos	Elevaciones (rango de alturas del territorio)
Meteorológicos	Precipitación, temperatura, evapotranspiración potencial
Hidrológicos	Región hidrológica, caracterización morfológica (área de cuenca, patrón de drenaje, orden de corrientes, factor de bifurcación, factor de descarga, etc.)
Hidrogeológicos	Porosidad, coeficiente de almacenamiento, permeabilidad, etc.
Hidrogeoquímicos	Análisis físico (temperatura, sólidos totales disueltos)
	Análisis químico (pH, metales totales, metales disueltos)
Edafológicos	Grupos y subgrupos, almacenamiento potencial de agua
Vegetación	Tipo de cobertura vegetal
Uso de suelo	Cultivos, pastoreo, forestal, urbano, recreativo, sin uso.

2.4.4.1. Topográficos

Los aspectos del relieve topográfico se representan con gran detalle gracias al Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que despliega de forma visual todo el rango de alturas del territorio con relación al nivel medio del mar. Estos valores permiten catalogar los relieves y todo lo demás que se encuentre sobre la superficie. El formato que se utiliza para contener todos los valores del MDE es el llamado *raster*, entendiendo que ésta clase de formato es una estructura regular que se construye gracias a un tipo particular de herramientas y software (INEGI, 2013).

2.4.4.2. Meteorológicos

Precipitación

La precipitación puede ocurrir en múltiples formas y su clasificación generalmente depende del estado del agua y del tamaño de las partículas que se precipitan. El tema de interés para los ingenieros e hidrólogos, es la determinación del lugar y el tiempo de ocurrencia de la precipitación. La ciencia ha demostrado que la cantidad y el tiempo que tarda la lluvia en precipitarse, dependen de las condiciones meteorológicas y del rango de temperaturas de la atmósfera; sin embargo, también es posible establecer una relación positiva entre el porcentaje de ocurrencia de la precipitación y la variabilidad de la temperatura a nivel del terreno ([Bras, 1990](#)).

Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros de medición más comunes y fáciles de evaluar. Al igual que la precipitación, presenta fluctuaciones a través del tiempo-espacio además de ser una de las variables climatológicas que influyen directamente en procesos del ciclo hidrológico como la evapotranspiración potencial, y en el cálculo de diversos índices (aridez, productividad, cociente pluviométrico, sequía, etc.) para la aplicación de criterios y clasificaciones ([Fattorelli and Fernandez, 2011](#)).

Evapotranspiración potencial (ETP)

El proceso de *ETP* está influenciado por diversos factores tales como: el contenido de humedad en el aire circundante, las características de la superficie evaporante, radiación solar, temperatura del aire, velocidad del viento, presión atmosférica, etc. ([Fattorelli and Fernandez, 2011](#); [Allen et al., 2006](#)). Sin embargo existe la posibilidad de estimar la *ETP* a partir de datos de temperatura media mensual y un factor de corrección determinado con base a la duración astronómica del día ([Almorox Alonso, 2010](#)).

2.4.4.3. Geológicos

La caracterización física de las rocas se determina a través de exploraciones de reconocimiento del terreno, estudios de estratigrafía, análisis de la estructura geológica, etc., apoyados en el uso de otro tipo de fuentes de información como la percepción remota (imágenes aéreas y/o satelitales), y cartografía (mapas geológicos), solo por mencionar unos ejemplos.

El conocimiento adecuado de la estratigrafía y la estructura geológica es importante ya que permite la delimitación de los acuíferos mediante el reconocimiento de las áreas con mayor probabilidad de almacenamiento de agua. Con base a las características del subsuelo se pueden determinar las direcciones de flujo, zonas de recarga del acuífero, así como su continuidad y espesor, cálculo de parámetros hidráulicos, entre otras cosas ([Arévalo, 2013](#)).

2.4.4.4. Hidrológicos

Región hidrológica

Desde 1997, la República Mexicana se encuentra dividida en Regiones Hidrológico Administrativas (*RHA*) con fines de gestión y conservación del recurso hídrico nacional. Las *RHA* tienen la particularidad de estar integradas por grupos de cuencas, respetando a su vez, la división territorial municipal para agilizar el acoplamiento de la información social y económica.

Por otro lado, las cuencas también se han organizado para la integración de las Regiones Hidrológicas (*RH*), con el propósito de determinar la disponibilidad de aguas superficiales en el país. De acuerdo a [CONAGUA \(2014\)](#) y conforme a la norma NOM-011-CONAGUA-2000, se cuenta con un total de 731 cuencas hidrológicas en el territorio mexicano.

Caracterización morfológica de cuencas

El término *morfometría*, se refiere a la medida y determinación de los patrones y forma que presenta una cuenca. Los factores o parámetros de la cuenca, pueden ser empleados para realizar comparaciones o clasificaciones entre diferentes tipos de cuencas y gracias a que dichos parámetros están estrechamente relacionados entre sí, se pueden reemplazar unos por otros. [Gordon et al. \(2004\)](#) hace mención a los siguientes factores como principales en el proceso de medición y caracterización de cuencas.

Área de la cuenca (A) Éste parámetro ejerce influencia directa sobre la aportación de agua y el tamaño o cantidad de los afluentes. Considera toda la superficie ubicada “aguas arriba” de la corriente principal y el área superficial de los cuerpos de agua que drenan a un punto específico (zona de menor elevación o salida de la cuenca). Los límites o “parteaguas” de la cuenca ([Figura 2.3](#)) se determinan por medio de una línea teórica que conecta a todos los puntos de mayor elevación que se encuentran entre sistemas o redes de drenaje vecinas.

Adicionalmente a la división topográfica de la cuenca, es necesario considerar las elevaciones del nivel freático, ya que éste determina la dirección del agua en el subsuelo ([Gordon et al., 2004](#)).

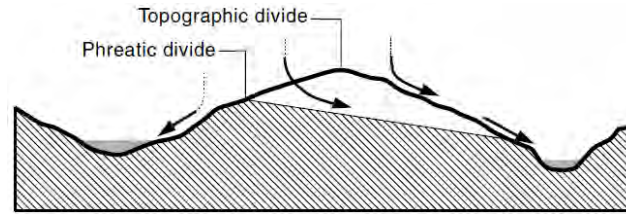


Figura 2.3.: División topográfica (superficial) y freática (subterránea).
Fuente: [Gordon et al. \(2004\)](#), p.57.

Patrón de drenaje Los patrones de drenaje ([Figura 2.4](#)) describen algunas de las características de la cuenca (estructura geológica, orientación de las fallas en el terreno, pendientes, etc.) y todos los sistemas de drenaje poseen patrones que dependen tanto de las condiciones topográficas como geológicas, que el agua va encontrando en el trayecto que ofrece la menor resistencia al flujo. Algunos de los patrones más comunes son:

- *Dendrítico*: se encuentra en áreas de relativa uniformidad en la estructura geológica.
- *Pinado*: ocurre en terrenos con la presencia de materiales finos (limo-arcillosos).
- *Rectangular*: común en zonas con ángulo, fallas y juntas rectas en el terreno
- *Radial*: se forma cuando las corrientes se alejan de un domo o cono volcánico.
- *Centrípeto*: al contrario que el radial, las corrientes se concentran en un solo punto (al centro). Se presenta generalmente en superficies muy permeables.
- *Paralelo*: se presenta en lugares de pendientes pronunciada.
- *Trellis*: generalmente se desarrollan en lugares con estratos alternados de diferente consolidación.
- *Anular*: se desarrolla en forma de anillos concéntricos alrededor de domos o cuencas donde se observan rocas intrusivas expuestas.

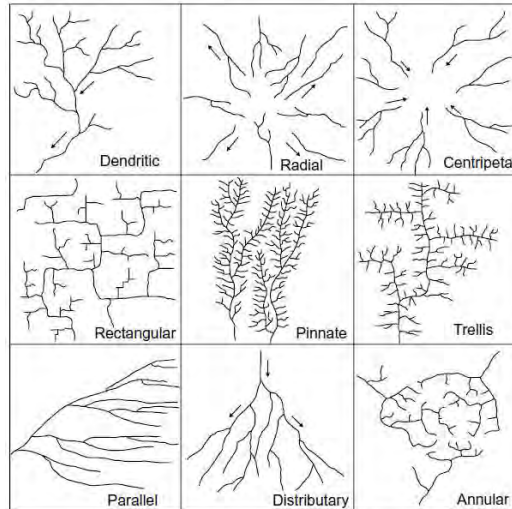


Figura 2.4.: Patrones de drenaje
 Fuente: [Gordon et al. \(2004\)](#), p.57.

Orden de las corrientes Éste es un método de aplicación general para la clasificación de las corrientes, en donde se asume que el valor del orden de la corriente mantiene una relación con la extensión del área de captación, las dimensiones de la corriente y el volumen de descarga. Se han desarrollados algunas “leyes” respecto a la red de drenaje en donde se observa que a medida que el orden de las corrientes se incrementa: (a) el número de corrientes disminuye, (b) se incrementa la longitud promedio de las corrientes, (c) disminuye el área de captación, y (d) el valor promedio de la pendiente del terreno disminuye ([Gordon et al., 2004](#)).

Longitud de la corriente (L_u) Afecta directamente al tiempo en que el agua es desalojada por el sistema de drenaje y también tiene influencia en la cantidad de sedimentos que son transportados. Actualmente es posible obtener medidas con gran exactitud, gracias al uso de herramientas informáticas.

Longitud promedio de la corriente (L_{sm}) Es una característica que pone de manifiesto las particularidades del tamaño de los elementos que componen la red de drenaje. Se calcula dividiendo la longitud de las corrientes de un orden determinado (L_u) entre el número total de las corrientes del mismo orden (N_u).

Factor de bifurcación (R_b) Se define como la relación entre el número de corrientes de un cierto orden y el número de corrientes del siguiente orden. Existe una relación entre éste factor y el grado de alteración o disturbio en el patrón de drenaje. Las cuencas que presentan valores bajos del factor de bifurcación son aquellas con pocos disturbios en la estructura de la red hidrológica ([Chopra et al., 2005](#)).

Factor de descarga (R_h) Se define como la relación entre la diferencia de alturas (h) entre el punto más alto y el más bajo entre la longitud mayor de la cuenca (L_b).

Es una medida general del grado de inclinación de la red indicando al mismo tiempo la intensidad de los procesos de erosión en la cuenca (Chopra et al., 2005).

Densidad de drenaje (R_D) Una densa red se caracteriza por poseer un fino sistema de drenaje de corta longitud y pendientes pronunciadas. Por el contrario, las cuencas con baja densidad de drenaje poseen corrientes de mayor longitud muy separadas unos de otros y el terreno en donde se ubican es principalmente plano (Gordon et al., 2004).

La densidad de drenaje se calcula dividiendo la longitud total de los afluentes (L_u) entre el área total de la cuenca (A).

Frecuencia de las corrientes (F_s) Es el número total de las corrientes de la cuenca por unidad de superficie.

Textura de la red de drenaje (R_t) Se calcula dividiendo el número total de corrientes entre el perímetro de la cuenca. La infiltración está directamente relacionada con la textura de la red y se considera que también están incluidas la densidad de drenaje y la frecuencia de las corrientes. La densidad de drenaje se puede clasificar en cinco texturas diferentes: muy gruesa (< 2); gruesa (2-4); moderada (4-6); fina (6-8); y muy fina (> 8) (Chopra et al., 2005).

Pendiente del cauce principal (S_c) La pendiente del cauce principal determina la velocidad del agua. Se calcula dividiendo la diferencia de la altura máxima y la mínima del cauce principal ($h_{máx} - h_{mín}$), entre la longitud total del cauce (L).

Longitud del cauce principal Es el punto hidráulicamente más alejado hasta la salida del drenaje de la cuenca. La longitud del cauce principal interviene en el cálculo del tiempo de concentración y de recorrido del agua.

Perfil longitudinal de la corriente principal El perfil permite la representación gráfica del cambio de las pendientes de la corriente con respecto a la distancia. La forma del perfil está relacionada directamente con el tipo y los cambios de suelo, la topografía, etc.; presentando una pendiente pronunciada generalmente en presencia de roca sólida y formas planas cuando el terreno ofrece menor resistencia ante los procesos de erosión.

Pendiente de la cuenca (S_b) Éste parámetro tiene influencia sobre el porcentaje de la escorrentía, densidad de drenaje y el volumen de agua que es desalojada.

Factor de elongación (R_e) Es el resultado de la división del diámetro de un círculo cuya área es igual al área de la cuenca (D_c) entre la longitud máxima de la cuenca (L). Éste factor es importante para el análisis de la forma de la cuenca y ayuda a interpretar las características de la red de drenaje. Cuando el valor del factor se aproxima al valor 1.0, la forma de la cuenca es más cercana a la forma circular (Schumm, 1956).

Una cuenca circular es más eficiente en el desalojo de la escorrentía. Se pueden definir tres categorías a partir de los valores de éste factor: aproximadamente circular ($R_e > 0,9$), forma ovalada ($0,7 \leq R_e \leq 0,9$) y alargada ($R_e < 0,7$) (Chopra et al., 2005).

Factor de forma (R_f) Es la relación que existe entre el área de la cuenca (A) y el cuadrado de la longitud máxima de la cuenca (L^2). El valor máximo que puede adquirir éste factor es igual a 0,7854 (forma perfectamente circular), lo que significa que mientras el valor del factor disminuye, la forma de la cuenca tiende a alargarse. Al mismo tiempo, las cuencas con altos valores del factor de forma, poseen flujos máximos de corta duración, y por el contrario cuencas con valores bajos del factor, presentan flujos máximos en tiempos prolongados (Chopra et al., 2005).

2.4.4.5. Hidrogeológicos

La Hidrogeología también es conocida bajo el nombre de hidrología subterránea. Los datos hidrogeológicos ayudan a determinar el almacenamiento y distribución del recurso hídrico a través de las estructuras geológica. Los parámetros de porosidad, permeabilidad y transmisividad, se emplean para determinar el comportamiento que presenta el agua en el subsuelo ante las condiciones normales y acciones externas de explotación (Montes, 2011).

2.4.4.6. Hidrogeoquímicos

El agua que circunda por las formaciones rocosas del subsuelo, va incorporando sales solubles que varían en cantidad dependiendo de factores como la temperatura, presión y el tiempo de contacto que el agua mantiene con las rocas (Montes, 2011). El análisis químico del agua permite identificar los principales factores, naturales o antropogénicos, que contribuyen a la composición del agua subterránea; además de que ayuda a determinar el tipo de agua subterránea que está siendo analizada, así como también el uso general que se le puede dar al recurso.

2.4.4.7. Edafológicos

Se puede referir a los suelos como un sistema natural abierto constituido por tres fases (sólida, líquida y gaseosa) que se ubica en la superficie terrestre y es el resultado de interacciones de factores tanto bióticos como abióticos que puede durar millones de años. Estos procesos influyen tanto a la cobertura vegetal como al material litológico y originan suelos que de acuerdo a la clasificación de la FAO/UNESCO modificada por DETENAL, se diferencian por ser azonales (*litosoles, regosoles, fluvisoles, vertisoles, rendzinas, planosoles*); intrazonales (*gleysoles, solonchak*); y zonales (*yermosoles, xerosoles, chernozem, castañozem*) (INE, 1989).

2.4.4.8. Cobertura vegetal

La distribución espacial y la estructura de la cobertura vegetal desempeñan un rol importante en los procesos hidrológicos, ya que existen estrechas relaciones entre la densidad y tipo de la cobertura vegetal, con la retención de sedimentos y cantidad de agua que se infiltra en el terreno (Mayor et al., 2007). A pesar de que éstas interacciones son bastante reconocibles, todavía existe cierta incertidumbre acerca de cómo los patrones espaciales de la cobertura vegetal se pueden asociar con la productividad y diversidad de los ecosistemas (Pueyo et al., 2013), los cuales a su vez pueden convertirse en factores que incrementen la eficiencia en retención de sedimentos e infiltración de agua en el subsuelo.

2.4.4.9. Uso de suelo y vegetación

Las actividades económicas y de desarrollo de los asentamientos humanos son la causa principal del cambio de la cobertura y las propiedades del suelo. El uso de suelo se ha transformado drásticamente provocando fuertes impactos en los ecosistemas y en las formas de respuesta naturales ante los eventos meteorológicos.

Existen múltiples aplicaciones para la categorización en el uso del suelo. Como ejemplo se puede mencionar la metodología desarrollada en 1968 por el Servicio de Conservación del Suelo (*Soil Conservation Service, SCS*), que a pesar de ser desarrollada para las condiciones del territorio estadounidense, hoy en día ha sido adaptada para ser empleada en otras regiones del mundo. Uno de los conceptos básicos de la metodología, consiste en representar la retención potencial de agua en el suelo en términos de grupos hidrológicos del suelo; tipos de cobertura; tratamientos del suelo; y condiciones hidrológicas del suelo (USDA, 1986).

2.4.5. Construcción de modelos (hidrológico y de flujo de agua subterránea)

Básicamente, los modelos son herramientas de representación conceptual de las interrelaciones y respuestas de los sistemas reales. Cuando se realiza la construcción de modelos hidrológicos, se trata de representar un sistema complejo en donde interviene la aleatoriedad de diversos factores en tiempo y espacio determinados, lo cual es sumamente difícil y por lo que generalmente se opta por considerar únicamente uno o dos parámetros variables. A pesar de que los modelos hidrológicos son una representación aproximada del ciclo del agua, éstos permiten realizar predicciones de cierta confiabilidad bajo condiciones específicas o conocidas ([Salgado and Güitrón, 2012](#)).

Los modelos se han desarrollado como elementos de soporte en la toma de decisiones o análisis de diferentes cursos y planes de acción (protección civil, gestión del agua, preparación y respuesta ante eventos inesperados, planeación y diseño de estructuras, etc.).

La construcción del modelo hidrológico en complemento con el modelo de flujo de aguas en el subsuelo; conforma una potente herramienta de apoyo para la toma de decisiones referentes a la gestión y prevención de contaminación del recurso hídrico.

2.4.5.1. Modelo hidrológico

La construcción o generación de éstos modelos tienen la finalidad de proporcionar información que en la mayoría de los casos no es posible conseguir por medio de los registros históricos de puntos de monitoreo; o bien se requieren realizar predicciones y estimaciones como en el caso de la escorrentía provocada por un evento particular de precipitación ([Feldman, 2000](#)).

Existen diferentes enfoques para la construcción de los modelos hidrológicos, dentro de los cuales se pueden mencionar: (a) modelos físicos; (b) modelos análogos; y (c) modelos matemáticos.

El modelo hidrológico desarrollado durante el presente proyecto de investigación, es un modelo matemático para la determinación de la escorrentía superficial de precipitaciones asiladas (horas de duración) y para la simulación de la respuesta hidrológica de la cuenca durante y entre eventos. Así también se trata de un modelo empírico, bajo el entendido de que éstos son construidos con base a la observación de los elementos de entrada y salida del sistema; y por último, se desarrolla un modelo en el cual todos los parámetros hidráulicos son determinados (directa o indirectamente) a partir de las características del sistema ([Hamilton, 1989](#)).

Los métodos utilizados en el cálculo del modelo hidrológico de precipitación-escorrentía son el método de pérdidas del *Soil Conservation Service (SCS)* y el método de hidrograma unitario sintético (*UH*) de Snyder, por ser un método recomendado para cuencas sin aforo.

Método de pérdidas del SCS – Número de Curva (CN)

Este método empírico se emplea para estimar la escorrentía, R , a partir de los datos de precipitación, P , retención máxima, S , y un parámetro conocido como número de curva, CN . Las expresiones empleadas para el cálculo son las ecuaciones [Ecuación 5](#) y [Ecuación 6](#).

Hidrograma Unitario Sintético (UH) de Snyder

El hidrograma es una representación gráfica de la evolución de la descarga instantánea (la totalidad de flujos de agua subterránea, flujos internos y escorrentía superficial de la cuenca) a través del tiempo. El hidrograma resultante de cualquier evento de precipitación excesiva que genere escorrentía dentro de una superficie particular, posee un patrón general compuesto principalmente de tres etapas. Comienza con un periodo de incremento de escorrentía que culmina en el pico o cresta, y posteriormente se presenta una recesión del flujo ([Gray, 1962](#)).

Para la construcción del hidrograma, es necesario conocer datos de entrada (precipitación, tiempo) y de salida (volumen de agua desalojada); sin embargo no siempre es posible contar con estos datos, por lo que se han desarrollado técnicas que relacionan características físicas de la cuenca con las características principales del hidrograma: cresta, duración desde el principio del evento hasta el pico del UH , duración de la precipitación efectiva, y la duración total o tiempo base del hidrograma ([Bras, 1990](#)).

En 1938, Snyder condujo una serie de análisis de las cuencas ubicadas en la Cordillera de los Apalaches en los Estados Unidos de Norteamérica (U.S.A.), y finalmente estimó los parámetros del UH a partir de las relaciones entre las características de la gráfica y las características de las cuencas. Snyder definió como UH estándar aquel hidrograma cuya duración de precipitación efectiva en horas, t_r , está relacionada al retraso de la cuenca, t_p , por la [Ecuación 21](#).

$$t_p = 5,5t_r \quad (21)$$

Donde el retraso de la cuenca debe entenderse como la diferencia entre el tiempo en el cual se presenta el pico del UH y el tiempo relacionado con el centroide del exceso de precipitación que genera el escurrimiento ([Figura 2.5](#)) ([Feldman, 2000](#)).

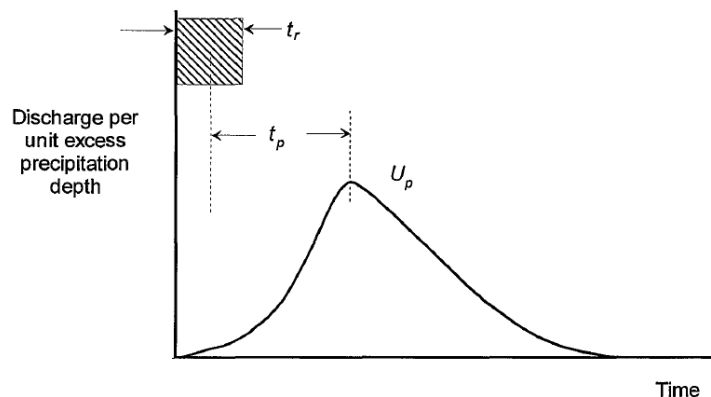


Figura 2.5.: Hidrograma unitario de Snyder.

 Fuente: [Feldman \(2000\)](#), p.57.

Para el caso particular de la [Figura 2.5](#), Snyder relacionó el retraso del UH y el pico por unidad de exceso de precipitación por unidad de área de la cuenca ([Ecuación 22](#)).

$$\frac{U_p}{A} = C \frac{C_p}{t_p} \quad (22)$$

Donde U_p es el valor de la descarga en el pico del UH estándar; A es el área de la cuenca; C es un factor de conversión (2,75 para SI y 640 para sistema de unidades inglés) ([Feldman, 2000](#)); y C_p es un coeficiente para considerar la retención y almacenamiento en la cuenca, usualmente varía entre 0,4 y 0,8 ([Bras, 1990](#)).

A partir de las observaciones realizadas y las relaciones establecidas, se propuso que el retraso del UH se puede determinar por medio de la [Ecuación 23](#).

$$t_p = CC_t (LL_c)^{0,3} \quad (23)$$

Donde C_t es un factor que representa las variaciones de las pendientes y capacidad de retención de la cuenca; L es la longitud de la corriente principal desde el punto de la cuenca hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca; L_c es la longitud de la corriente principal desde la salida de la cuenca hasta el centroide de la misma y C es una constante de conversión (0,75 para el SI y 1,0 para el sistema de unidades inglés) ([Feldman, 2000](#)). Los valores de C_t para las cuencas de los Apalaches que fueron analizadas por Snyder, variaban desde 1,8 a 2,2 (para el sistema de unidades inglés) ([Gray, 1962](#)).

A partir del estudio de hidrogramas de una variedad de cuencas que difieren en tamaño y ubicación geográfica, el *SCS* desarrolló un procedimiento para sintetizar el UH unitario de Snyder en

un UH adimensional (Figura 2.6); en donde el valor de las ordenadas se expresa como la relación entre la descarga en cualquier tiempo (U_t) y la descarga en el pico del hidrograma (U_p); y el valor de las abscisas es la relación t/T_p (Gray, 1962).

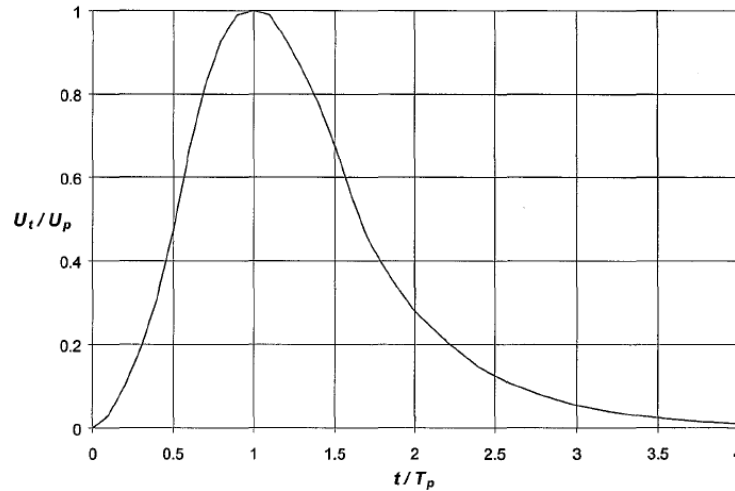


Figura 2.6.: Hidrograma unitario del *SCS*.

Fuente: Feldman (2000), p.59.

El empleo de éste nuevo método, establece que el tiempo desde el comienzo del exceso de precipitación (la que provoca la escorrentía) hasta el pico del UH se define de acuerdo con la Ecuación 24.

$$T_P = \frac{t_r}{2} + t_p \quad (24)$$

Donde t_r es la duración del exceso de precipitación en horas (ver Figura 2.5); y t_p es el retraso del hidrograma unitario (Bras, 1990).

Además, el *SCS* también establece que la descarga en el pico del UH puede relacionarse con el tiempo desde el inicio del evento hasta el pico del UH (Ecuación 25).

$$U_P = C \frac{A}{T_p} \quad (25)$$

Donde A es el área de la cuenca; y C es un factor de conversión (2,08 para el SI y 484 para el sistema de unidades inglés) (Feldman, 2000).

De acuerdo al *SCS*, el tiempo de retraso del UH para cuencas sin aforo, puede relacionarse con el tiempo de concentración, t_c (Ecuación 26).

$$t_P = 0,6t_c \quad (26)$$

Donde el tiempo de concentración es un parámetro dependiente de los términos indicados en la [Ecuación 27](#).

$$t_c = t_{laminar} + t_{superficial} + t_{canal} \quad (27)$$

Donde $t_{laminar}$ es el tiempo de flujo del agua sobre las superficies planas de la cuenca, generalmente ocurre al comienzo del escurrimiento (flujo de tipo laminar), en una distancia no mayor a 100 metros; $t_{superficial}$ es el tiempo de transcurso del agua sobre la superficie de la cuenca a partir del término del flujo laminar hasta el punto en donde comienza el flujo a canal abierto; t_{canal} es el tiempo de flujo del agua a canal abierto. Se asume que t_{canal} comienza cuando se alcanza la sección transversal de las corrientes principales, o a partir del punto en donde se pueden reconocer las corrientes a partir de fotografías aéreas. El Reporte Técnico 55 (*TR-55*) publicado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por su acrónimo en inglés), establece la metodología para la determinación de los tiempos de recorrido de los diferentes flujos ([USDA, 1986](#)).

2.4.5.2. Simulación de flujo de agua subterránea y transporte de contaminantes

La recopilación de la información suficiente para poder establecer un manejo sostenible de los recursos hídricos del subsuelo, es una labor muy complicada de lograr ya que se requiere de una fuerte inversión financiera en personal, equipos especiales e investigaciones geofísicas, químicas, etc., para lograr tan solo una caracterización del sistema de acuífero. La integración de datos de alta calidad y en cantidad suficiente, es indispensable para conducir un estudio que incorpore los aspectos superficiales y del subsuelo con un aceptable grado de confianza ([Chesnaux et al., 2011](#)).

En la misma forma que con el análisis de sistemas hidrológicos, se han hecho innumerables esfuerzos para el desarrollo de modelos enfocados al estudio del flujo del agua en el subsuelo. Sin embargo, debido a que las condiciones reales son muy difíciles y complejas para ser representadas con exactitud (modelos físicos), se deben considerar simplificaciones e incluso se realizan suposiciones de algunos datos necesarios para la resolución de los modelos; de ésta manera, la confiabilidad de dicho trabajo depende del grado de aproximación hacia las condiciones reales ([F. Wang and P. Anderson, 1982](#)).

El método de elementos finitos (*Finite Element Method, FEM*) es uno de los modelos matemáticos mayormente empleado para la solución de problemas de flujo de aguas subterráneas. El modelo

consiste en un sistema de sub-áreas (definidas por nodos conectados por líneas) que se encuentran dentro de un dominio, y la finalidad del modelo es obtener el valor de una variable específica, en cada uno de los nodos que se han creado. El *FEM* es considerado como el método universal para la resolución de ecuaciones diferenciales con la ventaja de permitir el análisis y solución de una gran variedad de problemas empleando el mismo sistema de trabajo (Logg et al., 2012).

Principalmente existen dos condiciones diferentes de dominio. La primera se conoce como condición de *Dirichlet* o de Tipo I, que es cuando se conoce la tendencia o dirección de flujo en la superficie dentro del dominio. La segunda es la condición de *Neumann* o de Tipo II; es cuando se conoce el flujo a través del dominio. Además, es posible realizar combinaciones de éstos dos tipos de condiciones para definir el apropiado dominio del sistema (F. Wang and P. Anderson, 1982).

Modelo matemático (Firmiano de Jesus, 2015)

En el presente trabajo se hace una adaptación de la herramienta computacional desarrollada en código *Python*, por el Prof. Dr. Alessandro Firmiano de Jesus durante el plan de estudios de pos-doctorado efectuados en el Instituto para el desarrollo de Tecnologías y Gestión de Recursos en el Trópico y Subtrópico (*ITT*) de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Colonia (*CUAS*), Alemania. Las actividades del Dr. Firmiano se enfocaron en la solución de ecuaciones numéricas a través del método de elementos finitos realizando al mismo tiempo una interfaz con la plataforma de Sistemas de Información Geográfica (*GIS*) de la organización ESRI, para la obtención de información georeferenciada.

Para fines prácticos, en adelante nos referiremos al software de código libre para la simulación de flujo de agua subterránea y transporte de contaminantes como *Sflux* (Simulação de fluxo).

Problema de transporte de contaminantes

El sistema de ecuaciones diferenciales no-lineales que son la base para las ecuaciones gobernantes del problema de transporte de contaminantes en aguas subterráneas, tiene la formulación mostrada en la [Figura 2.7](#).

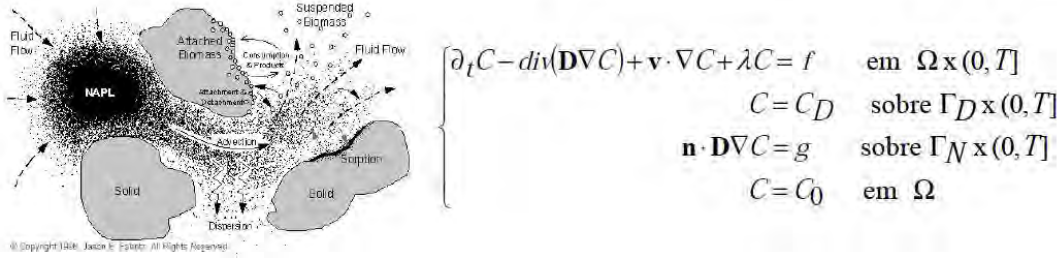


Figura 2.7.: Transporte de contaminantes en aguas subterráneas.
Fuente: Firmiano de Jesus (2015).

Donde $\Omega \subset R^2$ es un dominio poligonal limitado por una frontera *Lipschitz* (Γ) constituida por dos partes separadas, la primera es una frontera de *Dirichlet* (Γ_D) y la otra es una frontera de *Neumann* (Γ_N), tales que $\Gamma_D \cup \Gamma_N = \Gamma_\Omega$. Existe un tiempo T que es arbitrario, sin embargo debe ser establecido. Para casos simplificados, la matriz de dispersión D es continuamente diferencial y simétrica, uniformemente definida, positiva e isotrópica. Además, el campo de velocidades v , es constante en relación con λ siendo una función escalar continua y no negativa.

Problema de flujo en acuífero confinado

El modelo matemático de flujo bidimensional de acuíferos confinados, anisotrópicos y con recarga, puede representarse por un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales de 2do. orden, transitorio y lineal, acompañado de una condición inicial y de varias condiciones de frontera tipo *Dirichlet* (Figura 2.8).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + R = S \frac{\partial h}{\partial t} \text{ em } (0, T] \times \Omega \\ h(x, y, 0) = h_0(x, y) \text{ sobre } \Omega \\ h = h_D \text{ sobre } \Gamma_D \times (0, T] \end{array} \right.$$

Figura 2.8.: Modelo matemático de flujo en acuíferos confinados.
Fuente: Firmiano de Jesus (2015).

Donde $h [m]$ es la carga hidráulica del acuífero con relación al nivel del mar, los términos $K_x \left[\frac{m^2}{h} \right]$, $K_y \left[\frac{m^2}{y} \right]$, $R \left[\frac{m}{h} \right]$ y $S [-]$ son respectivamente, la conductividad hidráulica del acuífero en la dirección x , y , la tasa de recarga del acuífero y el coeficiente de almacenamiento. El dominio Ω es un polígono con fronteras de *Dirichlet* Γ_D y $T [h]$ es el tiempo final de la simulación.

Problema de flujo en acuífero libre

Por otro lado, el modelo matemático para el flujo bidimensional de agua subterránea en una región caracterizada como acuífero superficial libre, anisotrópico y con recarga, puede ser representado por el conjunto de ecuaciones diferenciales parciales de 2do. orden, transitorio y lineal, acompañado de una condición inicial y de varias condiciones de tipo *Dirichlet* que se muestra en la [Figura 2.9](#).

Donde $h [m]$ es la carga hidráulica del acuífero con relación al nivel del mar, los términos $K_x \left[\frac{m^2}{h} \right]$, $K_y \left[\frac{m^2}{y} \right]$, $R \left[\frac{m}{h} \right]$ y $S [.]$ son respectivamente, la conductividad hidráulica del acuífero en la dirección x , y , la tasa de recarga del acuífero y el coeficiente de almacenamiento. El dominio Ω es un polígono con fronteras de *Dirichlet* Γ_D y $T [h]$ es el tiempo final de la simulación.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + R = S \frac{\partial h}{\partial t} \text{ em } (0, T] \times \Omega \\ h(x, y, 0) = h_0(x, y) \text{ sobre } \Omega \\ h = h_D \text{ sobre } \Gamma_D \times (0, T] \end{array} \right.$$

Figura 2.9.: Modelo matemático de flujo en acuífero libre.
Fuente: [Firmiano de Jesus \(2015\)](#).

2.4.6. Participación de los grupos de interés

Para poder lograr un acuerdo entre todos los actores con el fin de impulsar la gestión del agua participativa, eficiente y solidaria, es necesario establecer desde el inicio de la planeación, las bases o estrategias que permitirán involucrar a los interesados y posibles afectados por la implementación del plan de gestión. El establecimiento de foros de discusión, tanto formales como informales, fomentará el desarrollo de conocimiento colectivo e intercambio de experiencias ([UNESCO, 2009](#); [Cap-Net, 2005](#)).

Hay que mantener en cuenta que el establecimiento de mecanismos de consulta no es sinónimo de participación real, ya que ésta última se presenta cuando todos los interesados forman parte del proceso de la toma de decisiones. El llegar a un acuerdo común entre todos los participantes de los diferentes estratos, significa que se tendrán que abandonar ciertas posturas y deseos con el fin de lograr el uso sustentable de los recursos. En ocasiones será imposible llegar al consenso, por lo que se deben considerar mecanismos adecuados para la resolución de posibles conflictos entre los participantes de la toma de decisiones ([GWP, 2000](#)).

Es recomendable que el proceso de consulta y participación, se realice con especial atención durante las etapas de determinación de riesgos e impactos del proyecto y el establecimiento de las necesidades de los grupos más desfavorecidos y/o vulnerables (EPFI, 2013).

2.4.7. Otros usos del agua

El consumo y el uso del recurso hídrico, depende de la ubicación geográfica e hidrológica de cada uno de los usuarios, ya que las características de la cuenca, y por ende las posibilidades de extracción del recurso varían de un lugar a otro dentro de los límites de la cuenca o del acuífero (UNESCO, 2009). La gran mayoría del consumo del agua aporta algún tipo de beneficio o se destina para generar bienes y productos para consumo de la población; pero a la vez se pueden presentar impactos negativos a causa de una gestión del recurso ineficiente o inapropiada, y/o por faltas de regulación y previsión de contaminación, reduciendo de esta manera la disponibilidad y calidad del recurso hídrico, afectando a todos los usuarios sin distinción alguna (Cap-Net, 2005).

Las categorías y los usos que se le otorga al agua, pueden ser diferentes entre países, pero por lo general se observa la clasificación de la [Tabla 2.4](#).

Tabla 2.4.: Clasificación de los usos del agua.

Categoría	Usos	Rubros
Agrícola	Consuntivo	Agrícola, acuicultura, pecuario, usos múltiples, otros usos
Abastecimiento público	Consuntivo	Doméstico, público urbano
Industria autoabastecida	Consuntivo	Agroindustrial, servicios, industrial, comercio
Energía eléctrica (excluyendo hidroelectricidad)	Consuntivo	Industrial
Generación de energía	No consuntivo	Hidroeléctricas

2.4.8. Gestión de riesgos

La gestión de riesgos es una etapa obligatoria, sobre todo para aquellas actividades en donde el suministro de agua es fundamental para el desarrollo de las mismas. El establecimiento de los diferentes tipos de riesgos y medidas preventivas necesarias durante la ejecución de éstas actividades, depende de la importancia del proceso por desarrollar o del grado de los posibles impactos ambientales y sociales.

Debido a que durante el ciclo de vida de las operaciones mineras, existe un gran potencial de ocasionar fuertes impactos al ambiente y a los recursos, se requiere de una evaluación de los posibles riesgos y las medidas necesarias para el control de impactos no deseados. Los tipos de riesgos para algunos tipos de operaciones mineras involucran cuatro áreas principales: (a) riesgos estratégicos; (b) riesgos operacionales; (c) riesgos a terceros; y (d) riesgos al ambiente (UNESCO, 2009). En relación a la última área, Wang et al. (2012) menciona que los riesgos de la contaminación al ambiente depende de la amenaza o riesgo potencial de contaminación por una actividad en particular; el grado de vulnerabilidad del sistema; y las posible consecuencias del evento de contaminación.

En particular, se estima que la mayoría de los recursos provenientes del subsuelo son vulnerables en cierto grado, existiendo algunas zonas más vulnerables que otras. En este punto, los mapas de vulnerabilidad constituyen una herramienta para mejorar la visualización de la variabilidad del movimiento de los contaminantes, de acuerdo a las características hidrogeológicas de la zona de estudio (Piscopo, 2001).

En el presente proyecto de investigación se determina la vulnerabilidad del acuífero empleando el método *DRASTIC*, que requiere de la construcción y combinación de una serie de diferentes mapas para la obtención de un índice de vulnerabilidad intrínseco del agua del subsuelo (Neshat et al., 2014).

Los factores que intervienen en el proceso de la determinación del índice de vulnerabilidad y que le dan nombre a la metodología son:

- D Profundidad al nivel estático.
- R Recarga neta.
- A Medio del acuífero.
- S Medio del suelo.
- T Topografía (porcentaje de la pendiente).
- I Impacto en la zona no-saturada.
- C Conductividad hidráulica del acuífero.

Cada uno de los factores anteriores posee una valoración que varía entre 1 a 10. El *valor* expresa el potencial de contaminación del agua de subsuelo dentro de los límites del acuífero. Así también, existe una *ponderación*, entre los diferentes factores que varía entre 1 a 5, dependiendo del grado de influencia ante el efecto contaminante (Victorine Neh et al., 2015). Finalmente el índice de vulnerabilidad se determina como:

$$DI = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (28)$$

Donde DI es el índice de vulnerabilidad (potencial de contaminación); el subíndice r es el *valor* y el subíndice w es la *ponderación*.

2.4.9. Gestión Ambiental

Es un proceso obligatorio mediante el cual se realizan estudios acerca de los potenciales impactos ambientales que tiene alguna actividad en particular. En el caso de la industria minera, ésta posee un gran potencial de ocasionar fuertes impactos a la salud del ambiente y de las comunidades, por lo tanto se requiere de una evaluación exhaustiva de las posibles implicaciones ambientales y las medidas necesarias de prevención y control. El establecimiento de los diferentes tipos de riesgos de contaminación y medidas preventivas de contaminación del recurso hídrico, es solo una parte de la gestión ambiental.

Los estudios de la gestión ambiental deben abarcar cada una de las diferentes etapas que integran la actividad productiva, de ésta manera se garantiza una amplia cobertura de problemas y posibles soluciones. Los problemas ambientales ocasionados por las operaciones mineras son generalmente por contaminación química o física. La contaminación química se refiere a los productos que causan daños a los suelos, al aire o al agua. Por su parte, la contaminación física se refiere a los procesos que generan la suspensión de partículas en el agua y la atmósfera, degradación de la tierra y erosión del suelo, tiraderos y minas abandonadas, etc. (UNEP, 1994).

Es recomendable que en cada una de las operaciones y actividades productivas, se cuente con un grupo técnico que se responsabilice de la constante monitorización y del cumplimiento de las normas y reglamentos de calidad para evitar cualquier tipo de contaminación ambiental (UNESCO, 2009).

3. MARCO LEGAL Y NORMATIVO

En el comienzo, las leyes ambientales Mexicanas surgieron a través de un proceso reactivo a fin de contrarrestar los efectos negativos de los primeros modelos de desarrollo industrial con el enfoque de control de contaminantes aplicado al final de los procesos de producción (end of pipe). A pesar de haber comenzado de ésta manera, las regulaciones ambientales provocaron la introducción de nuevos conceptos además de la generación de procesos que permitirían la implementación de futuras políticas públicas en los niveles federal y estatal ([Ponce Nava, 2013](#)).

La legislación ambiental en México experimentó un gran adelanto a partir del año de 1988 con la publicación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), incorporando elementos como el ordenamiento ecológico del territorio, evaluaciones del impacto y riesgo ambiental, los instrumentos para la protección de áreas naturales, monitoreo y la recopilación de información, etc.; y la posterior publicación de las leyes ambientales complementarias que abordan aspectos específicos referentes a aguas nacionales, desarrollo forestal sustentable, pesca, vida silvestre, residuos, entre otros; que se suman a los reglamentos y al grupo de normas oficiales mexicanas (NOM) referentes a emisiones, calidad de agua, residuos, impacto ambiental y recursos naturales, etc. ([SE, 2012](#)).

3.1. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)

La LGEEPA es reglamentaria de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico, protección al ambiente en toda la extensión del territorio nacional y demás zonas en donde la nación extiende su soberanía y jurisdicción ([DOF, 2005](#)).

La estructura de la LGEEPA se compone por cuatro conceptos básicos que corresponden a política ambiental, manejo de recursos naturales, protección al ambiente y participación social. De entre estos conceptos destaca la política ambiental, ya que es su primera aparición dentro del sistema jurídico mexicano. La LGEEPA establece que los instrumentos que ofrecen soporte a la política ambiental son la planeación y ordenamiento ecológico del territorio; evaluación del

impacto ambiental; normas técnicas ecológicas; criterios y regulación ecológicos de desarrollo; medidas de protección en áreas naturales, investigación y educación ecológica e información y vigilancia ([Carmonara, 1990](#)).

Es importante mencionar que la LGEEPA cuenta con una colección de cinco diferentes reglamentos que la complementan en materia de ([Rodríguez León, 2014](#)):

- Evaluación del Impacto Ambiental;
- Autorregulación y Auditorías Ambientales;
- Ordenamiento Ecológico;
- Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera;
- Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

De acuerdo a lo anterior, el Artículo 28 de la LGEEPA destinado al procedimiento para la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), establece las condiciones a las cuales se deben sujetar todos los procedimientos o actividades que tengan posibles efectos negativos en el ambiente y que sean causante de desequilibrio ecológico al sobrepasar los límites establecidos en normas o disposiciones oficiales. Así, para la ejecución de cualquiera de las siguientes actividades, será necesaria la previa autorización en materia de impacto ambiental por parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) ([DOF, 2005](#); [Rodríguez León, 2014](#)):

- I. Obras hidráulicas, vías generalizadas de comunicación, oleoductos, gaseoductos, carboductos y poliductos;
- II. Industria del petróleo, petroquímica, siderúrgica, papelera, azucarera, del cemento y eléctrica;
- III. Exploración, explotación y beneficio de minerales y sustancias reservadas a la Federación en términos de las Leyes Minera y Reglamentación del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear;
- IV. Instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos, así como residuos radiactivos;
- V. Aprovechamientos forestales en selvas tropicales y especies de difícil regeneración;
- VI. Derogado.
- VII. Cambios de uso de suelo de áreas forestales, así como en selva y zonas áridas;

- VIII. Parques industriales donde se prevea la realización de actividades altamente riesgosas;
- IX. Desarrollos inmobiliarios que afecten los ecosistemas costeros;
- X. Obras y actividades en humedales, manglares, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como sus litorales o zonas federales;
- XI. Obras y actividades en áreas naturales protegidas de competencia de la Federación;
- XII. Actividades o agropecuarias que puedan poner en peligro la preservación de una o más especies o causar daños a los ecosistemas, y
- XIII. Obras o actividades que correspondan a asuntos de competencia federal, que puedan causar desequilibrios ecológicos graves e irreparables, daños a la salud pública o a los ecosistemas, o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones jurídicas relativas a la preservación del equilibrio ecológico y la protección del ambiente.

Por otra parte, en el capítulo de autorregulación y auditorías ambientales de la LGEEPA, se establece el marco de desarrollo de procesos de certificación voluntaria a través de acciones que cumplan y superen la legislación y normatividad vigente en materia ambiental; y en el Reglamento de la LGEEPA pueden ser encontrados los mecanismos base para la aplicación de procesos y auditorías que estén en concordancia con los altos estándares ambientales (DOF, 2005; SE, 2012).

3.2. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)

Esta ley sienta sus bases en el derecho que toda persona tiene de vivir en un ambiente sano y de propiciar el desarrollo sustentable por medio de la regulación de los residuos peligrosos para evitar la contaminación de sitios y propiciar su remediación (DOF, 2015a). La LGPGIR establece que el gobierno federal tiene la obligación de expedir las normas oficiales mexicanas y demás disposiciones jurídicas en relación al manejo de residuos peligrosos (SE, 2012); además la LGPGIR representa un gran avance en materia del establecimiento de criterios para la clasificación de los residuos, estableciendo que se hará aplicación directa de las normas oficiales mexicanas que especifican la manera correcta para la determinación de las características y límites de concentración de las sustancias que contienen (DOF, 2015a).

Es importante señalar que los residuos de rocas o productos de su descomposición son clasificados por la LGPGIR como residuos de manejo especial y su regulación y tratamiento es responsabilidad

de las Entidades Federativas. Así también la LGPGIR establece que siempre y cuando este tipo de residuos no provenga de trabajos subterráneos, podrán ser empleados para la fabricación de materiales para la construcción o que sean destinados para éste fin (SE, 2012).

Es importante mencionar que en el Capítulo V del Título Quinto de la LGPGIR, se desarrolla el tema de la *Responsabilidad acerca de la contaminación y remediación de sitios*, en donde claramente se establece el principio del que contamina paga o PPP por sus siglas en inglés (Polluter Pays Principle).

El PPP responsabiliza y obliga a reparar; y en su caso a compensar de conformidad con lo que establece la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental, a toda persona física o moral que ocasione algún daño, afectación o tipo de contaminación (de forma directa o indirecta) al ambiente (DOF, 2015a).

El objetivo principal del PPP es que aquellas personas físicas o morales que sean posibles causantes de problemas de contaminación ambiental, orienten sus esfuerzos hacia la búsqueda de alternativas de producción o formas de ejecutar sus actividades normales, de tal forma que disminuyan o eliminen del todo las emisiones de sustancias nocivas al ambiente (Meixuero Nájera, 2007).

3.3. Ley de Aguas Nacionales (LAN)

La regulación sobre la extracción y consumo de agua, así como también sobre las descargas de aguas residuales es un componente común del marco legislativo de cualquier país. Sin embargo, el hecho de que se dispongan de dichas regulaciones no significa que vayan a ser realmente aplicadas a nivel nacional. Se puede decir que la administración legislativa del recurso hídrico es el aspecto principal a la cual se le deben otorgar la atención y el tiempo adecuado, para garantizar la ejecución de la reglamentación y que esta sea respetada por todos los usuarios (FAO, 2003).

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) fue publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el primero de diciembre de 1992 y entró en vigencia un día después. Uno de los objetivos de LAN era realizar el registro de los más de 300 000 usuarios dentro de un periodo de tres años. Naturalmente, el tiempo asignado fue demasiado corto y se presentaron una serie de decretos que extendían la aplicación de la Ley; siendo hasta mediados del 2003 cuando finalmente se habían integrado prácticamente todos los usuarios (un total de 330 000) al Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) y se habían expedido sus respectivos títulos de concesión (FAO, 2003).

La LAN es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales, tanto superficiales como subterráneas y establece las

pautas jurídicas que deberán acatar las personas físicas o morales que deseen realizar la explotación, uso o aprovechamiento del recurso hídrico, así como también establece las disposiciones para la preservación de la cantidad y calidad del agua para alcanzar el desarrollo integral y sustentable (SE, 2012; SEMARNAT, 2009).

La LAN establece a los organismos que se muestran en la [Tabla 3.1](#), como los encargados de la administración del recurso hídrico y de los bienes nacionales (Rodríguez León, 2014).

Tabla 3.1.: Organismos administradores de las aguas.

Fuente: Rodríguez León (2014).

Organismos	Principales funciones
Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	Expedición de Normas Oficiales Mexicanas (NOM); proposición de la política hídrica del país; proposición de leyes, reglamentos, decretos, acuerdos a nivel federal
Comisión Nacional de Agua (CONAGUA)	Gestión, regulación, control y protección del recurso hídrico a nivel nacional y regional Hidrológico Administrativo (RHA); formulación, integración y proposición del Programa Nacional Hídrico (PNH)
Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA)	Formulación de denuncias; aplicación de sanciones; instruir medidas técnicas correctivas y de seguridad; reparación o compensación por daño ambiental

3.4. Programa Nacional Hídrico (PNH) 2014-2018

El nuevo Plan Nacional Hídrico (PNH) se desarrolla a partir de un enfoque multisectorial en donde el objetivo es establecer una seguridad hídrica nacional que se desarrolle en la articulación amplia y productiva entre las entidades federativas con el soporte de la transversalidad institucional y de ésta manera ofrecer una gestión del agua con base a la capacidad de producción o de trabajo por sectores y por cuencas incluyendo el suministro de agua para consumo humano en los asentamientos humanos (DOF, 2015b).

La estrategia multisectorial y los objetivos de las políticas públicas establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2013-2018 son el fundamento para establecer los cinco siguientes lineamientos del sector hídrico:

1. El agua como elemento integrador de los mexicanos.
2. El agua como elemento de justicia social.

3. Sociedad informada y participativa para desarrollar una cultura del agua.
4. El agua como promotor de desarrollo sustentable.
5. México como referente en el tema del agua a nivel internacional.

El PNH considera que el trabajo conjunto de los tres órdenes del gobierno y la sociedad es indispensable para la consecución del fortalecimiento de la gestión integrada del agua, y para incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones. Además de lo anterior se requerirá la coordinación efectiva entre instituciones y entidades del sector agua, involucrando a los usuarios y la sociedad en general, esperando que la ejecución de estas estrategias, ayuden a avanzar hacia el incremento de las capacidades técnicas, científicas y tecnológicas del sector asegurando el suministro y aprovechamiento sustentable del recurso hídrico en la agricultura, generación de energía, en la industria y demás actividades para el desarrollo social y económico del país.

3.5. Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

Son regulaciones técnicas expedidas por las Dependencias de la Administración Pública Federal y publicadas en el Diario Oficial de la Federación (DOF¹). En ellas se establecen especificaciones relativas a métodos y procesos de producción o a un producto en particular. Dentro de las NOM también se pueden establecer terminologías, simbologías, algún marcado o etiquetado y lo referente a su aplicación y cumplimiento.

La SEMARNAT en su calidad de organismo para la prevención y conservación del ambiente y de los recursos naturales, tiene a su cargo la expedición de normas que establecen los diferentes criterios, procedimientos y especificaciones relativas al sector ambiental, clasificándolas según las materias: (a) agua; (b) contaminación por ruido; (c) emisiones de fuentes fijas; (d) emisiones de fuentes móviles; (e) impacto ambiental; (f) lodos y biosólidos; (g) medición de concentraciones; (h) metodologías; (i) protección de flora y fauna; y (j) residuos y suelos.

A continuación se presentan algunas NOM relacionadas con el recurso hídrico nacional y los bienes nacionales que se establecen en la LAN, describiendo una síntesis de las actividades o lineamientos de carácter obligatorio para la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y gestión del agua (Rodríguez León, 2014).

Tabla 3.2.: NOM en materia de protección de las aguas y bienes nacionales.

NOM	Título	Síntesis
-----	--------	----------

Continúa en la siguiente página.

¹<http://www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas/normas-oficiales-mexicanas>

Tabla.3.2. continua de la página anterior.

NOM-060-SEMARNAT-1994	Que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal	De carácter obligatorio para la realización de actividades de aprovechamientos forestales, establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos generados en suelos y cuerpos de agua a consecuencia del aprovechamiento forestal. La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (actualmente SAGARPA) y la de Desarrollo Social (SEDESOL), a través de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, serán las instancias encargadas de vigilar el cumplimiento de esta Norma.
NOM-001-SEMARNAT-1996	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales	Obligatoria para los responsables de las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales con el fin de proteger su calidad y posibilitar sus usos. Establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) de contaminantes que podrán contener las aguas residuales descargadas, así las especificaciones del monitoreo y reporte de los parámetros establecidos. Se señalan los valores de concentración máximos de contaminantes básicos (Temperatura, Grasas y Aceites, Materia Flotante, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅ , Nitrógeno Total y Fósforo Total), metales pesados y cianuros (Arsénico, Cadmio, Cianuros, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc) el rango permisible de pH, los LMP de coliformes fecales (indicador para determinar la contaminación por patógenos) y huevos de helminto (indicador para determinar la contaminación por parásitos), así como los métodos para determinarlos y lo aplicable en caso de rebasar dichos valores. La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (actualmente SEMARNAT), a través de la Comisión Nacional Agua y la Secretaría de Marina, deberá vigilar el cumplimiento de esta Norma.

Continúa en la siguiente página.

Tabla.3.2. continua de la página anterior.

NOM-002-SEMARNAT-1996	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal	Se decreta con el objetivo de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales y proteger la infraestructura de los sistemas de alcantarillado urbano y municipal. Es obligatoria para los responsables de las descargas de aguas residuales a dichos sistemas, no aplicando para la descarga de aguas residuales domésticas, pluviales y las generadas por la industria que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado. Se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes que dichas descargas pueden presentar, así como las metodologías para determinarlos, la periodicidad para su monitoreo y reporte de los análisis, además de lo procedente en caso de rebasarse dichos límites. Los Gobiernos Estatales, Municipales y del Distrito Federal, dentro de su competencia, deberán vigilar el cumplimiento de esta norma.
NOM-003-SEMARNAT-1997	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público	Con el objetivo de proteger el medio ambiente y la salud de la población, esta norma establece los valores máximos permitidos de contaminantes en aguas residuales tratadas, la periodicidad del monitoreo y las técnicas de realización del muestreo y métodos de prueba. Es obligatoria para las entidades públicas responsables del tratamiento y reuso de las aguas residuales o para quien realice el servicio público. Será la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (actualmente SEMARNAT) por conducto de la Comisión Nacional Agua y la Secretaría de Salud, quién deberá vigilar el cumplimiento de esta Norma.

Continúa en la siguiente página.

Tabla.3.2. continua de la página anterior.

NOM-143-SEMARNAT-2003	Que establece las especificaciones ambientales para el manejo de agua congénita asociada a hidrocarburos	En esta norma se fijan las especificaciones en materia ambiental para el manejo e inyección del agua congénita en formaciones receptoras, así como los parámetros y límites máximos permisibles establecidos para su descarga en cuerpos receptores (Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP's) y Sólidos Disueltos Totales (SDT) para descarga en agua dulce y aguas costeras). Se establecen también los métodos de caracterización para determinar la concentración de dichos parámetros en el agua congénita y las características que deben cumplir los pozos para la inyección de la misma. De cumplimiento obligatorio para el organismo que maneje agua congénita en todo el territorio nacional y zonas marinas mexicanas. Le corresponde a la SEMARNAT, a través de la CONAGUA en coordinación con la Secretaría de Marina, vigilar el cumplimiento de esta norma, así como la aplicación de sanciones según corresponda.
NOM-003-CONAGUA-1996	Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos	Se establecen las especificaciones de construcción mínimas a cumplirse durante la perforación de pozos y trabajos adicionales para extracción aguas nacionales, con lo cual se busca evitar o minimizar el riesgo de contaminación de los acuíferos, siendo el concesionario o asignatario que realice la construcción del pozo el responsable de aplicar y cumplir con las mismas. Esta Norma es de carácter obligatorio en la construcción de pozos cuya clasificación se basa en el uso al que sean destinadas las aguas nacionales extraídas: agrícola, agroindustrial, doméstico, acuicultura, servicios, industrial, pecuario, público urbano y múltiples. La CONAGUA deberá vigilar la ejecución correcta de la norma, así como promover acciones coordinadas con gobiernos estatales y municipales.

Continua en la siguiente página.

Tabla.3.2. continua de la página anterior.

NOM-004-CONAGUA-1996	<p>Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general</p>	<p>De observación obligatoria por parte de los concesionarios y asignatarios de los pozos que penetren total o parcialmente en un acuífero y se encuentren incluidos en la clasificación establecida: pozos para usos diferentes a la extracción de agua (de exploración, explotación u operación en minería, petroleros, de ingeniería civil, de infiltración o inyección, y de investigación) y pozos y perforaciones para extracción de agua (público urbano, agrícola, agroindustrial, doméstico, de acuacultura, servicios, industrial, generación de energía eléctrica, pecuario y silvicultura), así como aquellos que hayan sido perforados para otros usos y se encuentren abandonados, con el objetivo de proteger la calidad del agua de los acuíferos durante los trabajos de mantenimiento, rehabilitación y cierre (temporal o definitivo) de los pozos para extracción de agua. La instancia que vigilará y promoverá la coordinación de acciones con los gobiernos estatales y municipales con el fin de dar cumplimiento a esta norma será la CONAGUA.</p>
----------------------	---	---

Continúa en la siguiente página.

Tabla.3.2. continua de la página anterior.

NOM-011-CONAGUA-2000	<p>Conservación del recurso agua - Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales</p>	<p>Se establecen las especificaciones y metodologías mediante las cual se determinará la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales y subterráneas a nivel nacional, constituyendo una base técnica para regular su explotación, uso o aprovechamiento. Su cumplimiento es obligatorio para la Comisión Nacional del Agua y los usuarios que realicen estudios que tengan como objetivo determinar la disponibilidad media anual de aguas nacionales en cuencas hidrológicas y en unidades hidrogeológicas. El método que se establece es considerado como el requerimiento técnico mínimo obligatorio (no único) a emplearse. Incluye dos Apéndices Normativos y dos Informativos. En los primeros se especifican los Métodos para determinar el volumen medio anual de escurrimiento natural y la recarga total de la unidad hidrogeológica, mientras que los segundos contienen ejemplos para determinar, a través de los métodos directo o indirecto, el volumen medio anual de escurrimiento natural. Para la aplicación de esta norma, la CONAGUA será la responsable de coordinar la participación de los gobiernos estatales y municipales, así como de las entidades e instituciones involucradas. Es la SEMARNAT quien deberá vigilar su cumplimiento y sancionar según proceda..</p>
----------------------	---	---

Continúa en la siguiente página.

Tabla.3.2. continua de la página anterior.

<p>NOM-014-CONAGUA-2003.</p>	<p>Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada</p>	<p>Establece los requisitos que deben cumplir tanto la calidad del agua, como la operación y el monitoreo que se empleen en los sistemas de recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada y es obligatoria para permisionarios encargados de obras planeadas de recarga artificial (nuevas y existentes), en las cuales se descarguen aguas residuales tratadas con el fin de recargar artificialmente los acuíferos. Señala los tipos de recarga artificial, la información y estudios básicos requeridos para evaluar un sitio destinado a la recarga artificial de acuíferos (localización, fuente y calidad del agua de recarga, hidrogeología de la zona del proyecto de recarga, tipo de permiso requerido, relativos a la distancia mínima a las captaciones y al tiempo de residencia en el subsuelo del agua de recarga, monitoreo, entre otros). La verificación del cumplimiento de esta norma la realizará directamente la CONAGUA o por medio de Unidades de Verificación acreditadas. La participación de los gobiernos estatales y municipales, de entidades e instituciones o de personas físicas y morales involucradas en la aplicación de la presente norma será realizada por la CONAGUA, mientras que la vigilancia de su cumplimiento corresponde a la SEMARNAT por conducto de CONAGUA.</p>
------------------------------	---	--

Continúa en la siguiente página.

Tabla.3.2. continua de la página anterior.

NOM-015-CONAGUA-2007	Infiltración artificial de agua a los acuíferos. Características y especificaciones de las obras y del agua	Obligatoria a nivel nacional para quienes ejecuten obras o actividades de infiltración mediante disposición de aguas pluviales y escurrimientos superficiales al suelo y subsuelo en obras o conjunto de obras que tengan una capacidad mayor a 60 litros por segundo. Se señalan los Límites Máximos y los métodos de prueba para Grasas y Aceites, Materia Flotante, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendedos Totales, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Coliformes Fecales. También se establece el monitoreo, operación, mantenimiento y abandono del sitio. Es la SEMARNAT a través de la CONAGUA, quién verificará el cumplimiento de lo establecido en esta NOM, lo cual la Comisión puede realizar de manera directa a través de su personal o bien, mediante Unidades de Verificación y Laboratorios de prueba, ambos acreditados y aprobados.
----------------------	---	---

3.6. Legislación Minera

Las leyes y normativas que rigen a las operaciones mineras en México se componen por diferentes documentos; es decir, no se cuenta con una sola publicación oficial que integre de manera completa y sistemática todos los aspectos necesarios para la legislación del sector minero (SE, 2012). En la **Tabla 3.3** se presentan los actuales documentos que integran el marco legislativo que rigen a cada una de las etapas que integran las actividades mineras.

Tabla 3.3.: Documentos de la legislación minera actual.

Documento	Fecha de publicación
Ley Minera	26 de junio de 1992
Reglamento de la Ley Minera	15 de febrero de 1999
Manual de Servicios al Público en Materia Minera	28 de julio de 1999
Ley de Inversión Extranjera	27 de septiembre de 1993
Reglamento de la Ley de Inversión Extranjera y del Registro Nacional de Inversiones Extranjeras	08 de septiembre de 1998
Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	28 de enero de 1988
Normas Oficiales Mexicanas (NOMs)	con diferentes fechas de publicación

3.6.1. Principios de la Ley Minera

El sector minero, básicamente se regula bajo los principios que se estipulan en los siguientes párrafos del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos² (SE, 2012):

Párrafo Cuarto: *“Corresponde a la Nación el dominio directo... de todos los minerales o substancias que en vetas, mantos, masas o yacimientos, constituyan depósitos cuya naturaleza sea distinta de los componentes de los terrenos, tales como los minerales de los que se extraigan metales y metaloides utilizados en la industria; los yacimientos de piedras preciosas, de sal de gema y las salinas formadas directamente por las aguas marinas; los productos derivados de la descomposición de las rocas, cuando su explotación necesite trabajos subterráneos; los yacimientos minerales u orgánicos de materias susceptibles de ser utilizadas como fertilizantes; los combustibles minerales sólidos; el petróleo y todos los carburos de hidrógeno sólidos, líquidos o gaseosos; ...”*

Párrafo Sexto: *“... el dominio de la Nación es inalienable e imprescriptible y la explotación, el uso o el aprovechamiento de los recursos de que se trata, por los particulares o por sociedades constituidas conforme a las leyes mexicanas, no podrá realizarse sino mediante concesiones, otorgadas por el Ejecutivo Federal, de acuerdo con las reglas y condiciones que establezcan las leyes... Las normas legales relativas a obras o trabajos de explotación de los minerales y substancias a que se refiere el párrafo cuarto, regularán la ejecución y comprobación de los que se efectúen o deban efectuarse a partir de su vigencia, independientemente de la*

²<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/htm/1.htm>

fecha de otorgamiento de las concesiones, y su inobservancia dará lugar a la cancelación de éstas... Tratándose de minerales radiactivos no se otorgarán concesiones. ...”

3.6.2. Iniciativas de reforma a la Ley Minera

Después de la publicación de la Ley Minera, se han presentado diferentes propuestas de reforma durante los periodos de mandato de los organismos legislativos. Entre el periodo de las legislaturas LVII y LXI, se establecieron alrededor de 50 iniciativas de cambio del marco normativo mexicano en referencia al tema de la minería. Entre 1998 y 2011 al menos 14 normas legales han sido objeto de propuestas para reforma; en la legislatura LXI y en las dos anteriores a esta, se presentaron 12 iniciativas adicionales en favor de la ecología, del desarrollo sustentable, de la ciencia y tecnología mineras, además de una iniciativa para el cuidado y consideración de los pueblos indígenas. Como ejemplo de ésta última iniciativa de reforma a las Leyes Mineras, destaca el esfuerzo de algunos partidos políticos que buscan la consideración de los derechos de comunidades indígenas y su participación directa en la toma de decisiones acerca de la autorización de operaciones de extracción de minerales en áreas cercanas a los asentamientos y localidades indígenas ([González Rodríguez, 2011](#)).

La más reciente iniciativa de reforma para la Ley Minera, se presentó en el 2012 con el argumento de que dicha ley es inconstitucional al contradecir lo estipulado acerca de la obligación que toda autoridad tiene de respetar, proteger y garantizar los derechos humanos (artículo primero de la Constitución Política); y el derecho que toda persona tiene a desarrollarse en un medio natural sano, responsabilizando a quien provoque daño o deterioro del ambiente en términos de lo que dispone la ley (artículo cuarto de la Constitución Política).

Sin embargo, a pesar de la presión social y las diferentes iniciativas para el cambio de la legislatura en relación al sector minero, la mayoría de éstas son rechazadas en gran medida por la influencia y postura del sector privado en contra de ciertas modificaciones al marco legislativo que afectan directamente los intereses de los empresarios y la industria en general ([González Rodríguez, 2011](#)).

Éste es el caso en el que se encuentra la opinión de la Cámara Minera de México (CAMIMEX), que es de alta consideración por parte de los legisladores durante las diferentes valoraciones y análisis de las iniciativas de reforma. En el Informe Anual 2011 ([CAMIMEX, 2011](#)), se menciona que el punto de vista de CAMIMEX en relación a las iniciativas de cambio ([Tabla 3.4](#)), es que tales iniciativas afectan de forma adversa a la minería, y van en contra de la competitividad del sector.

Tabla 3.4.: Iniciativas de reforma que en opinión de CAMIMEX afectan a la competitividad del sector. Fuente: CAMIMEX (2011). p.47.

Revisión de Iniciativas	Objeto
Ley de Cambio Climático	Ordena a varias dependencias gubernamentales para la instrumentación de políticas públicas contra el cambio climático, promueve un mercado de carbono y pretende disminuir 30 % las emisiones de CO ₂
Ley de Acciones Colectivas	Regula las acciones colectivas y los intereses difusos a través de un procedimiento vago y regulado por el Código Federal de Procedimientos Civiles
Ley de Responsabilidad Ambiental	Establece un régimen de reparación de daños al ambiente, así como por daños y afectaciones a la salud
Ley Federal de Responsabilidad Ambiental	Incrementa los impuestos a los accionistas por la compra.venta de acciones y modifica derechos mineros
Ley que adiciona diversas disposiciones de la Ley Minera	Establece que los trabajadores mineros deben tener un salario bien remunerado que se incremente de acuerdo a la peligrosidad de su labor e implementa un impuesto sobre la producción de 5 % a las concesionarias

De manera similar, en el Informe Anual 2014 (CAMIMEX, 2014) se expresa que durante el año 2013 se presentaron ante la Cámara de Senadores, cuatro iniciativas de reforma para la Ley Minera, mismas que fueron analizadas por la Comisión de Legislación y asesores de CAMIMEX. Al término del proceso se llegó a la conclusión de que las disposiciones actuales de la Ley Minera han permitido el crecimiento del sector minero y que los cambios pretendidos en las diferentes propuestas, corresponden a otro tipo de regulaciones y no a omisiones o huecos de la Ley Minera.

La Ley Minera y su Reglamento, contienen todo lo relativo acerca del procedimiento para el trámite de concesiones y las obligaciones que deberá acatar toda aquella persona, física o moral, que esté interesada en realizar una inversión en el sector minero. Una vez se haya obtenido el trámite de la concesión minera por conducto de la Dirección General de Minas de la Secretaría de Economía, el interesado estará sujeto a cumplir con todas las disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) que sean aplicables en cada caso (SE, 2012).

3.6.3. Regulaciones sobre el uso de aguas nacionales en la minería

En los Artículos 42, 43 y 82 de la LAN, se especifica que para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales superficiales o subterráneas en zonas reglamentadas o de veda decretada, es necesario obtener: (a) una concesión de aprovechamiento; (b) un programa de gestión integral por cuenca o acuífero; y (c) permisos para la realización de cualquier obra que

altere o modifique las condiciones de dicho aprovechamiento. Las personas físicas o morales, podrán explotar o aprovechar las aguas nacionales para el desarrollo de actividades productivas e industriales (operaciones mineras); previa la obtención de la concesión y/o asignación para el aprovechamiento de aguas nacionales. El interesado en el uso de aguas nacionales, se ajustará a los requisitos y trámites determinados por CONAGUA³, para la obtención del permiso para aprovechamiento del recurso.

Por otra parte, en el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales (RLAN) en el Artículo 124 se menciona que todas aquellas personas que realicen el aprovechamiento de aguas nacionales en actividades productivas o industriales (de acuerdo a lo mencionado en el párrafo anterior), que sean diferentes a las aguas procedentes de laboreo de las minas, están obligados a cumplir con la obtención de un permiso de descarga de las aguas residuales en cuerpos receptores considerados como bienes de la nación, así como al cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana para presas de jales (NOM-141-SEMARNAT-2003), y además deben poner a disposición de la CONAGUA toda aquella agua que resulte sobrante después del aprovechamiento.

3.6.3.1. Normas Oficiales Mexicanas aplicables a la minería

Desde los tempranos inicios de las actividades mineras en México, quedó claro que éstas iban a formar parte esencial para el desarrollo económico del país. El alto riesgo ambiental inherente a las operaciones mineras ha generado que la evolución de la industria se encamine a la ejecución de acciones y planes que integren estudios de factibilidad de los proyectos en materia ambiental abarcando todas las etapas de la minería (prospección, exploración, explotación, cierre y abandono). En éste contexto, la SEMARNAT establece una serie de especificaciones que conforman un gran avance de la normatividad ambiental en el sector minero. Adicionalmente, la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) ha expedido normas oficiales mexicanas acerca de las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores en operaciones minas (SE, 2012).

En la [Tabla 3.5](#) se presentan algunas de las NOM expedidas por la SEMARNAT y la STPS, relacionadas con las actividades mineras.

Tabla 3.5.: NOM en materia de minería, protección al ambiente y el seguro a los trabajadores.

NOM	Título	Objetivo
-----	--------	----------

Continúa en la siguiente página.

³<http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=5&n2=101&n3=302&n4=302>

Tabla. 3.5. continua de la página anterior.

NOM-023-STPS-2003	Trabajos en minas - Condiciones de seguridad y salud en el trabajo.	Establecer los requisitos mínimos de seguridad y salud en el trabajo para prevenir riesgos a los trabajadores que desarrollan actividades en las minas y daños a las instalaciones del centro de trabajo.
NOM-023-STPS-2012	Minas subterráneas y minas a cielo abierto - Condiciones de seguridad y salud en el trabajo.	Establecer los requisitos mínimos de seguridad y salud en el trabajo para prevenir riesgos a los trabajadores que desarrollan actividades en las minas subterráneas y a cielo abierto.
NOM-032-STPS-2008	Seguridad para minas subterráneas de carbón.	”Establecer condiciones y requisitos de seguridad en las instalaciones y funcionamiento de las minas
NOM-052-SEMARNAT-2005	Que establece las características, el procedimiento de identificación y los listados de los residuos peligrosos.	subterráneas de carbón para prevenir riesgos a los trabajadores que laboren en ellas.”
NOM-053-SEMARNAT-1993	Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.	Establece los procedimientos para identificar si un residuo es peligroso, el cual incluye los listados de los residuos peligrosos y las características que hacen que se consideren como tales.
NOM-120-SEMARNAT-2011	Que establece las especificaciones de protección ambiental para las actividades de exploración minera directa, en zonas agrícolas, ganaderas o eriales y en zonas con climas secos y templados en donde se desarrolle vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosques de coníferas o encinos.	Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

Continúa en la siguiente página.

Tabla. 3.5. continua de la página anterior.

NOM-141-SEMARNAT-2003	Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales.	Establece las especificaciones de protección ambiental para realizar actividades de exploración minera directa, exceptuando la exploración por minerales radiactivos y las que pretendan ubicarse en áreas naturales protegidas y en sitios bajo alguna categoría de conservación, derivados de instrumentos internacionales de los cuales México forme parte.
NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004	Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.	Establece las especificaciones para la caracterización del jal y la caracterización del sitio, así como los criterios para la mitigación de los impactos ambientales por la remoción de la vegetación para el cambio de uso del suelo. Asimismo, señala especificaciones y criterios ambientales para las etapas de preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales, y para el monitoreo.
NOM-155-SEMARNAT-2007	Que establece los requisitos de protección ambiental para los sistemas de lixiviación de minerales de oro y plata.	Establece criterios para la caracterización y determinación de concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio, vanadio y sus compuestos inorgánicos; así como los criterios de remediación.

Continua en la siguiente página.

Tabla. 3.5. continua de la página anterior.

NOM-157-SEMARNAT-2009	Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros.	Establece los elementos y procedimientos que se deben considerar al formular y aplicar los planes de manejo de residuos mineros, con el propósito de promover la prevención de la generación y la valorización de los residuos, así como alentar su manejo integral a través de nuevos procesos, métodos y tecnologías que sean económica, técnica y ambientalmente factibles.
-----------------------	--	--

4. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada en el presente proyecto de investigación consta de tres etapas principales (Figura 4.1): (a) recopilación e integración de la base de datos; (b) procesamiento de la información con apoyo de software especializado; (c) estimaciones y construcción de modelos (hidrológico y de simulación de flujo de aguas subterráneas).

La serie de trabajos que se describen a continuación, se realizaron en específico para la región de estudio localizada en la porción central del estado de Chihuahua; en donde además de realizarse actividades de agricultura, y de ganadería caprina, también se llevan a cabo actividades de explotación de minerales de zinc y plomo (principalmente) en operaciones de tipo subterránea.

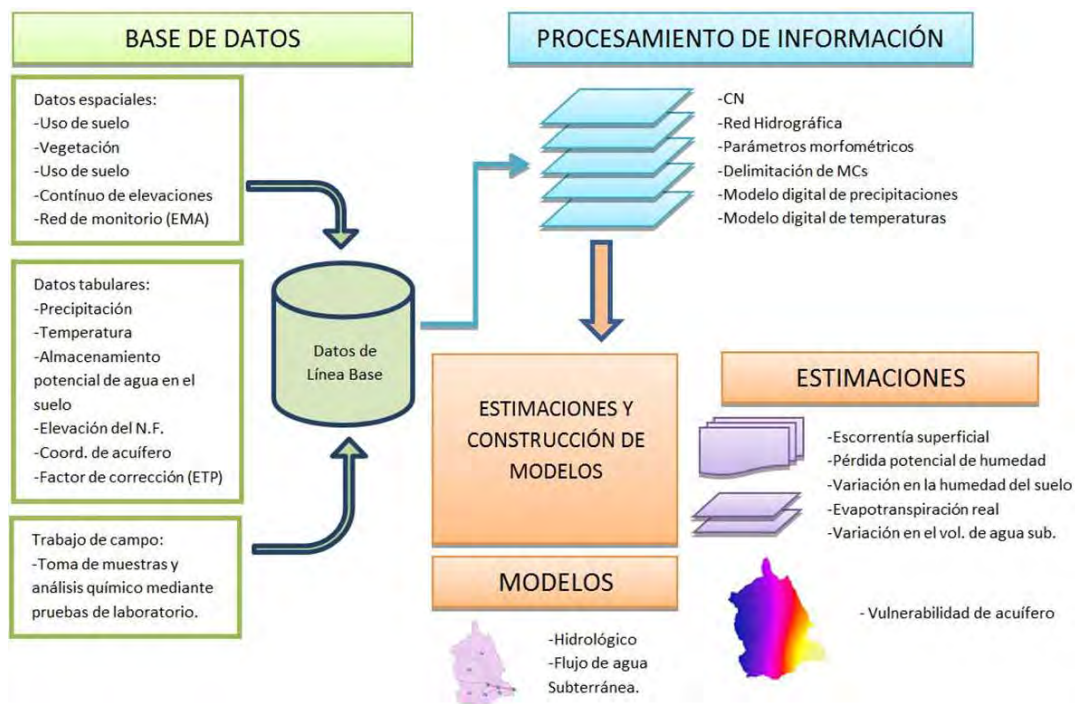


Figura 4.1.: Diagrama de la metodología.

4.1. Recopilación e integración de la base de datos

La información necesaria para el proyecto de investigación se obtuvo tanto por trabajo de campo como por trabajo de gabinete. Durante el trabajo de campo se realizó la recolección y el análisis químico de un número determinado de muestras de agua provenientes de diferentes fuentes (canales, bordos, presas, pozos, descargas naturales, de interior de mina) tomadas durante los meses de enero 2013, febrero 2014, julio 2014 y agosto 2014. Por otro lado, el proceso de recopilación de información necesaria para determinar los parámetros y la construcción de los modelos (hidrológico y de simulación de flujo de aguas subterráneas), se realizó mediante trabajo de gabinete a través del acceso y descarga pública desde los diferentes sitios oficiales de las instituciones de gobierno. La [Tabla 4.1](#) muestra un resumen de la información que fue recopilada durante el trabajo de gabinete y las respectivas fuentes oficiales.

Tabla 4.1.: Resumen de información recopilada en trabajo de gabinete.

Producto	Descripción de la información	Institución
Registro de series históricas (normales climatológicas)	Datos de precipitación (mm), temperatura (°C), y evaporación (mm día ⁻¹)	Servicio Meteorológico Nacional (SMN)
Topografía	Continuo de Elevaciones Mexicano - mapa digital de elevaciones del territorio mexicano con resolución de 15 metros.	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)
Vegetación y uso de suelo	División de las áreas agrícolas y vegetación a escala 1:250 000, generada para el periodo 2011 - 2012, actualizada con imágenes satelitales (LANDSAT)	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)
Marco geoestadístico nacional	División del territorio mexicano en zonas conocidas como áreas geoestadísticas vinculadas con información estadística (censos de población)	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)
Edafología	Mapas del tipo de suelo a escala 1:250 000	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)
Red hidrográfica	Información acerca del drenaje superficial a escala 1:50 000, generada por INEGI	Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL)
Estudio de disponibilidad de agua por acuífero	Publicación con estudios y consideraciones de la NOM-011-CONAGUA-2000 que ofrece sustento legal para la asignación de nuevos volúmenes de extracción para abastecimiento	Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)
Registro del derecho y consumo de agua	Volúmenes de agua vigentes concesionados	Registro Público de los Derechos del Agua (REPGA)
Geología	Carta geológico-minera escala 1:50 000 con información general de la estratigrafía y estructura geológica	Servicio Geológico Mexicano (SGM)

4.1.1. Trabajo de campo

4.1.1.1. Toma de muestras de agua

La toma de muestras fue acompañada por el llenado de fichas de campo con información referente a las condiciones físicas, ubicación y observación de cada punto de muestreo (Figura B.1). Durante el muestreo, se consideraron medidas de precaución para la preservación y conservación de las muestras, evitando de ésta manera algún tipo de alteración química que pudiera ocurrir previo al análisis químico. El procedimiento de muestreo se efectuó de acuerdo a los siguientes puntos (Ruiz Rivera, 2015):

Filtrado: las muestras se hicieron pasar por un filtro de membrana de 0,45 micras con la ayuda de jeringas y cartuchos para la manipulación de las muestras. Esto es con el fin de remover algunos sólidos o coloides en suspensión que pudieran estar presentes en las muestras.

Preservación: por medio de la acidificación, ya que evita el crecimiento de la mayoría de las bacterias, así como también se evita la adsorción, precipitación de metales y metaloides. Si la muestra está destinada para el análisis de metales se debe añadir ácido nítrico, y para el análisis de nitratos se debe añadir ácido sulfúrico.

Conservación: es necesario mantener la muestra bajo almacenamiento y refrigeración (4°C). Para ello se requirieron recipientes de aislamiento térmico y cubos de hielo para el enfriamiento de las muestras.

Eliminación de burbujas: se efectuó durante el llenado de los recipientes. Este punto es importante para evitar disolución de CO₂ atmosférico, que causaría la modificación del pH, causando diferentes tipos de reacción que afectarían el sistema de carbonatos.

La Tabla 4.2 indica el volumen de muestra y la preservación de acuerdo al tipo de análisis químico por realizar.

Tabla 4.2.: Volumen y preservación de muestras.

Parámetro	Preservador	Contenedor
Cationes, metales y metaloides traza	HNO ₃ concentrado (0,7 ml/100 ml), refrigeración a 4°C	polietileno (100 ml)
Alcalinidad total, sulfato, cloruro, fluoruro	refrigeración a 4°C	polietileno (500 ml)
Nitrato	H ₂ SO ₄ concentrado (0,7 ml/ 100 ml), refrigeración a 4°C	polietileno (100 ml)

Además de las pruebas de laboratorio, también se realizaron mediciones *in situ*, ya que el equilibrio químico de los carbonatos y minerales depende de las condiciones originales y varía en función del tiempo. Los parámetros medidos en campo son: pH, temperatura, conductividad eléctrica, potencial redox, oxígeno disuelto y alcalinidad. El equipo empleado para la medición en campo depende del tipo de parámetros por revisar (Tabla 4.3).

Tabla 4.3.: Equipo digital empleado para medición de los parámetros en campo.

Modelo del equipo digital (marca <i>Conductronic</i>)	Parámetros medidos
pC18	temperatura, pH
pH15	potencial redox
Ox25	oxígeno disuelto



Figura 4.2.: Mediciones en campo.

Para la estimación del parámetro de alcalinidad se emplea la Titulación de Gran, que consiste en la adición de ácido clorhídrico (HCl) en cantidad necesaria para que el pH alcance el punto de equivalencia (4.3 pH).

$$\text{Alcalinidad} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} C_a CO_3 \right) = \frac{(\text{Punto de equivalencia}) (N_{HCl}) (50) (1000)}{\text{Volumen de la muestra (ml)}} \quad (29)$$

donde N_{HCl} corresponde a la normalidad del ácido clorhídrico.

4.1.1.2. Análisis de composición química del agua de subsuelo

El análisis de la composición química de las muestras se realizó en el laboratorio de análisis químicos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), de acuerdo a las técnicas establecidas por las normas mexicanas (Tabla 4.4) y a lo especificado por la norma NOM-127-SSA1-1994. Posteriormente, los resultados de laboratorio fueron verificados con base al balance de las cargas totales presentes en las muestras. Cuando el valor calculado del porcentaje de error del balance de electroneutralidad (Ecuación 30) es menor a $\pm 10\%$, se concluye que los resultados son aceptables, en caso contrario dichos resultados son rechazados (Freeze and Cherry, 1979).

$$\%error BC = \frac{\sum zm_c - \sum zm_a}{\sum zm_c + \sum zm_a} (100) \quad (30)$$

donde z es el valor absoluto de la valencia iónica, m_c es la molaridad de la especie catiónica; m_a es la molaridad de la especie aniónica.

Tabla 4.4.: Normas y técnicas y para el análisis de los parámetros químicos (Ruiz Rivera, 2015).

Norma	Técnica	Parámetro
NMX - AA - 008 - SCFI - 2011	Potenciométrica	pH
NMX-AA-034-SCFI-2001	Gravimétrica	Sólidos Totales Disueltos
NMX - AA - 036 - SCFI - 2001	Volumétrica/Naranja de metilo/Fenolftaleína	Alcalinidad total
NMX - AA - 072 - SCFI - 2001	Volumétrica/EDTA	Dureza total, de calcio y magnesio
NMX - AA - 073 - SCFI - 2001	Volumétrica/Argentométrico	Cloruros
NMX - AA - 074 - SCFI - 1981	Turbidimétrica/Cloruro de Bario	Sulfatos
NMX-AA-079-SCFI-2001	Turbidimétrica/Reducción de cadmio	Nitrógeno de Nitratos
NMX - AA - 077 - SCFI - 2001	Espectrofotométrica/SPADNS	Fluoruros
NMX - 051 - SCFI - 2001	Espectroscópica/Absorción Atómica	Sodio, potasio
NMX - 051 - SCFI - 2001	Espectroscópica/Absorción Atómica ICP-OES/ICP-MS	Aluminio, arsénico, bario, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, plomo, zinc
NMX - AA - 42 - 1987	Microbiológica/Número más probable (NMP)	Organismos coliformes totales y Organismos coliformes fecales

Una vez hecha la verificación de los resultados, se establecieron las relaciones que estos guardan entre sí mediante la aplicación de la técnica estadística multivariable conocida bajo el acrónimo *HCA* por las siglas en inglés (*Hierarchical Cluster Analysis*) y posteriormente se corroboró la información con base a la representación gráfica de la concentración de los aniones y cationes en cada muestra (*Diagrama de Stiff*) (Güler et al., 2002). El diagrama de Stiff es una figura que expresa el valor de las concentraciones en unidades de miliequivalentes por litro (meq/l) que facilita la interpretación del tipo de agua o la *familia* a la cual pertenece el agua que fue muestreada y analizada.

Como complemento en la determinación del flujo de agua subterránea, se analizó de manera gráfica la relación existente entre las concentraciones de litio (Li^+) y la temperatura del agua muestreada, bajo el entendido de que el agua que contiene altas concentraciones de Li^+ puede asociarse a sistemas de flujo que han recorrido distancias (verticales y horizontales) considerables (Price, 2003).

4.1.2. Trabajo de gabinete (recopilación de información)

4.1.2.1. Variables meteorológicas¹

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en conjunto con la Comisión Nacional del Agua (CO-NAGUA), realizan la administración de los datos históricos registrados por una red integrada

¹http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=23&Itemid=120

por 5 460 Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) instaladas en todo el territorio de la República Mexicana. Los datos de temperatura ($^{\circ}\text{C}$); precipitación (mm); y evaporación (mm día^{-1}) que se encuentran disponibles a través de éste servicio, poseen diferentes presentaciones (climatología diaria, estadística, valores mensuales y normales para diferentes periodos) en formatos de archivos de texto (*txt*).

4.1.2.2. Topografía²

El Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) se emplea para determinar diferencias entre elevaciones, clasificación de pendientes, exposición de laderas, etc., calculados con la ayuda de herramientas de análisis espacial. El CEM se encuentra en formato *raster* con una resolución de 15 metros, lo cual significa que cada pixel que integra la imagen posee un área de 225 m^2 (15 metros por lado).

4.1.2.3. Vegetación y Uso de Suelo³

La información correspondiente a las áreas agrícolas y a la vegetación, pertenece al Conjunto de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación Escala 1:250 000, Serie V (Capa Unión) generada para el periodo 2011 – 2012, derivada con base en la Serie IV de Uso del Suelo y Vegetación, y actualizada con imágenes satelitales (LANDSAT) tomadas en el 2011 (INEGI, 2012). La información está integrada por 13 capas reunidas en formato *Shape* con proyección Cónica Conforme de Lambert (CCL), Datum ITRF92, y Geoide de referencia GRS80.

4.1.2.4. Marco geoestadístico nacional⁴

Es un sistema auxiliar diseñado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) con el objetivo de dividir el territorio nacional en zonas conocidas como áreas geoestadísticas, en donde cada una de ellas es vinculada con información estadística proveniente de censos de población y referenciada geográficamente. La disgregación del territorio da lugar a niveles de categorización: estatal, municipal y básica. El formato de descarga es *shapefile* con proyección CCL y sistema geográfico de coordenadas ITRF-1992.

²<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx>

³<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usuarios/Default.aspx>

⁴<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/default.aspx>

4.1.2.5. Edafología⁵

Los mapas del tipo de suelo fueron creados a través del proyecto de enriquecimiento (P147) con base a la información del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) digitalizada por INEGI y apoyado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Para generar ésta información se combinaron 36 capas (17 a escala 1:250 000 y 15 a escala 1:1 000 000) en un solo archivo *shapefile* con Datum WGS84.

4.1.2.6. Red hidrográfica⁶

El Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL) es un aplicación que permite el análisis de la información del drenaje superficial generada por INEGI. La red hidrográfica del territorio mexicano descrita a través de los aspectos técnicos de cada uno de sus elementos, representada en forma vectorial e integrada por áreas físicas naturales básicas (subcuencas), facilita el conocimiento y mejora la comprensión del funcionamiento de la red de drenaje para su aplicación en simulaciones para la toma de decisiones que otorguen beneficios a la población en general (INEGI, 2010b).

La información de la Red Hidrográfica a escala 1:50 000 se encuentra disponible en archivo *Shape* con datos almacenados en coordenadas geográficas con Datum ITRF92.

4.1.2.7. Disponibilidad de agua en acuíferos⁷

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) establece que la CONAGUA debe publicar la determinación de la disponibilidad de agua por acuífero, en conformidad con los estudios y consideraciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000. La publicación del estudio de disponibilidad de aguas ofrece sustento legal para la asignación de nuevos volúmenes de extracción para abastecimiento, la resolución de situaciones de sobre explotación de acuíferos así como los conflictos por uso de agua (CONAGUA, 2008).

El reporte publicado por la CONAGUA ofrece datos técnicos de utilidad (tipo de acuífero, elevaciones del nivel freático, características hidrogeológicas) y parámetros hidráulicos (transmisividad y conductividad hidráulica) necesarios para la modelación del flujo de aguas subterráneas.

⁵<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

⁶http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#

⁷<http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=62&n3=62>

4.1.2.8. Registro Público de los Derechos del Agua (REPDA)⁸

Para realizar el balance hídrico, la NOM-011-CONAGUA-2000 también establece que dentro de los cálculos se deben considerar los volúmenes de agua vigentes concesionados, para lo cual se requiere realizar una consulta en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA) que actualmente ofrece la publicación de los registros inscritos hasta el 31 de diciembre de 2014 (Ver [Tabla C.1](#)).

4.1.2.9. Geología⁹

La Carta Geológico-Minera Aquiles Serdán H13-C67 Escala 1:50 000 elaborada por el Servicio Geológico Mexicano (SGM) publicada en el 2006 ofrece información respecto a la estratigrafía general y la estructura geológica para el análisis y exploración a escala nacional y/o a detalle de éstos factores.

4.2. Procesamiento de la información con apoyo de software especializado

4.2.1. Paquete estadístico IBM SPSS V.21

Este software que pertenece a la empresa IBM, ofrece una poderosa colección de herramientas para el análisis estadístico con el objetivo de soportar la toma de decisiones. El tipo de análisis y tests disponibles en ésta plataforma permiten realizar una primera aproximación y reducción de la información hidrogeoquímica disponible para su posterior discusión y análisis a mayor profundidad o detalle.

El enfoque estadístico aplicado a la hidrogeoquímica ayuda a una mejor comprensión e interpretación de resultados de los análisis químicos y permite establecer si un número determinado de muestras pueden ser agrupadas con base a sus relaciones hidrogeoquímicas; sin embargo no ofrece una respuesta directa ante la causa y efecto de los fenómenos hidrogeoquímicos ([Güler et al., 2002](#)).

4.2.2. Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS V. 10.1)

Las siglas GIS corresponden al acrónimo inglés *Geographic Information System*, usado para describir lo que básicamente es un sistema informático para la gestión de datos referenciados por

⁸<http://www.conagua.gob.mx/Repda.aspx?n1=5&n2=37&n3=115>

⁹http://www.sgm.gob.mx/cartas/Cartas_Ed50.jsp

coordenadas espaciales (Ferrero, 2004). Los GIS proveen las herramientas necesarias tanto para integrar bases de datos como para realizar operaciones con el propósito de analizar el conjunto de información recopilada. En la actualidad los GIS conforman una de las plataformas más poderosas que permiten recopilar, almacenar, visualizar y representar datos de manera semiautomática con agilidad y precisión suficiente (Fattorelli and Fernandez, 2011).

Se puede decir que una de las mayores ventajas de los GIS es el conformar un ambiente de trabajo común en donde diferentes disciplinas convergen unificando esfuerzos para la creación de modelos o el desarrollo de planes que mejoren la calidad y gestión de los recursos naturales (UNESCO, 2009).

La significativa cantidad de información recopilada por medio de las fuentes arriba mencionadas, fue manipulada por medio del software de la compañía ESRI conocido bajo el nombre de ArcMap versión 10.1, en conjunto con paquetes complementarios (ArcHydro Groundwater versión 3.3 y ArcHydro Tools) como soporte para el análisis hidrológico. El tipo de formato de archivo empleado es el *shapefile* que se compone de diferentes partes en donde cada una almacena características específicas (geometría, atributos, referencias espaciales, índices, etc.) que pueden ser fácilmente relacionados con las características de otros *shapefile*.

Además de las herramientas GIS mencionadas, en algunos procesos se vuelve necesario el uso de paquetes informáticos complementarios diseñados para trabajar como interfaz entre GIS y software de tipo especializado en la creación y solución de modelos hidrológicos. Tal es el caso de la herramienta HEC-GeoHMS que tiene la función de dar el formato adecuado a la información creada por ArcHydro Tools, para su posterior exportación al programa HEC-HMS, creado por el Centro de Ingenieros en Hidrología (Hydrologic Engineering Center, HEC) para el modelaje de sistemas hidrológicos (Hydrologic Modeling System, HMS).

4.2.3. Delimitación del área de estudio

La delimitación del área de estudio se realizó con base al *CEM* que fue procesado con la herramienta ArcHydro Tools. Los principales criterios para la delimitación de la región de interés fueron: (a) considerar que la unidad básica de estudio es la cuenca; (b) la extensión total de la superficie de estudio debe ser aquella que permita la correcta integración del balance hídrico del sistema superficial con el balance hídrico del sistema subterráneo.

4.2.4. Determinación de coeficientes y parámetros

4.2.4.1. Número de curva (CN)

Para la determinación del *CN* se necesita delimitar el área de estudio en los mapas de Vegetación y Uso de Suelo y en el mapa Edafológico. Posteriormente se intersecta la información de los mapas delimitados y se realiza la asignación de valores correspondientes del *CN* con base a las características del tipo, uso y condición hidrológica del suelo. En la asignación de los valores del *CN*, es esencial el empleo de las tablas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (A) (USDA, 1986).

4.2.4.2. Parámetros hidrológicos

Los parámetros hidrológicos son calculados a partir del *CEM* y procesados por medio de la herramienta ArcHydro Tools. En primera instancia es necesario hacer una corrección del *CEM* y con base al modelo de elevaciones corregido se determinan la dirección y acumulación del flujo superficial. Enseguida se define el orden y las conexiones de las corrientes obteniendo al final del proceso la red hidrológica del área de estudio. A partir de éste punto y con apoyo en la herramienta complementaria HECGeo-HMS, es posible la segmentación de la región en áreas de captación tributarias además del cálculo de las pendientes y longitudes máximas de los cauces principales de cada una de las áreas, tiempos de concentración, y todos los demás parámetros necesarios para la caracterización morfológica y la construcción del modelo hidrológico.

En el caso de los parámetros hidráulicos que se requieren para el modelo de simulación de flujo de aguas subterráneas; éstos se obtuvieron a partir del estudio técnico de Determinación de la Disponibilidad de Agua Subterránea en el Acuífero 0836 Aldama-San Diego, estado de Chihuahua realizado por CONAGUA (2008). En él se especifican datos geológicos, hidrogeológicos y de evolución del acuífero que corresponde a la zona de estudio.

4.2.5. Caracterización morfológica de las cuencas

La caracterización morfológica se realizó con base a índices y magnitudes físicas que expresan las relaciones entre la respuesta hidrológica y las características físicas de la cuenca. Dentro de los parámetros considerados encontramos parámetros generales, de forma, de relieve y relativos a la red hidrográfica. En la Tabla 4.5 se resumen los parámetros y ecuaciones empleadas en la caracterización y análisis morfológico. Adicionalmente, se determinaron las pendientes de los cauces principales con apoyo de la herramienta ArcHydro Tools de ArcMAP.

Tabla 4.5.: Parámetros morfológicos

Parámetro	Ecuación	Fuente
Orden de la corriente	Rango jerárquico	Chopra et al. (2005)
Longitud de la corriente (L_u)	Longitud total de las corrientes	Chopra et al. (2005)
Longitud promedio de la corriente (L_{sm})	$L_{sm} = L_u/N_u$ Donde L_u = long. total de las corrientes de orden “u”; N_u = Núm. total de corrientes de orden “u”	Chopra et al. (2005)
Factor de bifurcación (R_b)	$R_b = N_u/(N_u + 1)$ Donde N_u = Núm. total de corrientes de orden “u”; $N_u + 1$ =Núm.total de corrientes del siguiente orden “u”	Chopra et al. (2005)
Factor de descarga (R_h)	$R_h = h/L_b$ Donde h = diferencia de alturas entre el punto más alto y el más bajo; L_b = Long. de la cuenca	Gordon et al. (2004)
Densidad de drenaje (R_D)	$R_D = L_u/A$ Donde L_u = Long. total de las corrientes de la cuenca; A = área de la cuenca	Gordon et al. (2004)
Frecuencia de las corrientes (F_s)	$F_s = N_u/A$ Donde N_u = Núm. total de corrientes de la cuenca; A = área de la cuenca	Chopra et al. (2005)
Textura de la red de drenaje (R_t)	$R_t = N_u/P$ Donde N_u = Núm. total de corrientes de la cuenca; P = perímetro de la cuenca	Chopra et al. (2005)
Long. máx. del cauce (L)	Longitud desde el punto hidráulicamente más alejado hasta el punto de salida de la cuenca	Feldman (2000)

Continúa en la siguiente página.

Tabla.4.5. continua de la página anterior.

Long. desde el centroide (L_c)	Long. desde el punto más cercano del centroide de la cuenca hasta el punto de salida de la misma	Feldman (2000)
Pendiente del cauce principal (S_c)	$S_c = (h_{máx} - h_{mín})/L$ Donde $(h_{máx} - h_{mín})$ = diferencia de alturas entre el punto más alto y el más bajo del cauce; L = Long. del cauce principal	Gordon et al. (2004)
Pendiente media de la cuenca (S_b)	$S_b = (Elev. a 0,85L_b) - (Elev. a 0,10L_b)/0,75L_b$ es decir; la diferencia de alturas entre el 85 % y el 10 % de la long. de la cuenca dividida entre el 75 % de la long. de la cuenca.	Gordon et al. (2004)
Factor de elongación (R_e)	$R_e = D_C/L_b$ donde D_c = diámetro de un círculo de la misma área que la cuenca; L_b = Long. de la cuenca	Gordon et al. (2004)
Factor de forma (R_f)	$R_f = A/L_b^2$ donde A = área de la cuenca; L = long. de la cuenca	Gordon et al. (2004)

4.3. Estimaciones y construcción de modelos hidrológicos

4.3.1. Balance hídrico

La estimación del balance hídrico superficial se realizó con base a la metodología propuesta por Thornthwaite y Mather (1957) que permite determinar la cantidad de humedad del suelo a partir de la precipitación media mensual (P) y la evapotranspiración potencial (ETP). Además de estos dos factores, se consideraron las pérdidas provocadas por la escorrentía superficial (R)

que fue determinada según el procedimiento del Servicio de Conservación de Suelos (*SCS*), en donde involucra el término conocido como Numero de Curva (*CN*, por sus siglas en inglés) para considerar las características del tipo, uso y condición hidrológica del suelo.

El balance de aguas superficiales fue complementado con el balance de aguas subterráneas con el objetivo de determinar la disponibilidad de agua en el acuífero. La dificultad en la determinación de los elementos que conforman el sistema de flujo de aguas subterráneas es mucho mayor que en el sistema de agua superficial; sin embargo en éste caso se presenta una situación simplificada por: (a) la falta de infiltración desde las corrientes superficiales naturales (que se mantienen secas la mayor parte del año); (b) la coincidencia de los límites topográficos de la cuenca y del acuífero, además de (c) tratarse de un acuífero no confinado.

Los parámetros hidráulicos (transmisividad, conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento) fueron retomados de estudios previos hechos por [CONAGUA \(2008\)](#).

En la [Figura 4.3](#) se observa el procedimiento para la estimación del balance hídrico superficial de la región y en el se muestra el proceso de la estimación del balance hídrico integrado (unión de los sistemas de corrientes superficiales y subterráneas).

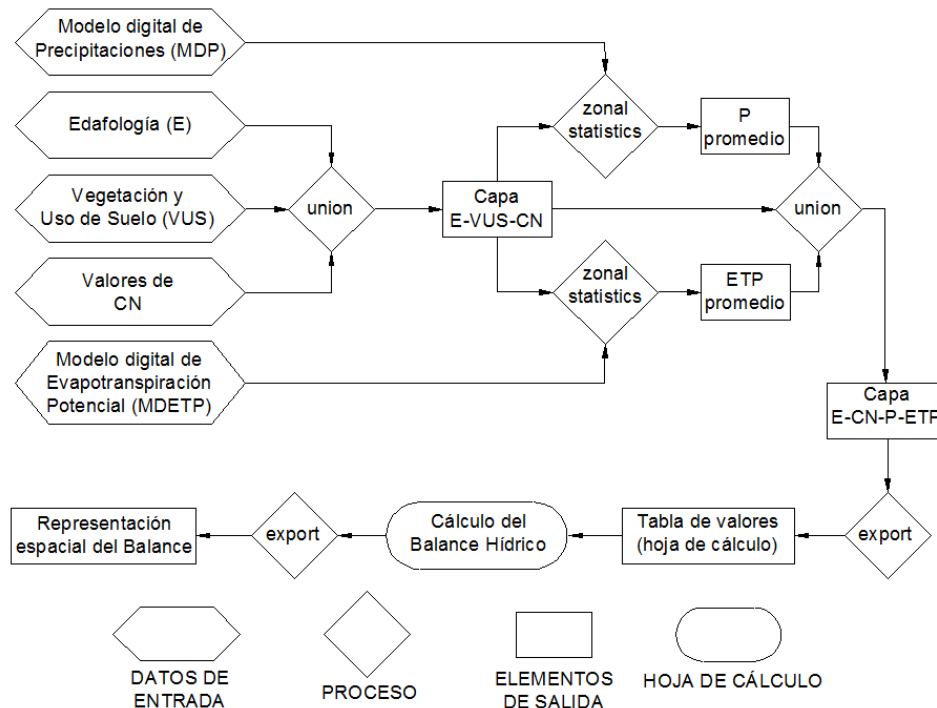


Figura 4.3.: Diagrama del proceso para la estimación del balance hídrico superficial.

4.3.2. Vulnerabilidad del acuífero

La metodología *DRASTIC* fue empleada para la estimación del índice de vulnerabilidad del acuífero correspondiente a la región de estudio. Consiste en la descripción de los aspectos topográficos, edafológicos, geológicos, estimación de la precipitación, recarga neta, profundidad del nivel estático, almacenamiento del acuífero, conductividad hidráulica y cualquier otra característica particular de la cual se puede obtener información confiable.

El nombre *DRASTIC* es el acrónimo en inglés, de los componentes más importantes de la vulnerabilidad a partir de los cuales se construyen los mapas y que condicionan la contaminación del agua del subsuelo (Piscopo, 2001). Los factores que intervienen en la determinación de la vulnerabilidad incluyen: la profundidad del nivel estático (D), recarga neta (R), el medio del acuífero (A), el medio del suelo (S), topografía (T) y el impacto en la zona no-saturada (I) (Figura 4.4).

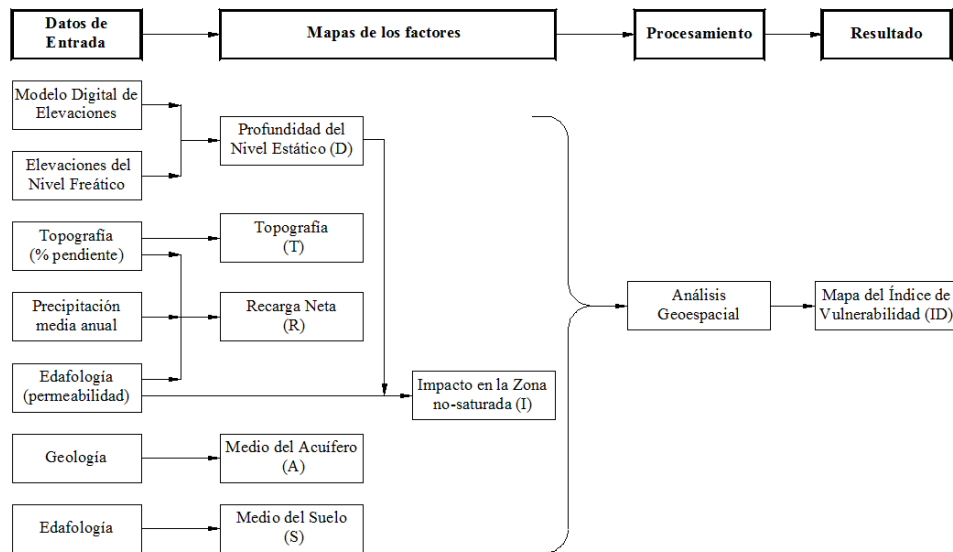


Figura 4.4.: Metodología DRASTIC para el caso de estudio Aquiles Serdán, Chihuahua.

4.3.2.1. Profundidad del nivel estático (D)

La profundidad del nivel estático conforma una parte de los mecanismos naturales de atenuación o disipación de la contaminación. Este factor establece la distancia que cualquier contaminante debe recorrer antes de llegar al acuífero. La capacidad de atenuación de los efectos contaminantes se incrementa a medida en que aumenta la profundidad del nivel estático (Piscopo, 2001). En Tabla 4.6 se observan los coeficientes del *valor y ponderación* para este factor. La ponderación para este factor se estableció de **4**, para reflejar la dificultad que tendría algún tipo de contaminante de alcanzar el nivel freático a causa de la combinación de la profundidad a la cual se

encuentra el nivel freático y las altas tasas de evaporación, características de las zonas áridas y semiáridas.

Tabla 4.6.: Valores de la profundidad del nivel estático (D)

Rango (m)	Valor
0 - 1,50	10
1,50 - 4,60	9
4,60 - 9,10	7
9,10 - 15,20	5
15,20 - 22,80	3
22,80 - 30,40	2
> 30,49	1
DRASTIC ponderación: 4	

4.3.2.2. Recarga neta (R)

Es calculada a partir del porcentaje de la pendiente, la precipitación media anual y la permeabilidad del suelo (Ecuación 31 y Tabla 4.7). Cada uno de estos elementos son datos que se encuentran en disponibilidad para el sitio de estudio. La permeabilidad se estableció con base a las características de cada uno de los tipos de suelo que se observan en la zona (INEGI, 2004; INE, 1989). En la Tabla 4.8 se pueden observar los valores y la ponderación para el factor R . La ponderación para la recarga neta tiene asignado el valor máximo 5, para de que de esta manera se puedan reflejar los efectos de aquellas lluvias diarias que a pesar de ser de corta duración poseen una intensidad considerable que puede ofrecer beneficio a la recarga del acuífero.

$$Recarga\ Neta\ (R) = \%pendiente + precipitación + permeabilidad\ del\ suelo \quad (31)$$

Tabla 4.7.: Elementos para el cálculo del factor de recarga neta (R)

Pendiente		Precipitación		Permeabilidad del Suelo	
Rango (%)	Valores	Rango (mm)	Valores	Rango	Valores
< 2	4	> 400	4	Alta	5
2 - 10	3	350 - 400	3	Moderada - Alta	4
10 - 33	2	300 - 350	2	Moderada	3
> 33	1	< 300	1	Baja	2
				Muy Baja	1

Tabla 4.8.: Valores de la recarga neta (R)

Rango	Valor
11 - 13	10
9 - 11	8
7 - 9	5
5 - 7	3
3 - 5	1
DRASTIC ponderación: 5	

4.3.2.3. Medio del acuífero (A)

Se refiere al tipo material del que está conformado el acuífero. Aquellos acuíferos que están formados a partir de materiales con alta permeabilidad son más susceptibles a los problemas de infiltración y propagación de contaminantes. La información se obtuvo a partir de estudios realizados por INEGI en coordinación con el SGM (CONAGUA, 2008; SGM, 2006). Los valores de A se muestran en la Tabla 4.9. La ponderación del medio del acuífero se considera máxima debido a la extensa superficie abarcada por material geológico con permeabilidad media en la parte central del valle, además de que existen zonas en la parte de la serranía consideradas como kársticas, por donde el agua se infiltra de forma directa hacia el acuífero.

Tabla 4.9.: Valores del medio del acuífero (A)

Rango (tipo de roca)	Valores
Lutita - Arenisca	2
Ignea extrusiva ácida (Riolita)	4
Ignea extrusiva intermedia (Andesita)	6
Caliza	6
Conglomerado	6
Caliza Kárstica	10
DRASTIC ponderación: 5	

4.3.2.4. Medio del suelo (S)

El tipo de suelo controla de forma decisiva la cantidad de agua que puede infiltrarse en el subsuelo así como también impedir o retardar la migración de la contaminación (Neshat et al., 2014; Piscopo, 2001). Los valores de S se muestran en la Tabla 4.10. Para la asignar la ponderación se consideró el valor de CN en función de la edafología. Se observa que el valor de CN es medio-alto para la mayoría de la superficie de la cuenca, lo que se traduce en capacidad media de infiltración.

Tabla 4.10.: Valores del medio del suelo (S)

Rango (tipo de suelo)	Valores
Vertisol	2
Rendzina	4
Litosol	6
Feozem	6
Castañozem	6
Regosol	6
Yermosol	6
Xerosol	6
Fluvisol	10
DRASTIC ponderación: 2	

4.3.2.5. Topografía (T)

El factor topográfico afecta a la infiltración de forma directa y éste componente del índice se refiere al porcentaje de pendientes en la zona. El porcentaje de pendientes se determina a partir del modelo digital de elevaciones. Para el factor T se establecen los valores indicados en la [Tabla 4.11.](#) La *ponderación* del factor topográfico está influenciada por dos condicionantes; las pendientes ayudan a la generación de la escorrentía superficial de los contaminantes o a la retención y acumulación en el terreno; por otro lado, las bajas pendientes propician la formación de suelo, que a su vez resulta en un medio de atenuación natural de los contaminantes.

Tabla 4.11.: Valores de la topografía (T)

Rango (% pendiente)	Valores
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
> 18	1
DRASTIC ponderación: 1	

4.3.2.6. Impacto en la zona no-saturada (I)

Respecto a éste factor y ante la ausencia de información detallada relacionada al parámetro de la conductividad hidráulica (C), se optó por el empleo de la metodología establecida por ([Piscopo, 2001](#)) en donde tanto la permeabilidad del suelo como la profundidad del nivel estático, son reclasificados y combinados para el cálculo del *valor* del impacto de la zona no-saturada ([Tabla 4.12](#) y [Tabla 4.13](#)). A pesar de la capacidad media de infiltración que posee el suelo, la

ponderación máxima es por que una vez que el contaminante se encuentra en la zona no-saturada, tanto por la permeabilidad como por las bajas profundidades del nivel freático en la parte central del valle, propician propagación de la contaminación en el acuífero.

Tabla 4.12.: Elementos para el cálculo del impacto en la zona no-saturada (*I*)

Permeabilidad del Suelo		Prof. del nivel estático	
Rango	Valor	Rango (m)	Valor
Alta	5	< 5	5
Moderada-Alta	4	5 - 10	4
Moderada	3	10 - 15	3
Baja	2	15 - 20	2
Muy Baja	1	> 20	1

Tabla 4.13.: Valores del impacto en la zona no-saturada (*I*)

Rango	Valor
8 - 10	10
6 - 8	8
4 - 6	5
3 - 4	3
2 - 3	1
DRASTIC ponderación: 5	

4.3.3. Construcción de modelos

Para la construcción de los modelos se tuvieron que considerar el sistema hidrológico superficial y el subterráneo por separado, resultando dos modelos diferentes pero complementarios: (a) el modelo hidrológico y (b) el modelo de simulación de flujo subterráneo (*Sflux*).

4.3.3.1. Modelo hidrológico

Se mencionó anteriormente que para el procesamiento de la información en ArcMAP fue necesario el empleo de la herramienta complementaria HEC-GeoHMS; que si bien no es indispensable su uso, ésta herramienta permite dar el formato apropiado a los parámetros hidrológicos de interés, para su posterior exportación al programa especializado en modelos hidrológicos (HEC-HMS) creado por el Centro de Ingenieros en Hidrología (Hydrologic Engineering Center, HEC).

De los diferentes métodos de modelado disponibles en HEC-HMS se empleó el método de pérdidas del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), en conjunto con el método de hidrograma unitario (UH) de Snyder (recomendado para cuencas sin aforo).

Debido a que algunos de los parámetros involucrados en la construcción y el cálculo del modelo hidrológico, son estimados o determinados de forma aproximada con base a ecuaciones en su mayoría empíricas (Bhunya et al., 2011); esto da lugar a modelos hidrológicos que necesitan de calibración y validación para su entera confiabilidad y así poder emplearlos con cierto grado de confiabilidad en el desarrollo de proyectos de gestión y en la toma de decisiones, por lo tanto el modelo hidrológico presentado se debe considerar como preliminar quedando sujeto a calibraciones y validaciones futuras.

4.3.3.2. Simulación de flujo subterráneo y transporte de contaminantes

Respecto al flujo subterráneo, se puede mencionar que el modelo se desarrolló con base a la solución de ecuaciones numéricas a través del método de elementos finitos auxiliado por una interfaz con ArcMAP con el objetivo de obtener información georeferenciada (Firmiano de Jesus, 2015). Esta herramienta computacional fue desarrollada en código *Python* por el Prof. Dr. Firmiano durante el plan de estudios de pos-doctorado efectuado en el Instituto para el desarrollo de Tecnologías y Gestión de Recursos en el Trópico y Subtrópico (ITT) de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Colonia (CUAS), Alemania

El software empleado para la construcción de la herramienta consta de dos programas. El primero es conocido bajo el nombre de *Proyecto FEniCS (FEniCS V.1.0.0)*¹⁰ desarrollado para la solución directa y automática de ecuaciones diferenciales. El segundo es un Ambiente de Desarrollo Integrado (IDE) que emplea los lenguajes JAVA o PYTHON para la creación de software de código libre. Ésta plataforma de programación es conocida como *Eclipse (Versión Kepler)*¹¹ que requiere de la instalación del plugin *Pydev*, para soportar el lenguaje Python.

¹⁰<http://fenicsproject.org/>

¹¹<https://eclipse.org/kepler/>

5. CASO DE ESTUDIO

5.1. Generalidades

El municipio de Aquiles Serdán se localiza en la porción central de la Entidad Federativa de Chihuahua (Figura 5.1). De acuerdo al Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos (INEGI, 2005), Aquiles Serdán posee una extensión territorial de 493,83 km² que corresponde al 0,2% de la superficie del estado. El municipio cuenta con 11 localidades y una población total de 6 212 habitantes. Colinda al norte con los municipios de Chihuahua y Aldama; al este con los municipios de Aldama y Rosales; al sur con los municipios de Rosales y Chihuahua; y al oeste con el municipio de Chihuahua.

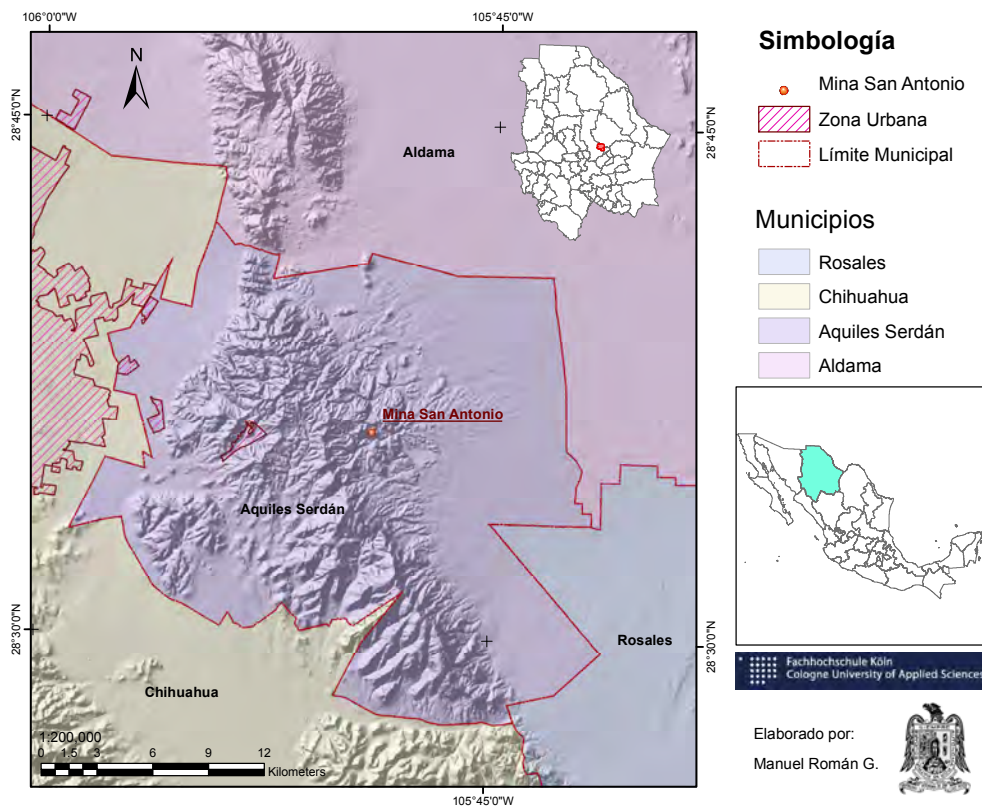


Figura 5.1.: Ubicación del municipio Aquiles Serdán y mina San Antonio.

Datos: INEGI, Marco Geosestadístico Nacional, 2010.

INEGI, Continuo de elevaciones Mexicano 3,0 (CM 3,0), 2013.

La cabecera del municipio es la población de origen minero conocida bajo el nombre de Santa Eulalia, que se localiza a 10 km de la ciudad Chihuahua. Las poblaciones que se encuentran en la parte central del estado, se originaron a partir del descubrimiento de yacimientos de minerales y de la fundación del distrito minero de Santa Eulalia, en 1652 por el capitán español Diego del Castillo. A pesar de la riqueza en minerales, los trabajos de explotación fueron suspendidos a causa de dificultades por efectos del clima y la resistencia activa de los indígenas. Desde entonces, el distrito minero ha sufrido constantes altibajos en su producción (Grupo México, 2014; CAS, 1999).

El distrito minero posee una extensión aproximada de 25 km² y se conforma por dos campos: (a) Campo Oriente en donde se localiza la mina San Antonio; y (b) Campo Poniente donde se encuentran las minas Buena Tierra, El Potosí, Minas Viejas, Velardeña, Reina de Plata, Parcioneras, y Santa Rita (Windels et al., 2003).

El mayor desafío que enfrenta el sector minero de Santa Eulalia, es que las actividades en el Campo Oriente (Mina San Antonio), se desarrollan dentro de un sistema de acuífero que se origina en una red de fallas y fracturas en rocas calizas y volcánicas, razón por la cual se han originado diversas inundaciones dentro de la mina desde el año de 1945 (CAS, 2000). Lo anterior provoca que los costos de operación sean elevados (930,90 mxn/ton) siendo que el distrito minero cuenta con dos tiros de extracción que alimentan a una planta de beneficio con capacidad de 1450 ton/día (Grupo México, 2014). Esta situación provoca fuertes limitaciones en el incremento de la producción de mineral, por lo que la empresa Industrial Minera México S.A. de C.V. (actual propietaria de la Mina)¹, considera que es necesario adquirir amplios conocimientos del sistema de flujo de agua subterránea en zona de explotación del mineral, principalmente en relación a las velocidades y las direcciones de las corrientes (CAS, 1999).

Además de la minería, en el municipio de Aquiles Serdán se desarrollan actividades de agricultura y ganadería. En relación a las actividades agrícolas, y de acuerdo a los datos estadísticos de INEGI (2005), el 66,80 % del territorio no es apto para agricultura, el 25,20 % es apta para agricultura mecanizada y en el 8,0 % restante se pueden realizar trabajos de agricultura con tracción animal.

En relación a las actividades pecuarias, los estudios indican que el 31,40 % es apto para establecimiento de praderas cultivadas, cerca del 1,70 % es apto para el establecimiento de praderas cultivadas con tracción animal, únicamente el 0,3 % se puede destinar para el aprovechamiento de pastizal, y 22,40 % es apto para aprovechamiento de vegetación natural diferente del pastizal. El 42,60 % del territorio posee potencial para el aprovechamiento de la vegetación natural únicamente para el ganado caprino y se cuenta con 1,60 % del territorio que no es apto para el aprovechamiento pecuario.

El municipio de Aquiles Serdán se encuentra en una de las Entidades Federativas del norte de la República Mexicana que presenta un registro de la precipitación media anual baja (de 300 a

¹<http://www.desi.economia.gob.mx/empresas/empresas3.asp?Clave=36>

500 mm) y forma parte del territorio árido o semiárido de la nación; por consecuencia, pertenece a aquellas zonas donde la presión hídrica (ya sea por déficit o por la competencia en el uso del recurso entre sectores) puede intensificarse en el futuro próximo. Para poder realizar un análisis completo de la disponibilidad del agua, primero es necesaria la identificación y caracterización de la cuenca y del acuífero que son sujeto de estudio del presente trabajo.

5.2. Caracterización

5.2.1. Área de estudio

La región de estudio se localiza en la porción central del estado de Chihuahua entre los paralelos 28° 24' 00" y 29° 00' 00" de latitud norte y los meridianos 105° 24' 00" y 105° 56' 00" de longitud oeste ([Figura 5.2](#)). Se encuentra integrada por cinco áreas de captación o microcuencas (MC) a las cuales nombraremos como W60, W70, W80, W90 y W100.

La zona de interés abarca una superficie total aproximada de 1 659,98 km² – equivalente a 0,67 % de la superficie total del estado - de los cuales 993,27 km² (0,402 %) se encuentran dentro del municipio de Aldama; 323,48 km² (0,131 %) se ubican dentro del municipio de Aquiles Serdán; 249,86 km² (0,101 %) están en el municipio de Rosales; 49,37 km² (0,019 %) se encuentran en el municipio de Julimes; y 40,42 km² (0,016 %) dentro del municipio de Chihuahua.

5.2.2. Topografía

En la zona existen elevaciones topográficas que se encuentran en un rango de valores que van desde los 1 076 hasta 2 267 metros sobre el nivel medio del mar ([Figura 5.3](#)). El conjunto montañoso de mayor elevación se conoce bajo el nombre de Sierra Santo Domingo con dimensiones aproximadas de 20 km de largo por 11 km de ancho ([Windels et al., 2003](#)).

En la serranía se observan grandes rasgos de erosión por lo que existe la presencia de prominentes altos topográficos y cañones profundos ([Windels et al., 2003](#)). Las sierras del área se encuentran separadas por una extensa llanura que en algunas partes es denominada como bolsón. Este tipo de configuración (sierras y llanuras) es una característica particular de la zona norte de la República Mexicana ([INEGI, 2008](#)).

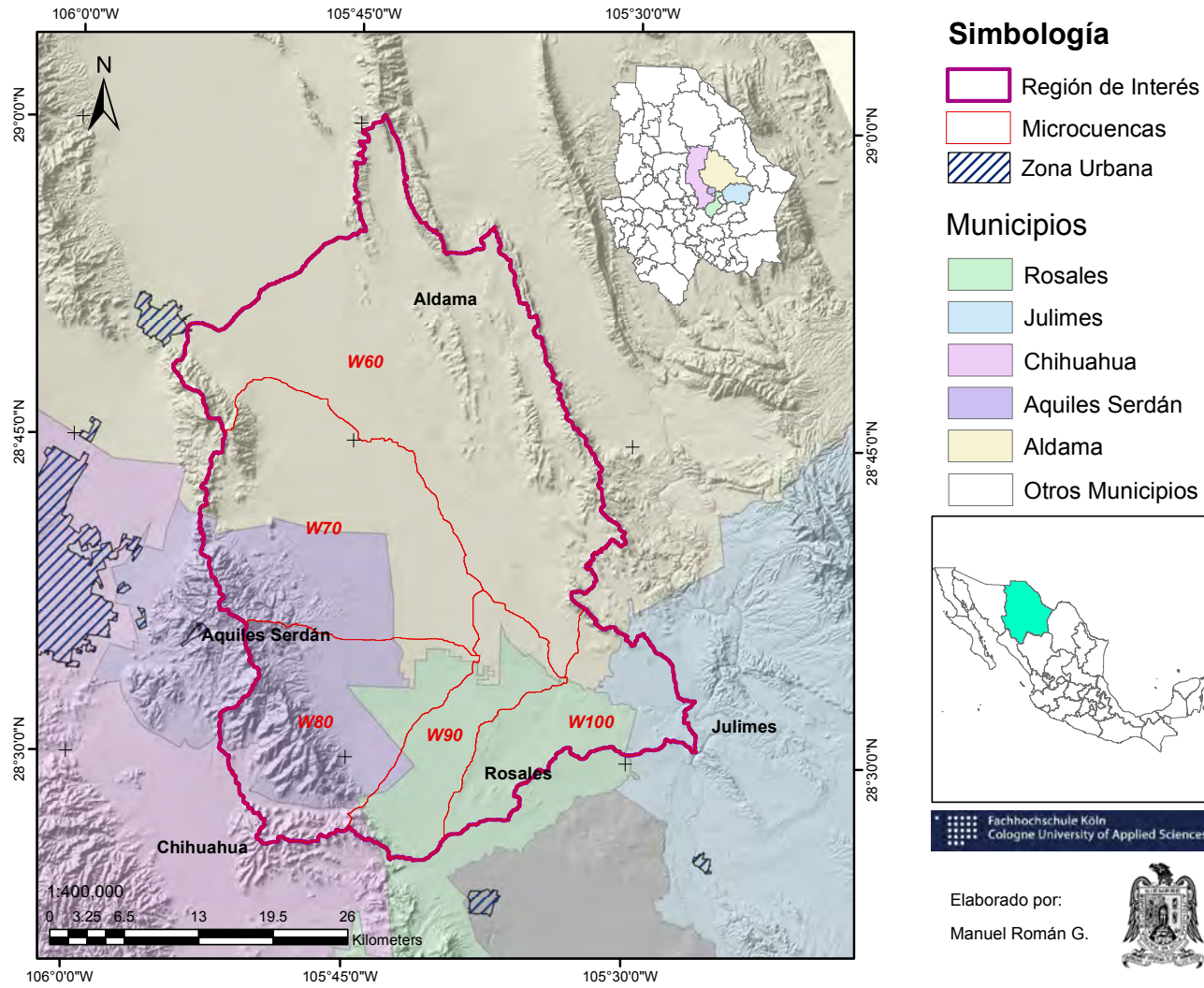


Figura 5.2.: Ubicación geográfica del área de estudio.

Datos: INEGI, Marco Geosestadístico Nacional, 2010.

INEGI, Continuo de elevaciones Mexicano 3,0 (CM 3,0), 2013.

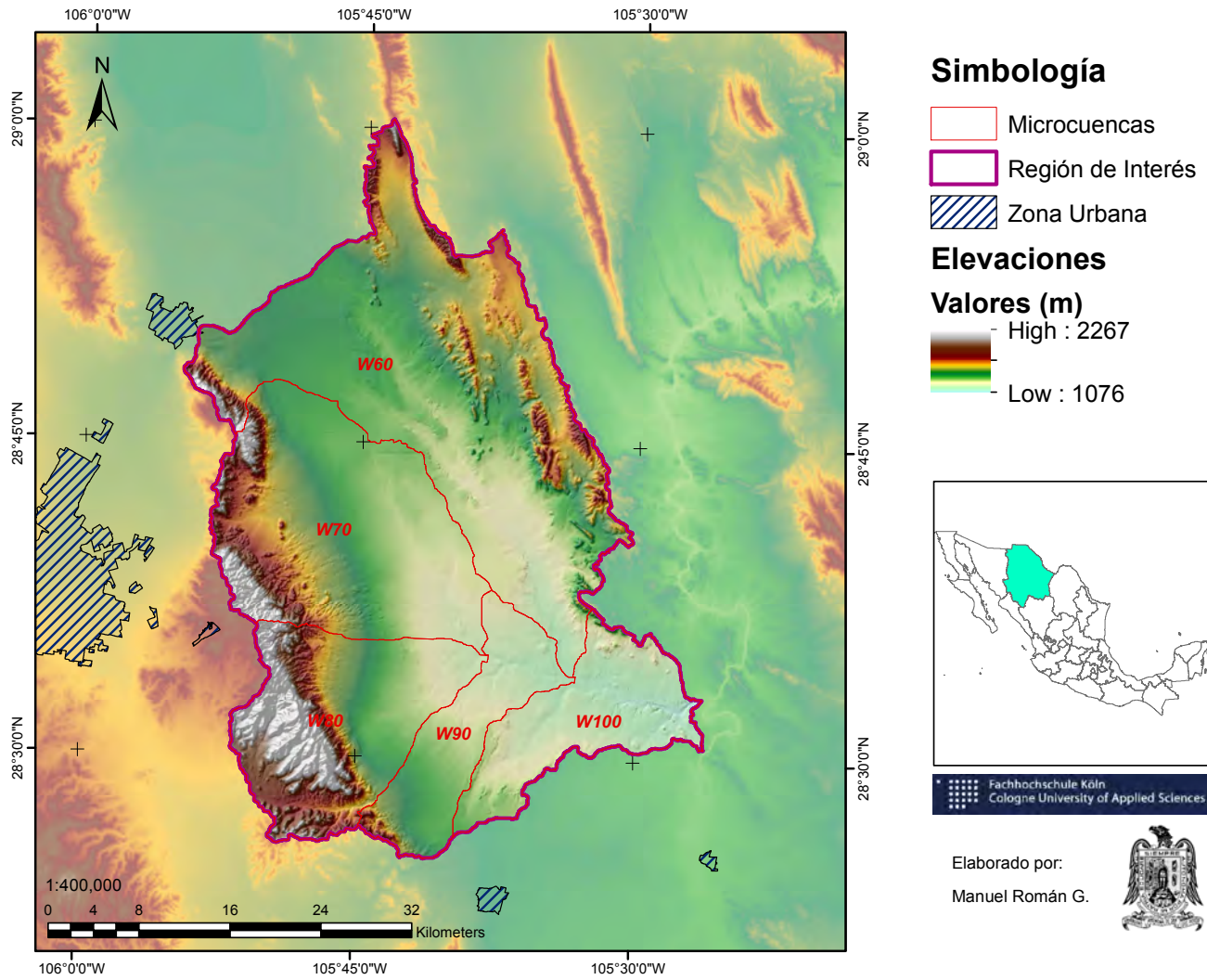


Figura 5.3.: Topografía del área de estudio.

Datos: INEGI, Marco Geosestadístico Nacional, 2010.

INEGI, Contínuo de elevaciones Mexicano 3,0 (CM 3,0), 2013.

5.2.3. Fisiografía

Con base a los datos básicos de la geografía de México, el total del área de estudio se encuentra en la provincia fisiográfica denominada *Sierras y Llanuras del Norte* (que se extiende por los estados de Chihuahua y Coahuila de Zaragoza), caracterizándose por tener sierras bajas e inclinadas conectadas por grandes llanuras (INEGI, 2008). Esta provincia es una prolongación de la provincia Sierras y Llanuras del Sur de los Estados Unidos (Pando Galván, 1982); que limita al este con la Sierra Madre Oriental, al oeste con la Sierra Madre Occidental, y al sur con la Mesa del Centro.

En cuanto a las subprovincias fisiográficas, encontramos que gran parte del área (77,39 %) se ubica dentro del *Bolsón de Mapimí* localizado al sureste del río Conchos, y la porción restante pertenece a la subprovincia de *Sierras Plegadas del Norte* (INEGI, 2010a). Por último en relación al sistema de topofomas (Figura 5.4), la región presenta nueve tipos diferentes de patrones que se encuentran resumidos en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1.: Provincias Fisiográficas.

Provincia Fisiográfica	Subprovincia Fisiográfica	Sistema de Topofomas	Superficie (km ²)	Porcentaje (%)
Sierras y Llanuras del Norte	Bolsón de Mapimí	Bajada Típica	773,19	46,68
		Llanura Aluvial	83,42	5,04
		Llanura Aluvial de Piso Rocoso o Cementado	300,44	18,14
		Meseta Típica	2,65	0,16
		Sierra Escarpada	133,56	8,06
	Sierras Plegadas del Norte	Bajada con Lomerío	287,87	17,38
		Lomerío Ramificado	14,60	0,88
		Lomerío Ramificado con Bajadas	16,87	1,02
		Sierra Escarpada	22,21	1,34
		Sierra Plegada	21,58	1,30
				1 656,39

5.2.4. Clima

En relación al clima y con base en la clasificación de W. Köppen (1936) modificada para la República Mexicana por E. García (1964) y por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2007); el 84,22 % de la región de interés presenta un clima Muy Seco Semicálido - BWhw(w); 10,99 % presenta clima Seco Templado – BS0kw(w); el 3,63 % presenta un tipo de clima Seco Semicálido - BS0hw(w); y el 1,16 % restante pertenece al tipo de clima Semiseco Templado – BWkw(w), tal como se puede apreciar en la Figura 5.5 y Tabla 5.2.

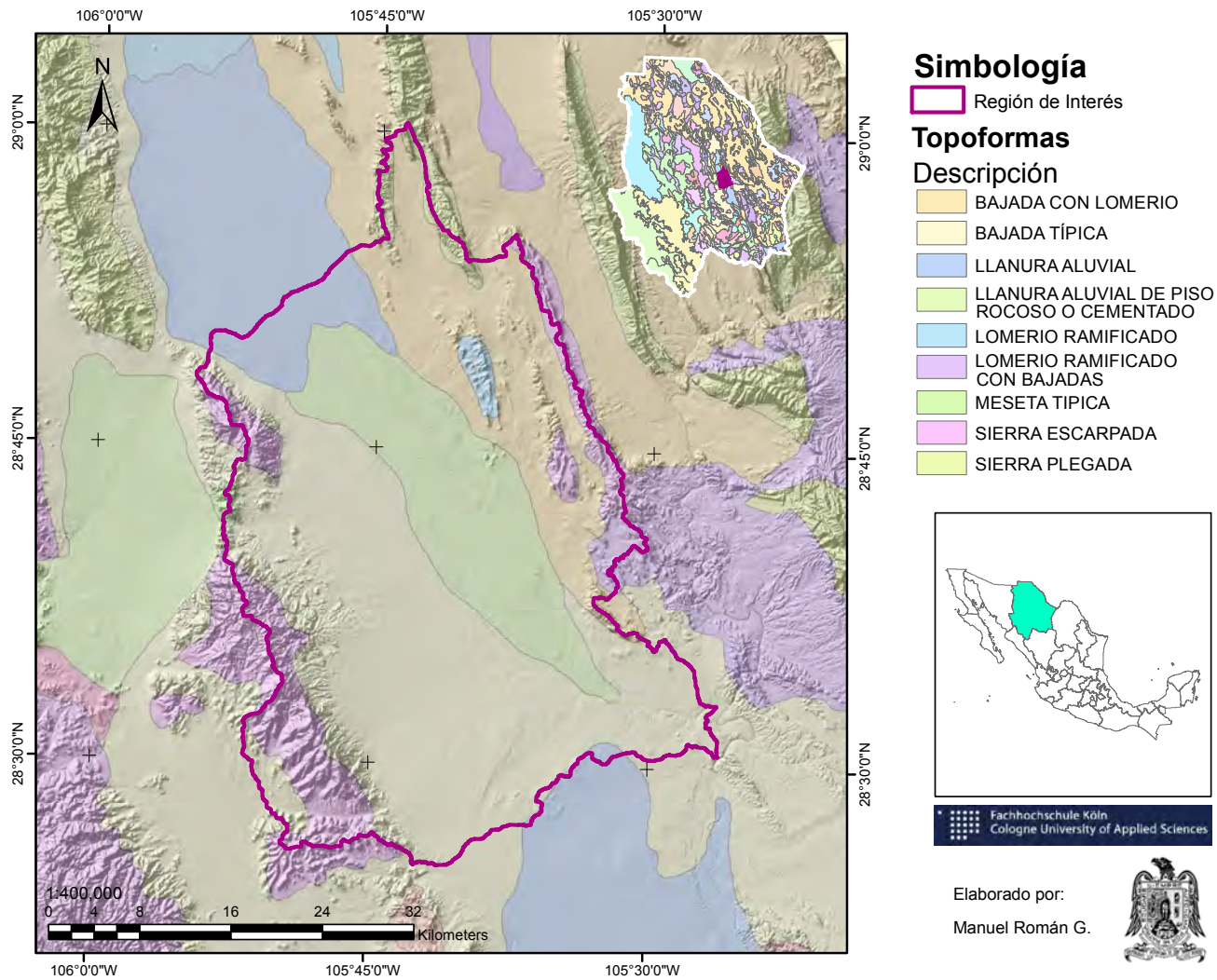


Figura 5.4.: Sistema de topoformas.

Datos: INEGI, Marco Geosestadístico Nacional, 2010.

INEGI, Conjunto de datos vectoriales fisiográficos, escala 1:1 000 000, 2001.

INEGI, Continuo de elevaciones Mexicano 3,0 (CM 3,0), 2013.

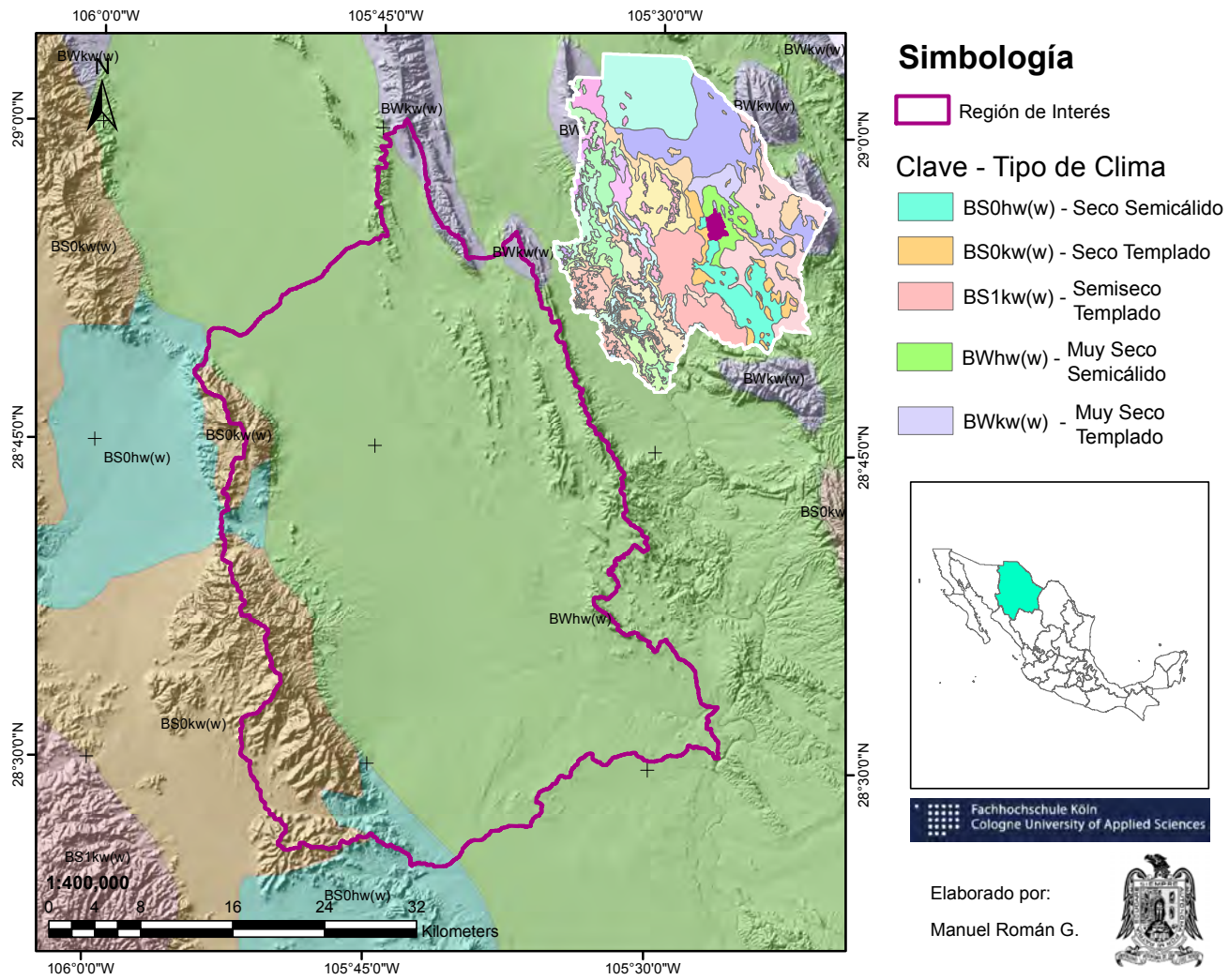


Figura 5.5.: Unidades climáticas.

Datos: INEGI, Marco Geostatístico Nacional, 2010.

INEGI, Mapa raster de climas, escala de referencia 1:1 000 000 (Resolución espacial 250 m), 2000.

INEGI, Continuo de elevaciones Mexicano 3,0 (CM 3,0), 2013.

Adicionalmente, en la [Tabla 5.2](#) se puede observar que la precipitación media anual registrada por las EMA, posee un rango de valores entre 280 a 420 mm y el promedio de las temperaturas máximas y mínimas diarias presenta valores de 39,1 y -2,8 °C respectivamente; siendo generalmente junio el mes más caluroso y enero el mes más frío.

Tabla 5.2.: Tipos de climas.

Clave	Estación	Temp. media anual (°C)	Temp. (°C) mes más frío	Temp. (°C) mes más caliente	Prec. anual (mm)	Relación P/T	Clave Clima	Tipo de Clima
8049	LUIS L. LEON	20	-2.1	42,2	295,9	14,8	BWhw(w)	Muy seco semicálido
8056	PRESA EL REJON (DGE)	17,3	-3.0	37,1	429	24,8	BS0kw(w)	Seco templado
8085	LA BOQUILLA	20,1	-2.8	41,5	280,6	14,0	BWhw(w)	Muy seco semicálido
8092	LAS BURRAS	19,5	-3.8	41,4	292,1	15,0	BWhw(w)	Muy seco semicálido
8113	PRESA CHIHUAHUA (SMN)	17,6	-2.4	36,5	444,1	25,2	BS1kw(w)	Semiseco templado
8147	UNIVERSIDAD	18,1	-0.7	37,3	394,4	21,8	BS0hw(w)	Seco semicálido
8162	CAMARGO (DGE)	19,4	-4.8	40,0	347,9	17,9	BWhw(w)	Muy seco semicálido
8185	PRESA CHIHUAHUA (DGE)	17,7	-2.4	36,5	416	23,5	BS1kw(w)	Semiseco templado
Valores Medios de la Zona		18,7	-2,8	39,1	362,5	19,6		

5.2.5. Meteorología

5.2.5.1. Modelo digital de precipitaciones (MDP)

El MDP ([Figura 5.6](#)) representa la distribución espacial de la precipitación media anual para el periodo 1950 – 2010, en la superficie correspondiente a la subcuenca conocida bajo el nombre RH24Kc - Río Chuvíscar. El MDP muestra que en la región de estudio existe una clara diferencia entre los valores de la precipitación de la zona oeste (lugar de mayor elevación) y la zona este (parte baja y zona de descarga).

En la zona oeste se encuentran las tres MC con mayor extensión, de las cuales W60 es la de mayor superficie (40,9% del área total), seguida por W70 (23,80%), y por último W80 (16,17%). El rango de valores de la precipitación media anual de las MC, se encuentran entre 360 a 382 mm.

Por otro lado, las MC W90 y W100, representan respectivamente el 8,75% y 10,34% del total del área, y los valores de la precipitación media anual para éstas áreas se encuentra por debajo de los 347 mm.

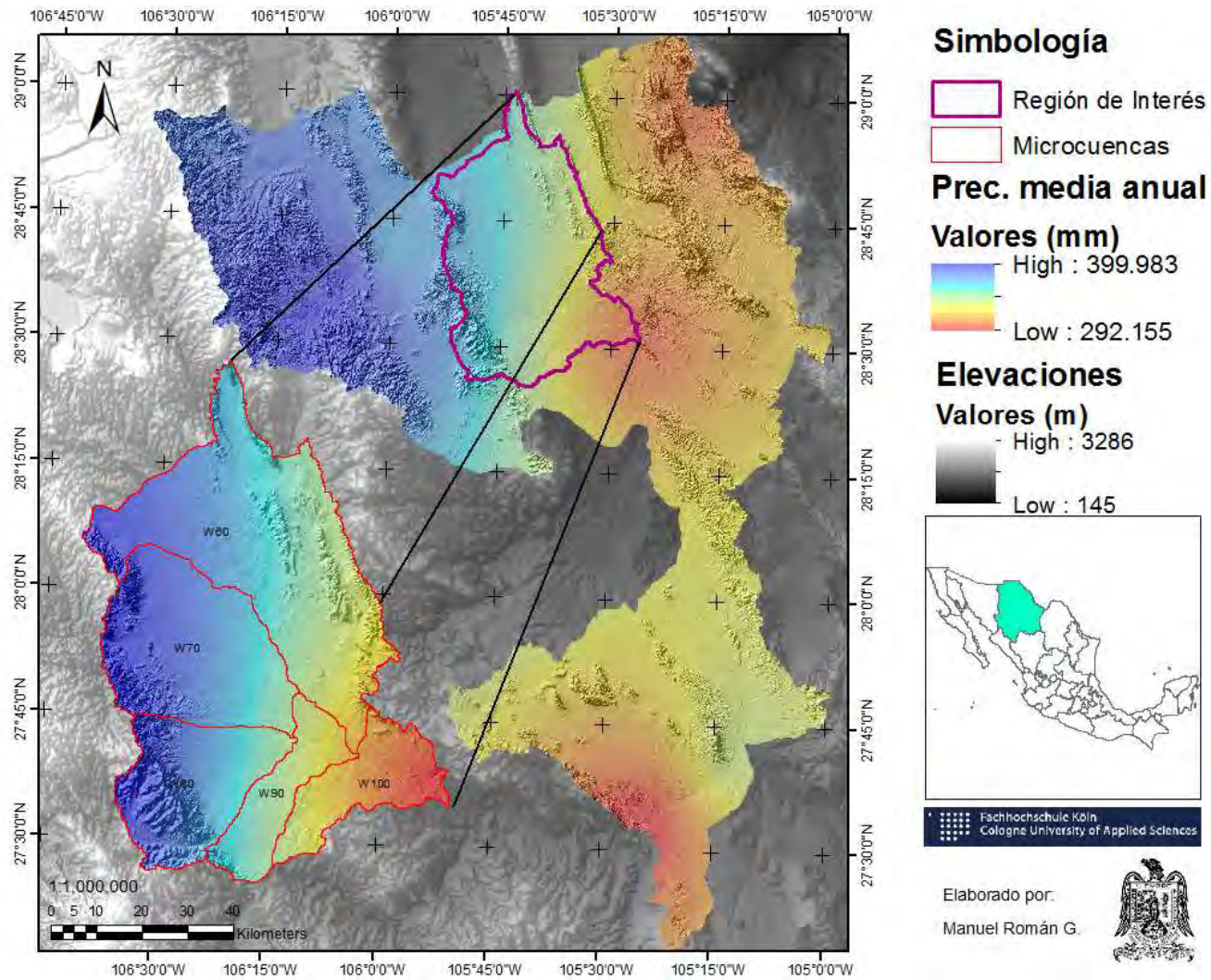


Figura 5.6.: Modelo digital de precipitación (MDP).

Datos: SMN, Climatología estadística de las EMA.

CNA, Cuencas Hidrológicas, escala 1:250 000, 1998.

INEGI, Continuo de elevaciones Mexicano 3,0 (CM 3,0), 2013.

INEGI, Subcuenca Hidrográfica, escala 1:250 000, 2010.

Al comparar las diferencias entre los valores máximos y mínimos de la precipitación media anual, se determina que de las cinco MC, la W60 posee un rango más amplio (aproximadamente 84 mm) debido a que al ser la MC con mayor extensión, abarca tanto las zonas de la serranía (con altos valores de precipitación) como la parte baja del valle (con valores menores de precipitación).

En la [Tabla 5.3](#) se pueden apreciar los valores de la precipitación media anual para cada MC.

Tabla 5.3.: Valores de la precipitación media anual.

ID	Nombre	Area (km ²)	Precipitación media anual (mm)		
			mínima	máxima	promedio
1	W60	679,54	314,50	398,33	361,53
2	W70	395,04	342,26	399,75	382,24
3	W80	268,46	342,12	399,98	379,59
4	W90	145,32	314,40	373,97	346,95
5	W100	171,62	292,16	348,62	313,98

5.2.5.2. Modelo digital de temperatura (MDT)

El MDT pone de manifiesto que existe una cierta relación entre precipitación y temperatura, sin embargo se precisan otro tipo de estudios para determinar el grado de interacción entre éstas dos variables meteorológicas, así como el grado de influencia de los demás factores (geográficos, orográficos, continentalidad, etc.). Así pues es posible observar que a mayores valores de temperatura le corresponden una disminución de los valores de la precipitación; siendo el caso de W90 y W100. La MC W60 presenta mayor diferencia entre los valores de la temperatura media máxima y la temperatura media anual mínima, posiblemente causada por la extensión territorial. La [Tabla 5.4](#) presenta los valores de la temperatura media anual por cada MC y la [Figura 5.7](#) representa el MDT.

Tabla 5.4.: Valores de la temperatura media anual.

ID	Nombre	Area (km ²)	Temperatura media anual (°C)		
			mínima	máxima	promedio
1	W60	679,54	18,03	19,23	18,63
2	W70	395,04	18,00	18,86	18,28
3	W80	268,46	18,00	18,86	18,31
4	W90	145,32	18,40	19,23	18,79
5	W100	171,62	18,77	19,50	19,23

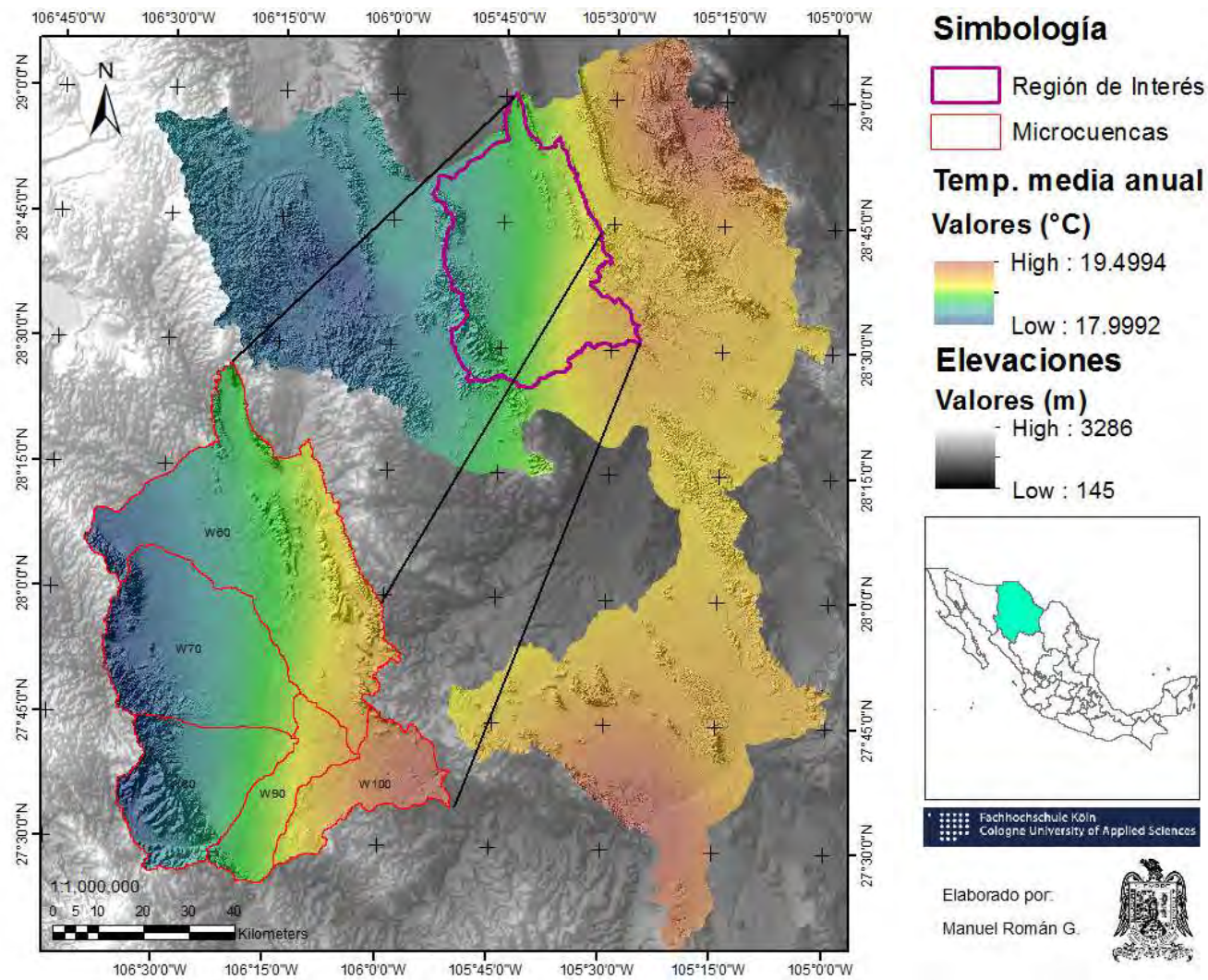


Figura 5.7.: Modelo digital de temperatura (MDT).

Datos: SMN, Climatología estadística de las EMA.

CNA, Cuencas Hidrológicas, escala 1:250 000, 1998.

INEGI, Continuo de elevaciones Mexicano 3,0 (CM 3,0), 2013.

INEGI, Subcuenca Hidrográfica, escala 1:250 000, 2010.

5.2.6. Vegetación y Uso del Suelo

En las zonas áridas y semiáridas del territorio Mexicano se logra apreciar una gran diversidad de vegetación y microclimas que se han generado a pesar de la escasa precipitación y la variabilidad térmica. El tipo de vegetación que domina en éste tipo de territorio son los matorrales en sus variantes de: matorral desértico micrófilo, matorral desértico rosetófilo, matorral crasicaule, matorral espinoso y matorral halófito, que se encuentran sobre todo en las planicies y serranías bajas; en segundo lugar se encuentran los pastizales y por último los bosques o selvas (INE, 1989).

Observando la información proporcionada por INEGI (2011) (Figura 5.8), se comprueba que el matorral desértico micrófilo es el tipo de vegetación con mayor presencia en el área de estudio ya que abarca el equivalente al 64,61 % de la superficie; seguido por pastizal natural (12,35 %); matorral desértico rosetófilo (6,21 %); pastizal halófilo (3,53 %); y finalmente bosque de mezquite (0,53 %).

Debido a las condiciones climáticas, la escasez de agua y a la baja productividad del suelo, únicamente el 3,8 % de la superficie está destinada a trabajos agrícolas dentro del cual 2,7 % pertenece a agricultura de temporal anual; 0,19 % pertenece a agricultura de riego semipermanente y permanente; 0,17 % se destina a agricultura de riego permanente; y en el 0,12 % restante se presenta agricultura de riego anual.

5.2.7. Edafología

De acuerdo con el INIFAP y la CONABIO; en el área de estudio se presentan nueve subgrupos de suelo; que entre otros, son característicos de las zonas áridas y semiáridas (Tabla 5.5 y Figura 5.9).

A continuación se presenta la descripción del INE (1989), acerca de las características de los principales tipos de suelo que se encuentran en el área de estudio:

Rendzina (E) Son suelos someros que presentan espesores entre 20 y 45 cm. Presentan textura arcillosa o migajón arcillosa, poseen estructura granular o de pequeños bloques subregulares. El único horizonte A que forman se ubica por encima de materiales de tipo calcáreo (roca caliza o petrocálicos). Registran saturación de bases mayor al 50 % y pH alcalino, y alta capacidad de intercambio catiónico. Generalmente se presentan en zonas que presentan una pequeña cantidad extra de humedad, vegetación arbórea y/o matorrales por lo que son suelos de color negro (ricos en materia orgánica); sin embargo la poca profundidad que tienen les impide el buen desempeño en actividades agrícolas. Tienen tendencia a conservar la vegetación original del sitio.

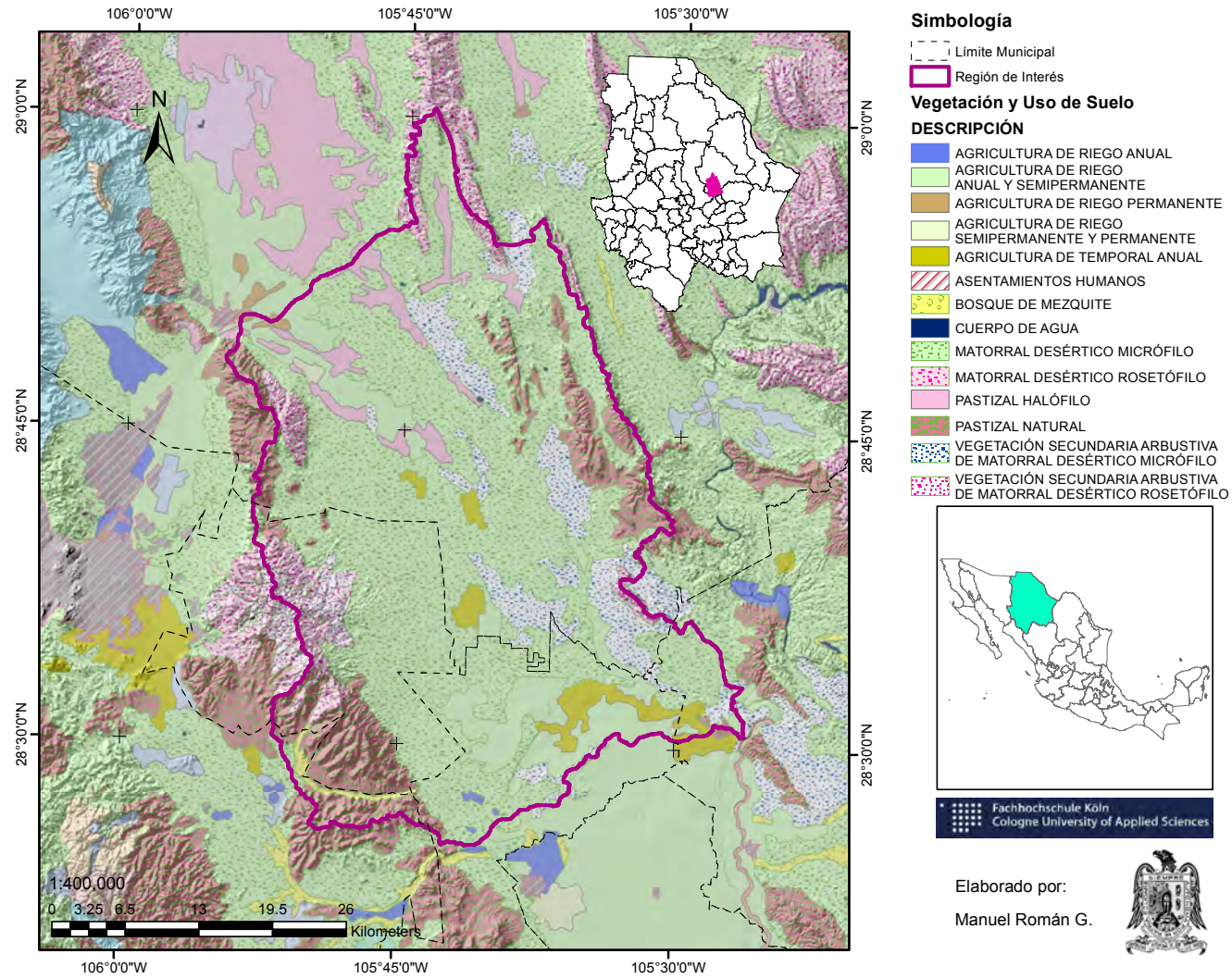


Figura 5.8.: Vegetación y uso de suelo.

Datos: INEGI, Marco Geoestadístico Nacional, 2010.

INEGI, Uso del Suelo y Vegetación, Escala 1:250 000, Serie V (Capa Unión), 2011.

Feozem calcárico (Hc) Son suelos que solamente han formado un horizonte A mólico (de color negro y textura migajón arcilloso) y un horizonte B cámbico (de color gris claro con textura franca). La estructura de los dos horizontes es de bloques subangular de tamaño medio, poseen pH ligeramente alcalino con un grado de saturación de bases mayor al 50 %. Presentan riqueza en materia orgánica por lo que ofrecen buenos rendimientos en el desarrollo de actividades agrícolas.

Litosol (I) Suelo con espesor menor de 10 cm que se ubican en geoformas con pendientes pronunciadas (>30 %), sin ninguna capa protectora contra la erosión o sobre materiales litológicos jóvenes, son elementos que original un estado de inestabilidad dando lugar a suelos jóvenes y poco profundos. Cuando estos se forman a partir de materiales calcáreos y sustentan una vegetación de matorral o arbórea como pino y encino, presentan una coloración oscura y cuando el material es ígneo y la vegetación pastizal es de color clara. El pH es ligeramente alcalino o neutro, su contenido de materia orgánica es moderado, no tiene sales solubles y sodio intercambiable y la cantidad de nutrientes es baja. Son de bajo rendimiento cuando se destinan a la agricultura, ganadería o a la silvicultura, por lo tanto las áreas que sustentan estos suelos deben considerarse como zonas de reserva para la fauna y flora.

Fluvisol calcárico (Jc) Es calcáreo al menos en 20 y 30 cm de profundidad; esto es que reacciona al ácido clorhídrico (HCl) en esa parte del suelo. Es de textura arenosa o limosa, de pH alcalino y de bajo contenido de nutrientes así como su Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.). La vocación es agrícola, aunque en algunos casos están limitados por una fase pedregosa o gravosa, pero el principal déficit es el agua.

Tabla 5.5.: Grupos y subgrupos de suelos.

Código	Grupo	Subgrupo	(%)	Almacenamiento potencial de agua (mm)
E	Rendzina	Rendzina (E)	2,03	311
I	Litosol	Litosol (I)	19,56	42
J	Fluvisol	Fluvisol calcárico (Jc)	3,32	718
K	Castañozem	Castañozem hálpico (Kh)	3,02	377
R	Regosol	Regosol calcárico (Rc)	1,54	653
		Regosol éutrico (Re)	4,21	1529
V	Vertisol	Vertisol crómico (Vc)	3,34	717
X	Xerosol	Xerosol hálpico (Xh)	21,32	787

Castañozem hálpico (Kh) Tiene horizonte A mólico, B cámbico con concentraciones de carbonato de calcio, característico de Sierras y Llanuras del Norte.

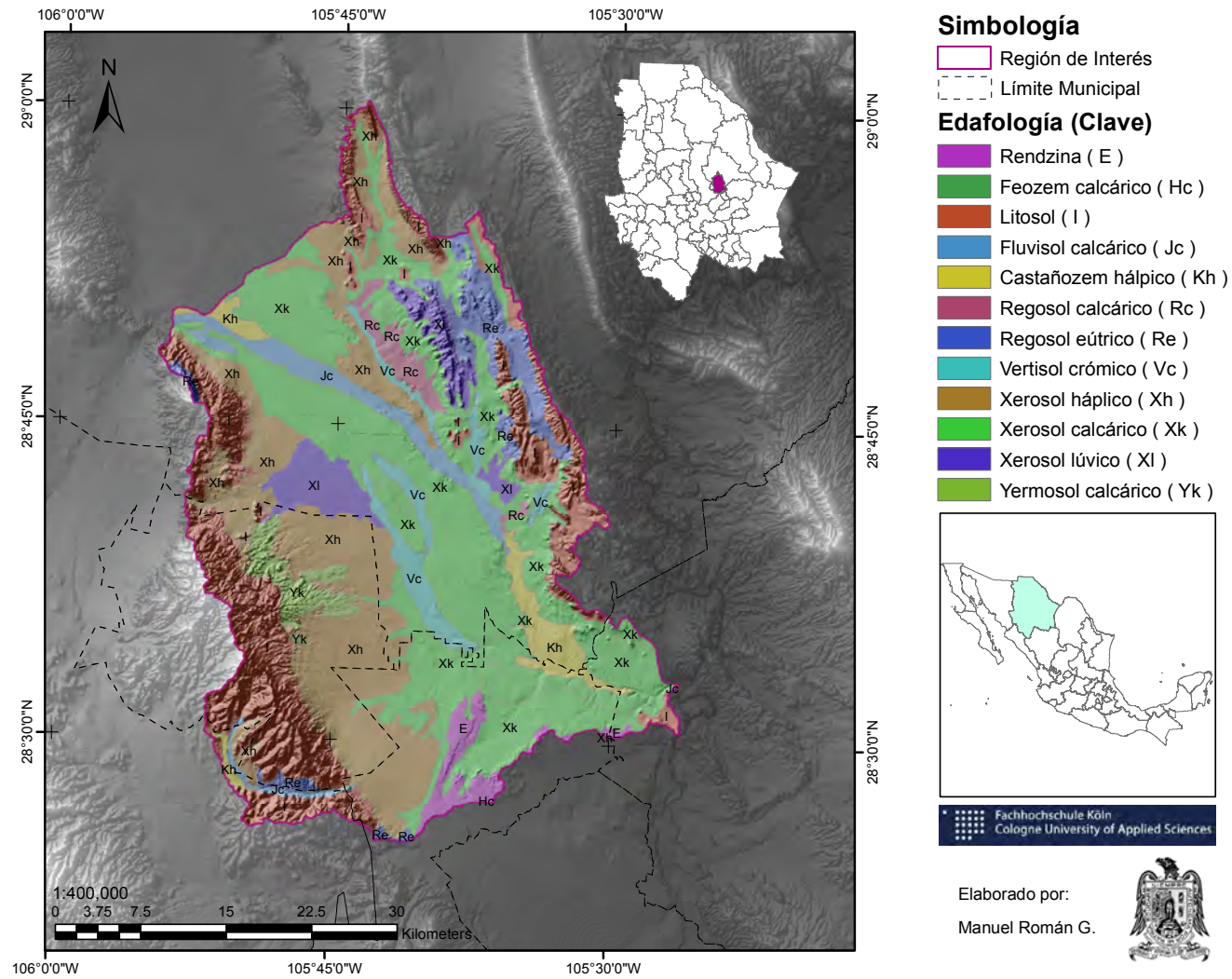


Figura 5.9.: Edafología.

Datos: INEGI, Marco Geoestadístico Nacional, 2010.

INEGI, Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), 2013.

INIFAP-CONABIO, Edafología, Escalas 1:250 000 - 1:1 000 000, 1995.

Regosol calcárico (Rc) El horizonte A y/o C que se presentan en éstos suelos sobreyacen un estrato duro que puede ser roca, petrocálcico y algún otro material. Estos horizontes son el resultado de una lenta interacción entre factores climáticos (ambientes secos), vegetación arbustiva o graminoides, pendientes pronunciadas y materiales calcáreos. Poseen una estructura de bloques subangulares poco desarrollados, coloración clara y textura limosa o arenosa. Presenta un pH alcalino y el porcentaje de saturación de bases es mayor al 50%. El color claro indica poca presencia de materia orgánica, por lo tanto son suelos con niveles bajos de nutrientes y se consideran como no aptos para la agricultura. Preferentemente son suelos que se pueden destinar para actividades pecuarias o forestales.

Regosol éutrico (Re) Es característico de las sierras y llanuras del norte; se forma donde hay condiciones de inestabilidad pero menos severas que el caso del Litosol aunque también se tiene como resultado un pequeño espesor (entre 15 a 25 cm) y un desarrollo ligero. Prosperan donde hay vegetación raquílica como pastizales; agaves o matorrales aportando poca materia orgánica dando como resultado suelos de color claro. Su pH es neutro o ligeramente alcalino con bajo contenido de nutrientes. En ellos se puede practicar la agricultura de temporal o la ganadería con bajos rendimientos por lo que se recomienda considerarlos como áreas de reserva.

Vertisol crómico (Vc) Suelo de color gris y rojo claro que se localiza sobre lomeríos o llanuras aluviales. Sus características químicas y biológicas permiten buenos rendimientos cuando se destina a la agricultura de temporal.

Xerosol háplico (Xh) Posee un color rojo claro o gris claro en el primer horizonte y rojo fuerte en el segundo. Su textura varía de migajón arcilloso a limoso, tiene pH neutro o ligeramente alcalino con saturación de bases mayor al 50% y con bajo contenido de nutrientes. Se dedican a la agricultura o sustentan una vegetación de matorral inerme.

Xerosol cálcico (Xk) Como su nombre lo indica, posee un horizonte cálcico además de presentar un horizonte A de color gris claro y en horizonte B cámbico gypsico. Es de textura franca o migajón limoso, pH alcalino, y presenta 50% de saturación de bases. Se puede practicar la agricultura de temporal pero con bajos rendimientos.

Xerosol lúvico (Xl) En ocasiones presenta un cálcico o gypsico debajo el horizonte B que además es árgico. Tiene un pH alcalino y bajo contenido de materia orgánica, la C.I.C. es alta y el contenido de nutrientes es moderado. Se dedica a la agricultura con rendimientos medios o conserva su vegetación de matorral o de pastizal.

Yermosol cálcico (Yk) En éste suelo se presenta migración de carbonatos de calcio a una profundidad menor de 100 cm por causa de una precipitación baja, además de una vegetación raquítica que da como resultado un suelo profundo y poco desarrollado de color gris claro en el primer horizonte y blanco en el segundo. Posee textura limosa o migajón arcilloso, pH alcalino, saturación de bases mayor a 50%. Es inadecuado para uso agropecuario, sin embargo pueden conservar la vegetación endémica.

5.3. Geología

La superficie representada en la **Figura 5.10²** se encuentra entre las coordenadas geográficas 28° 30' a 28° 45' de latitud norte y 105° 40' a 106° 00' de longitud oeste (903 km²) abarcando la mayor parte de la región de estudio. La información que se presenta es una simplificación de la Carta Geológico-Minera Aquiles Serdán H13-C67 (**Hernández Noriega and González Palma, 2006**).

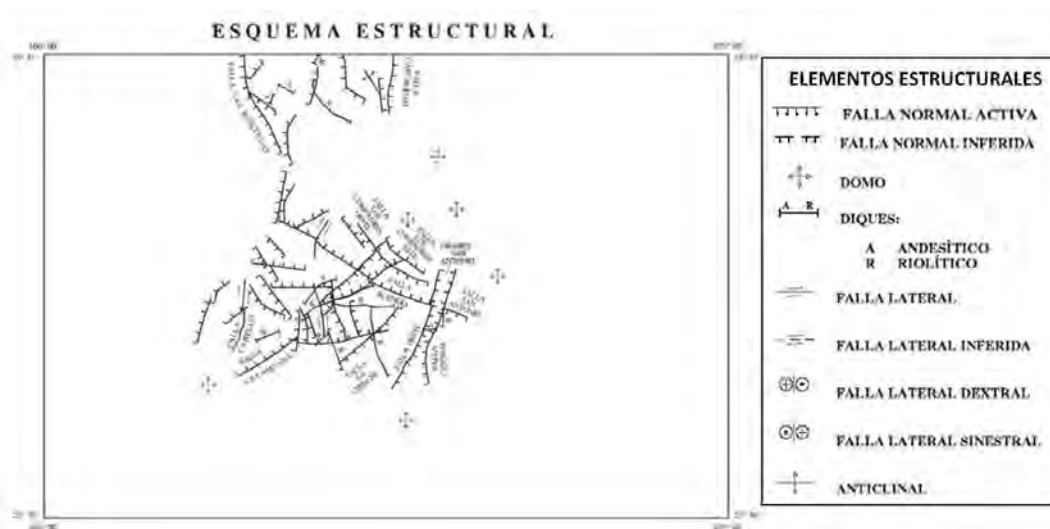


Figura 5.11.: Esquema estructural.

Fuente: Secretaría de Economía, (SE), Servicio Geológico Mexicano (SGM).

Datos: INEGI, Marco Geoestadístico Nacional, 2010.

SGM, Carta Geológico-Minera Aquiles Serdán H13-C67, Chihuahua, escala: 1:50 000, 2006.

²Simplificación de la Carta Geológico-Minera Aquiles Serdán H13-C67. Para mayores detalles consultar la versión digital de dicha carta (formato PDF), disponible para su descarga en la siguiente dirección del SGM: http://mapserver.sgm.gob.mx/cartas_impresas/productos/cartas/cartas50/geologia50/numcarta50.html

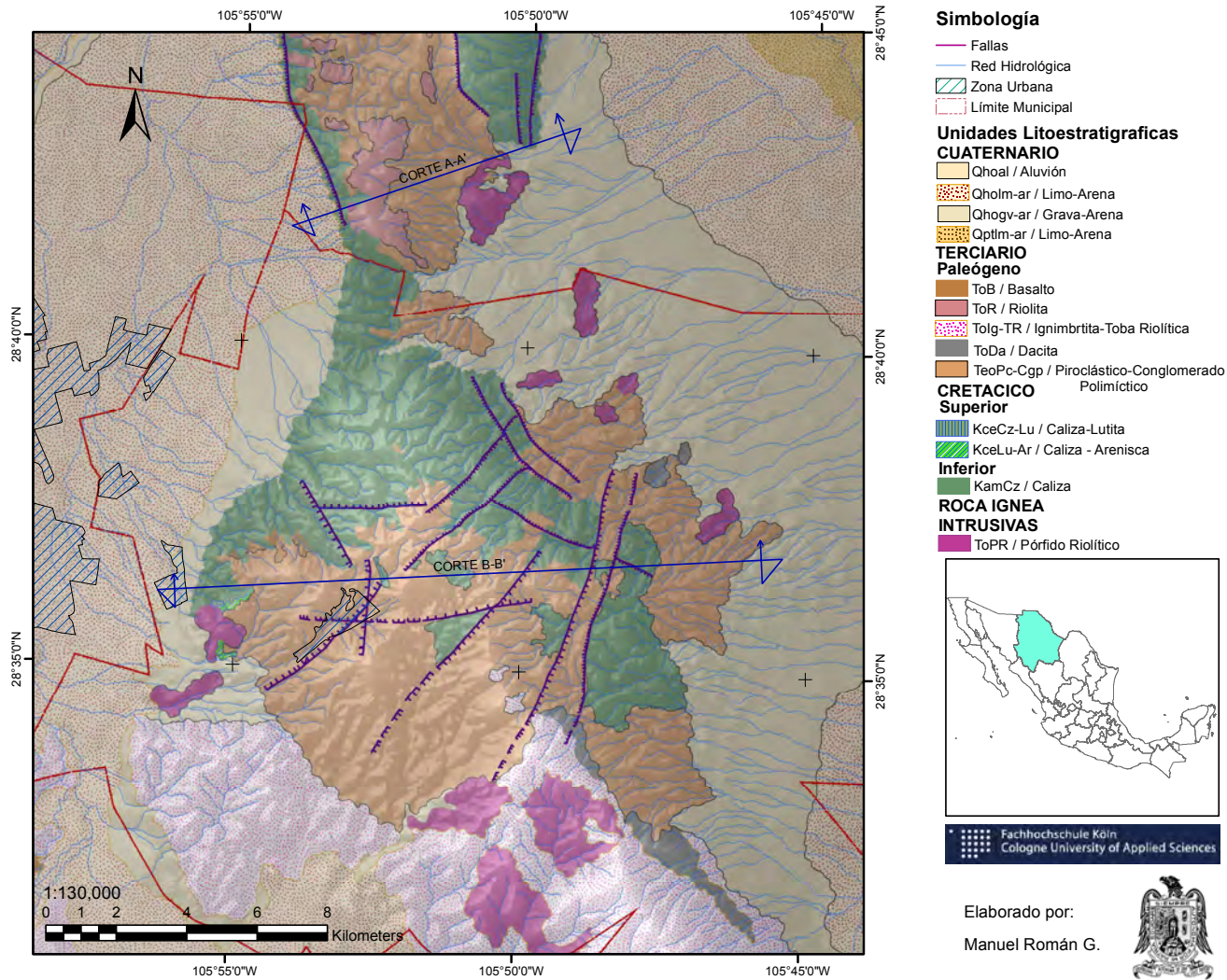


Figura 5.10.: Carta geológico-Minera Aquiles Serdán (simplificada).

Datos: INEGI, Marco Geoestadístico Nacional, 2010.

INEGI, Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), 2013.

INEGI, Red Hidrográfica, Escala 1:50 000 Edición 2.0, 2010.

SGM, Carta Geológico-Minera Aquiles Serdán H13-C67, Chihuahua, Escala 1:50 000, 2006.

5.3.1. Estratigrafía general

Los estratos más antiguos de ésta superficie se encuentran en el centro, centro-oeste y centro-norte del área comprendida entre las coordenadas mencionadas anteriormente. La estructura litoestratigráfica se compone de la siguiente manera:

Cretácico

Inferior Unidad estratigráfica base conformada por la Formación Finlay (*KamCz*) constituida por caliza de espesor medio a grueso, con excesiva presencia de pedernal gris azul, blanco lechoso, negro y café, en forma de nódulos y capas, presentando además un estado débil a moderado de silicificación.

Superior Enseguida, se encuentra la Formación Del Río (*KceLu-Ar*) en forma de estrato delgado conformado por lutita calcárea muy frágil y arenisca acompañada de cementante calcáreo. La Formación Buda (*KceCz-Lu*) cubre de manera concordante y transicional a la anterior, ésta formación se constituye de una capa delgada de caliza arcillosa en donde se observan bioclástonos y concreciones de hematita.

Terciario (Paleógeno)

Eoceno Durante la temporada tardía del periodo, se encuentra un estrato piroclástico-conglomerado polimíctico (*TeoPc-Cgp*) que en la unidad base presenta estratos aislados de limolita, caliza y arenisca, seguida de una robusta capa de conglomerado polimíctico, entremezclado con toba riolítica y andesítica. Ésta unidad base sobreyace a las formaciones *KamCz* y *KceCz-Lu*, de forma discordante.

Oligoceno Se constituye por erupciones de dacita (*ToDa*) prosiguiendo una unidad de ignimbrita-toba riolítica (*ToIg-TR*) en forma discordante conformada en su base por erupciones de flujos rasantes y toba de ceniza e ignimbrita en la cima. A continuación, se observan flujos de riolita (*ToR*) rosa a gris, de forma densa y masiva. Por último existe un estrato denso y abundante, de basalto (*ToB*) gris oscuro, finalizando así con el vulcanismo.

Los cuerpos plutónicos ígneos se conforman por pórfido riolítico (*ToPR*) y diques riolíticos y andesíticos. Éste cuerpo presenta configuración de cebolla con zonas de vitrífico bandeado, esferulitas, litofisas, brecha de rompimiento, además de flujo bandeado y vertical con nichos esporádicos de gas.

Cuaternario

Éste periodo está representado por la unidad Qptlm-ar (limo-arena) en la época del Pleistoceno y las unidades Qhogv-ar (grava-arena), Qholm-ar (limo-arena), y finalmente, Qhoal (aluvión) en la época del Holoceno.

5.3.2. Estructura geológica

En la región existen dos sistemas de deformación: dúctil-frágil y frágil. El primer sistema está compuesto por el anticlinal San Ignacio y la falla inversa La Cabalgadura La Pedrera (que se encuentra fuera del área de estudio).

De acuerdo a la información de la Comisión Nacional del Agua ([CONAGUA, 2008](#)), existen tres anticlinales de importancia: La Nopalera, Santo Domingo y San Diego, que se suman a los sistemas ya mencionados. Los sistemas de fallas y fracturas ejercieron una considerable influencia dentro del control de la mineralización en la serranía que se caracteriza por contener cuerpos minerales con cantidades variables de sulfuros de Zinc (Zn), Plomo (Pb), Cobre (Cu), y Hierro (Fe). Los metales más abundantes que se presentan en los cuerpos de minerales son: pirita, marcasita, esfalerita, galena, pirrotita, calcopirita, arsenopirita, pirargirita, magnetita, casiterita, hematita, carbonatos de Cu y Fe, cerucita y smithsonita ([Windels et al., 2003](#)).

En seguida se preseescasesnta una breve descripción de los sistemas de deformación.

Anticlinal San Ignacio Consiste en un anticlinal asimétrico con orientación NW-SE, localizado en la sierra del mismo nombre. Posee una longitud de 3.5 km, está constituido por la Formación Finlay y fue producto de la orogenia Laramide.

Falla inversa La cabalgadura La Pedrera Pone en contacto a la Formación Del Río sobre la Formación Finlay. Posee rumbo N 85° E con inclinación 22° al SE y una dirección de desplazamiento al NW. Su longitud es igual a 1.2 km.

Anticlinal La Nopalera Es de tipo asimétrico ubicado en la sierra el Cuervo al noroeste de la región y posee una longitud de 8 km. Tiene orientación compuesta, ya que la parte sur tiene rumbo NW-SE y en la parte norte existe una flexión con rumbo N-S.

Anticlinal Santo Domingo Es una estructura asimétrica con rumbo entre 5° - 7° hacia el N. Posee una inclinación de 7° y entre 8°-10° hacia el este y al oeste, respectivamente. En la sierra Santo Domingo se observan un gran número de fallas normales y laterales con rumbos NW-SE, NE-SW, E-W y N-S.

Anticlinal San Diego Posee una longitud igual a 6 km y orientación NW. El anticlinal afecta a las formaciones Loma de Plata, Del Río y Buda.

La deformación frágil está integrada por cuatro sistemas consistentes en fallas de tipo normal que presentan desplazamientos laterales.

Sistema NW-SE Es el primero y el más antiguo, conformando el pilar tectónico Bustillos. Está constituido por fallas normales de longitud variable (entre 1.3 km a 8.5 km) y planos de falla entre N 25° a 50° W.

Sistema NE-SW Es el segundo sistema y afecta al primero. Conforman las fosas tectónicas La Central y San Antonio, siendo que algunas de estas fallas tuvieron influencia directa sobre el emplazamiento de la mineralización.

Sistema N-S Tercer sistema consistente de fallas laterales normales. Tiene un efecto de desplazamiento principalmente sobre el segundo sistema NE-SW y generó cierto control sobre los cuerpos minerales que se observan en la zona Poniente.

Sistema E-W El último y por ende el más joven, desplaza a todos los sistemas anteriores.

5.4. Hidrología

5.4.1. Región hidrológica

El área de interés se encuentra en la Región Hidrológica Administrativa (RHA) VI Río Bravo, que cuenta con una superficie continental de 379 552 km² (siendo de ésta manera la RHA más extensa de la República Mexicana) y dentro de la Región Hidrológica (RH) 24 Bravo-Conchos (CONAGUA, 2013) (Figura 5.12). En la Tabla 5.6 se resume la RHA, RH, cuenca y subcuenca en donde se encuentra el área de estudio.

Tabla 5.6.: Región hidrológica.

RHA	RH	CUENCA	SUBCUENCA HIDROGRÁFICA	MICROCUENCAS*
VI. Río Bravo	RH24. Bravo-Conchos	RH24K. R. Conchos - P. El Granero	RH24Kc. R. Chuvíscar	W60, W70, W80, W90 y W100

* Nombre propuesto debido a dificultades de interpretación de la información presentada en el sitio oficial de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) <http://www.semarnat.gob.mx/sigeia>.

5.4.2. Red hidrológica

La red de hidrológica de la región se conforma por arroyos intermitentes que escurren hacia los valles Dolores y Tabalaopa alimentando el cauce del río Chuvíscar, que a su vez desemboca en el río Conchos; convirtiéndose de esta manera en afluentes del río Bravo (Windels et al., 2003).

Generalmente los cauces se mantienen secos, salvo en algunas ocasiones por causa de eventos extraordinarios en la temporada de lluvias y la corriente del río Chuvíscar se mantiene constante gracias a la descarga de aguas residuales provenientes de la zona urbana de Chihuahua y Aldama. Las corrientes están bien definidas en los terrenos elevados pero se desvanecen conforme llegan a la planicie. En la zona se puede identificar la existencia de patrones de drenaje dendrítico que se relaciona con áreas de relativa uniformidad en la estructura geológica y patrón de drenaje de tipo paralelo en las zonas de la serranía, lo cual indica la presencia de altas pendientes en el terreno (Pando Galván, 1982).

En la **Figura 5.13** se aprecia la red hidrológica (de color rojo) y algunas de las corrientes más importantes de la región (de color azul), las cuales han generado un estado avanzado de erosión.

5.5. Hidrogeología

En la **Figura 5.14** se puede visualizar la delimitación del acuífero (línea azul) que corresponde a la región de estudio. El acuífero posee la clave 0836 y se identifica bajo el nombre Aldama - San Diego. La extensión superficial del acuífero es igual a 1 620,29 km². Así mismo, en la **Figura 5.14** se aprecia la delimitación de la región de interés (línea púrpura) con un área superficial que supera a la superficie del acuífero por 36,10 km². Además de la aproximación entre extensiones territoriales, en éste caso existe la ventaja de que ambos sistemas poseen prácticamente la misma ubicación geográfica, lo cual mejora las condiciones de análisis de interacción entre agua superficial y subterránea.

De acuerdo a las condiciones de sobreposición de superficies, se puede asumir que el total del volumen de agua que es captada por la cuenca hidrológica, y que además logra infiltrarse en el suelo, forma parte de la recarga vertical del acuífero.

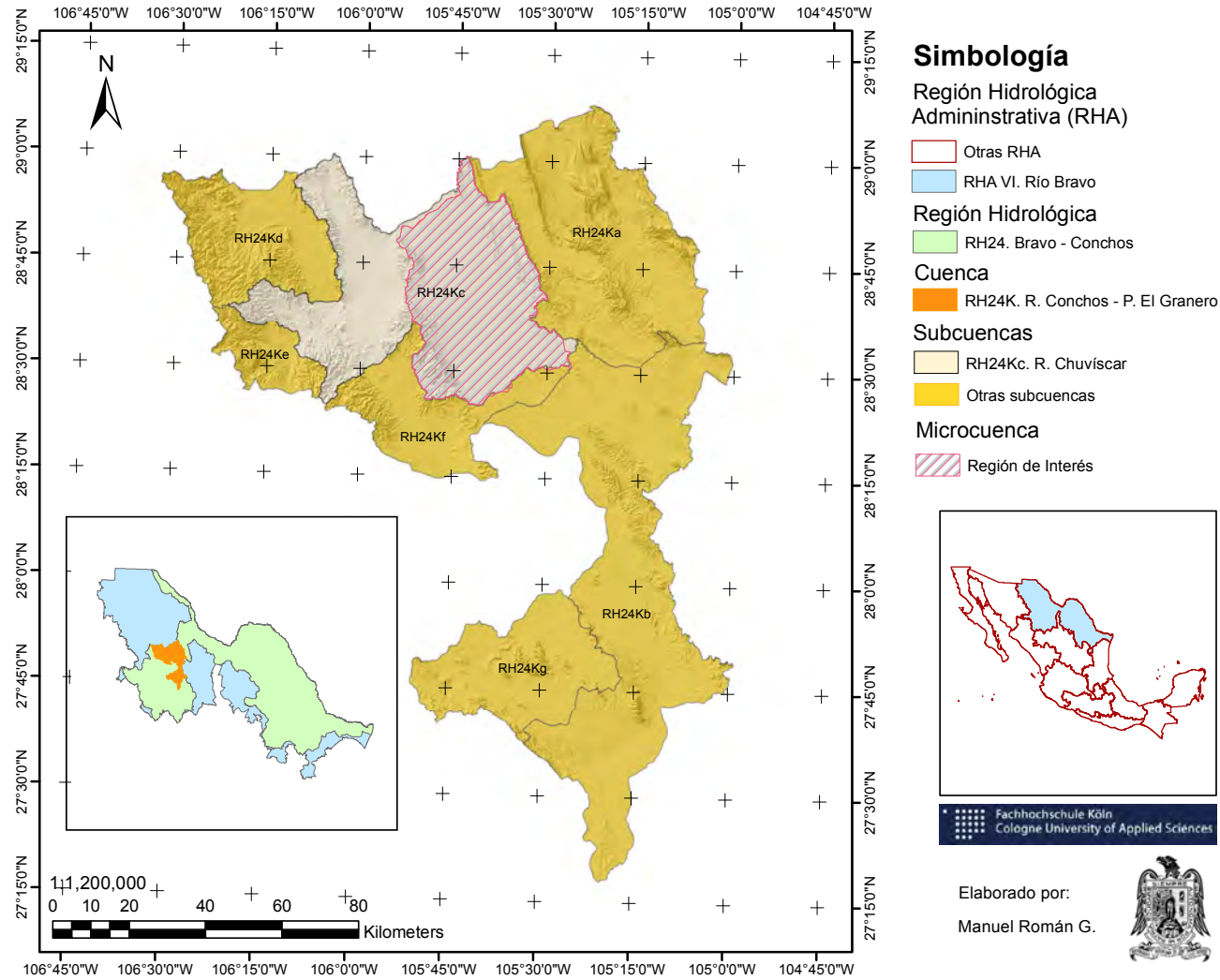


Figura 5.12.: División hidrológica.

Datos: CONAGUA, Regiones Hidrológicas Administrativas (Organismos de Cuencas), escala 1:250 000, 2007.
 INEGI-INE-CONAGUA, Cuencas Hidrográficas de México, escala 1:250 000, 2007.
 CNA, Cuencas Hidrológicas, escala 1:250 000, 1998.
 INEGI, Subcuenca Hidrográfica, escala 1:250 000, 2010.

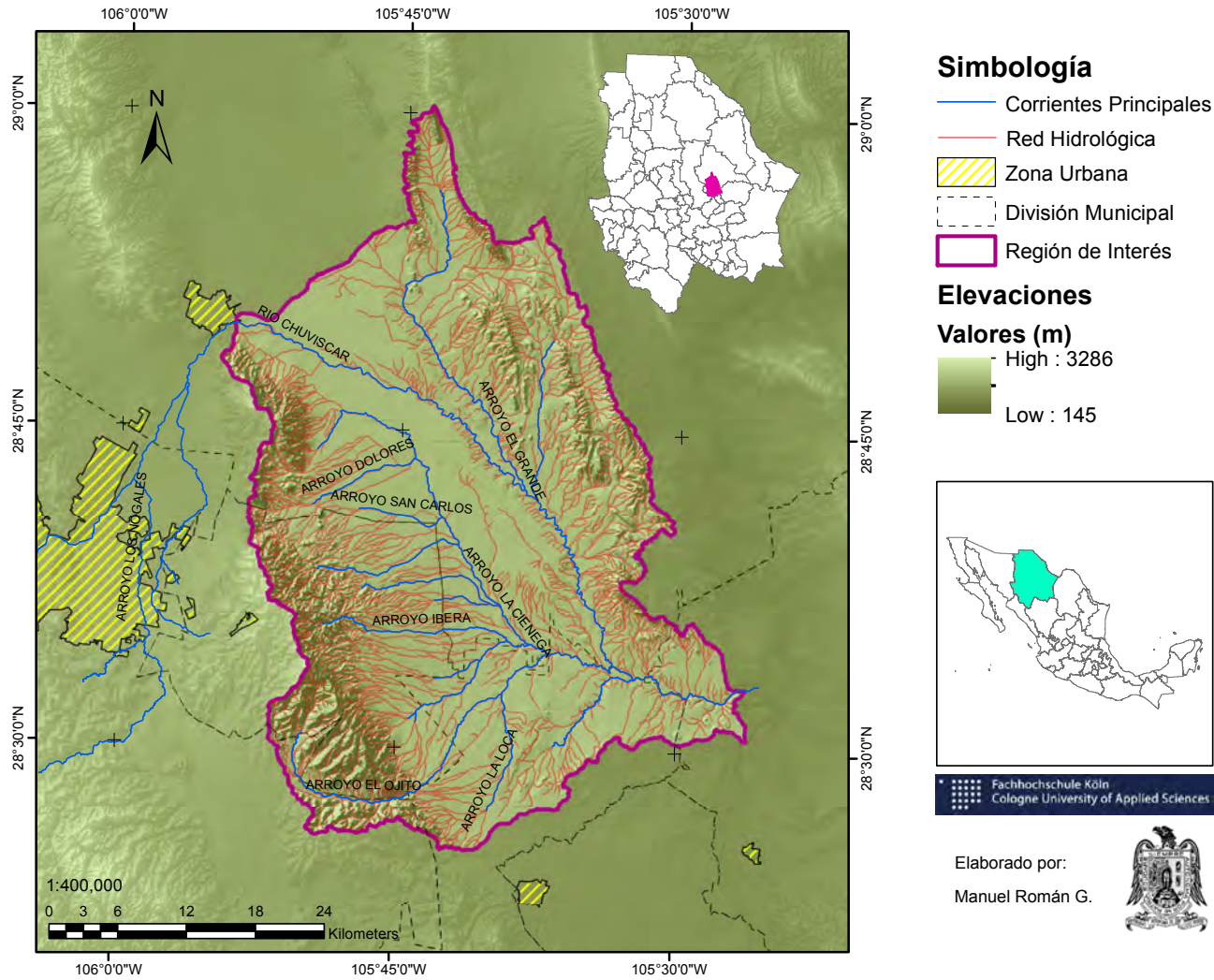


Figura 5.13.: Red hidrológica.

Datos: INEGI, Marco Geoestadístico Nacional, 2010.
 INEGI, Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), 2013.
 INEGI, Red Hidrográfica, Escala 1:50 000 Edición 2.0, 2010.

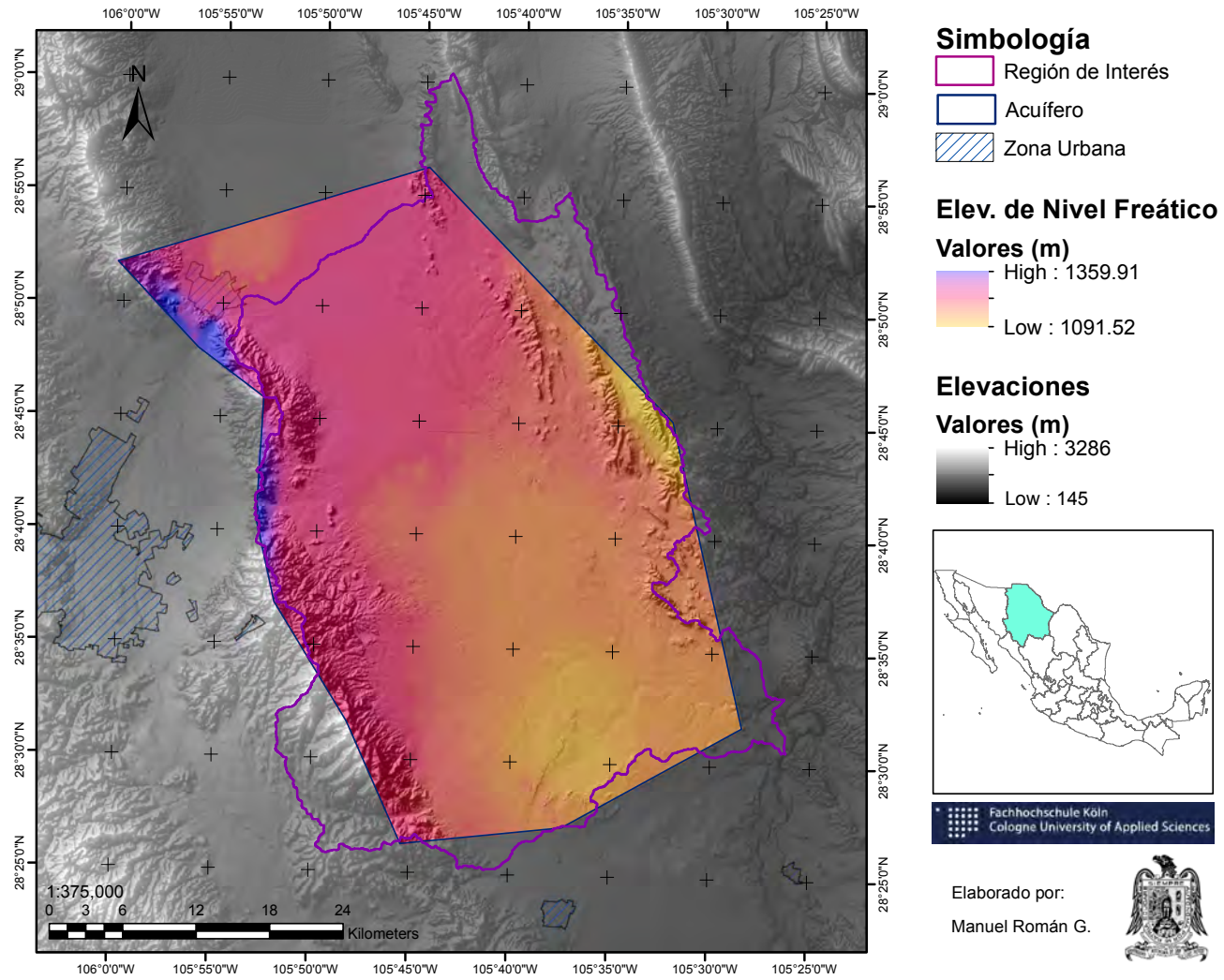


Figura 5.14.: Acuífero Aldama-San Diego 0836.

Datos: INEGI, Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), 2013.
INEGI, Red Hidrográfica, Escala 1:50 000 Edición 2.0, 2010.

6. RESULTADOS

6.1. Diagramas ombrotérmicos

Los diagramas ombrotérmicos contruidos a partir de las normales climatológicas para el periodo 1951 – 2010 (60 años), **Figura 6.1** y **Figura 6.2**, indican que existe una tendencia del incremento de la temperatura media mensual ($20^{\circ}\text{C} < \text{Temp.} < 30^{\circ}\text{C}$) entre los meses de abril y octubre (periodo cálido), y para el resto de los meses la temperatura media mensual, adquiere valores entre 9 y 20°C (periodo frío).

En relación a los valores de la precipitación media mensual, se puede apreciar que empiezan a incrementarse a partir del mes de abril alcanzando valores máximos entre los meses de julio, agosto y septiembre ($60 \text{ mm} < \text{Prec.} < 120 \text{ mm}$) y posteriormente presenta una disminución, registrándose el valor más bajo de la precipitación en el mes de noviembre. A partir de noviembre hasta el mes de abril, la precipitación se mantiene prácticamente constante ($< 15 \text{ mm}$).

Lo anterior da origen a que en la región se presenten generalmente tres diferentes temporadas a lo largo del año:

Temporada *seca - fría* : duración aproximada de seis meses comenzando a partir del mes de noviembre (fin de la temporada húmeda) hasta el mes de abril (comienzo de la temporada húmeda).

Temporada *relativamente húmeda – cálida* : se compone de tres meses divididos en dos periodos. El primer periodo se presenta en mayo y junio (meses que anteceden la temporada húmeda - cálida) y el segundo periodo ocurre durante todo el mes de octubre (mes posterior a la temporada húmeda - cálida).

Temporada *húmeda – cálida* : consta de los tres meses más lluviosos que también presentan algunas de las temperaturas más altas. Corresponden a los meses de julio, agosto y septiembre.

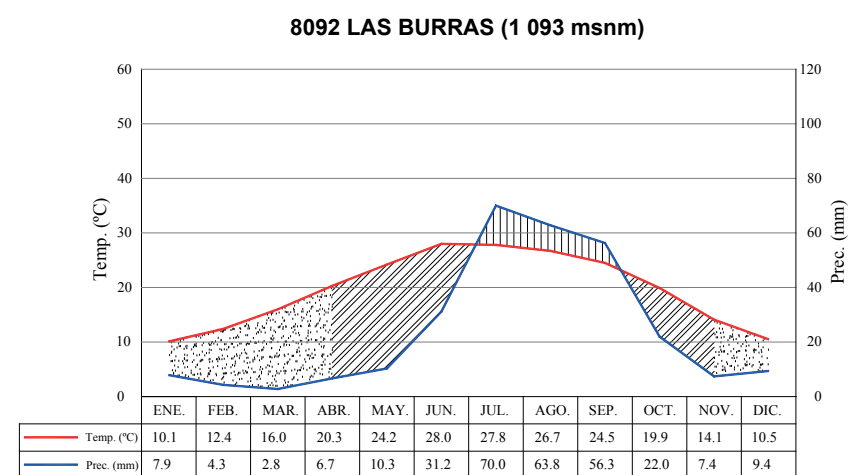
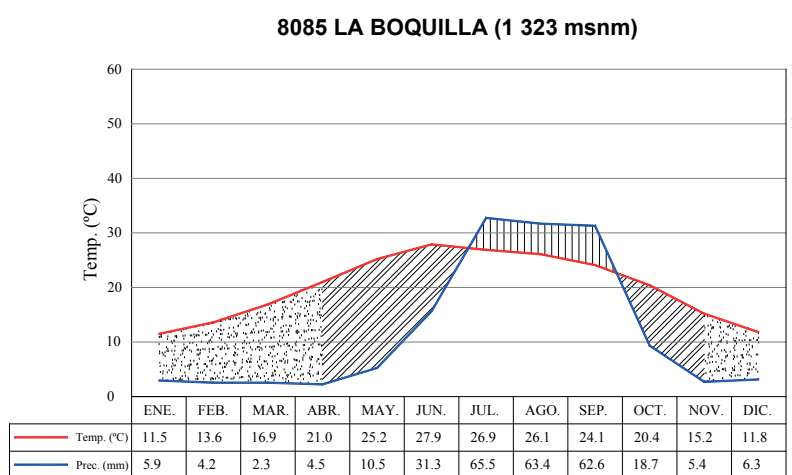
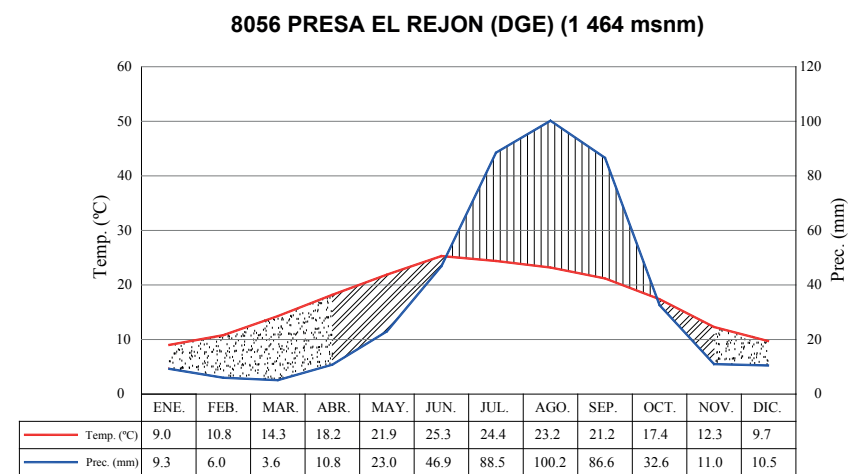
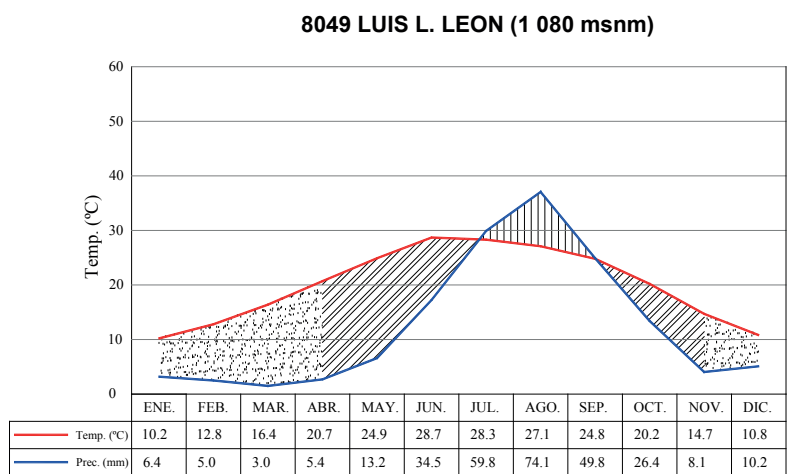
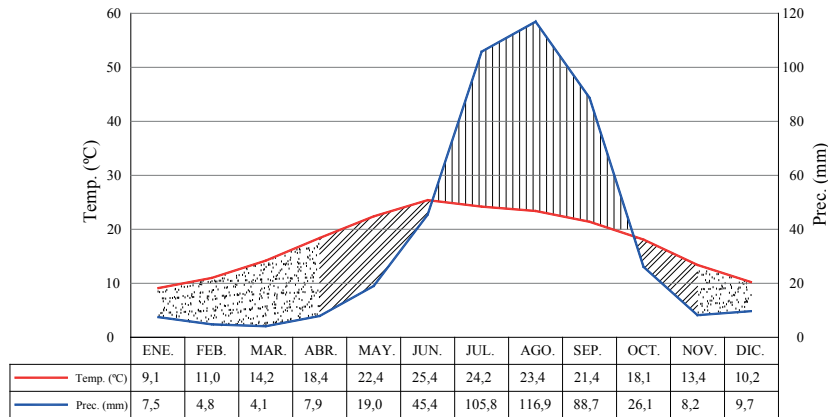


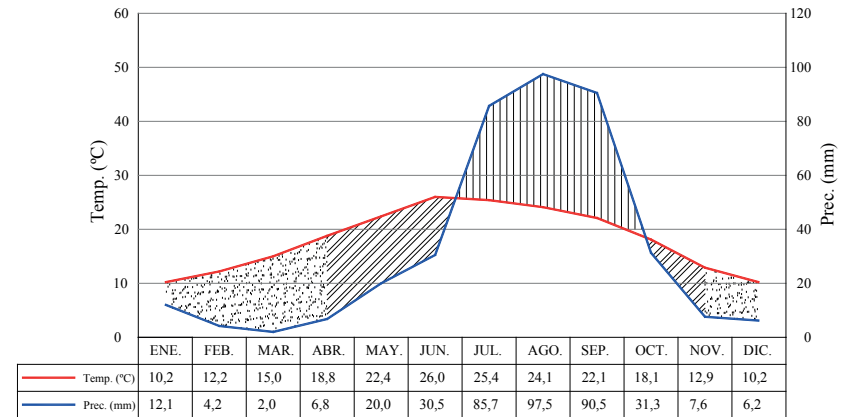
Figura 6.1.: Diagramas ombrotérmicos de las estaciones.

En el título de los diagramas ombrotérmicos se indica la clave de la EMA seguida del nombre y la altitud (metros sobre el nivel mar). Las precipitaciones medias mensuales (mm) están representadas en color azul y la curva de temperaturas medias mensuales (°C) en color rojo. El área punteada representa el periodo *seco-frío*; el área con líneas oblicuas representa el periodo *relativamente húmedo-cálido*; y el área con líneas verticales representa al periodo *húmedo-cálido*. Datos: SMN (2010); CONAGUA (2010).

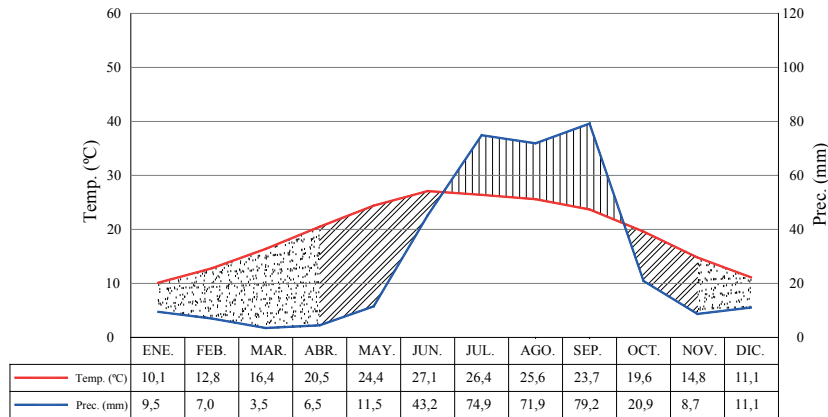
8113 PRESA CHIHUAHUA (SMN) (1 532 msnm)



8147 UNIVERSIDAD (1 350 msnm)



8162 CAMARGO (DGE) (1 250 msnm)



8185 PRESA CHIHUAHUA (DGE) (1 548 msnm)

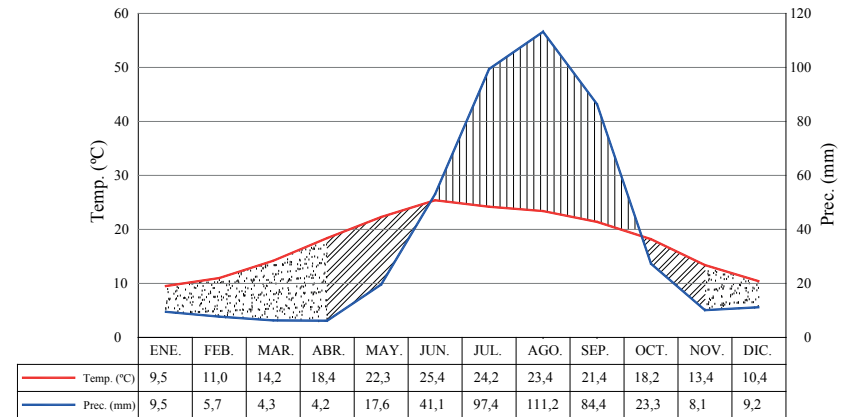


Figura 6.2.: Diagramas ombrotérmicos de las estaciones.

En el título de los diagramas ombrotérmicos se indica la clave de la EMA seguida del nombre y la altitud (metros sobre el nivel mar). Las precipitaciones medias mensuales (mm) están representadas en color azul y la curva de temperaturas medias mensuales (°C) en color rojo. El área punteada representa el periodo *seco-frío*; el área con líneas oblicuas representa el periodo *relativamente húmedo-cálido*; y el área con líneas verticales representa al periodo *húmedo-cálido*. Datos: SMN (2010); CONAGUA (2010).

6.2. Caracterización morfológica de microcuencas (MC)

Los resultados del análisis morfométrico de las MC [Tabla 6.1](#), indican que la parte central de la región de estudio ha sufrido alteraciones en la red de drenaje en comparación con el resto del área, debido muy probablemente por la presencia de distritos de riego. A pesar de que el factor de descarga sugiere que las pendientes de los cauces principales son poco pronunciadas, las figuras correspondientes a los perfiles demuestran que la pendiente y el grado de erosión es considerable al inicio del escurrimiento (parte alta del terreno) disminuyendo gradualmente conforme se llega a la parte central del valle, formando de ésta manera un sistema con corrientes de gran longitud muy separadas unas de otras que se desarrollan principalmente en terreno plano.

Los valores de la textura de la red de drenaje reflejan que se trata de una red de textura muy gruesa ($R_t < 2$) lo cual involucra un amplio espaciamiento entre las líneas de drenaje y concuerda con los resultados de la frecuencia y densidad de las corrientes. La textura del drenaje se relaciona con diferentes factores naturales como el clima, precipitación, vegetación, tipos de suelo y roca, etc., y generalmente se observa que la red de drenaje es mayor cuando el suelo es poco permeable ([Parveen et al., 2012](#)). Respecto al factor de forma, encontramos MC ovaladas (W70 y W80) y alargadas (W60, W90 y W100) que poseen periodo prolongados para el desalojo de los escurrimientos.

Tabla 6.1.: Parámetros morfológicos de la región de estudio en el municipio de Aquiles Serdán, Chihuahua.

ID	Nombre	Orden mayor de corrientes	Perímetro (km)	Área (km ²)	Orden de corrientes (Nu)					Long. de la corriente en km (Lu)				
					I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
1	W60	III	227,69	679,54	96	53	25	17	0	204,53	100,63	50,60	25,02	0,00
2	W70	II	112,10	395,04	63	39	3	20	0	164,64	108,09	2,23	25,76	0,00
3	W80	II	98,06	268,46	39	25	7	6	0	116,83	88,18	8,84	5,30	0,00
4	W90	III	92,63	145,32	21	6	10	1	6	57,04	10,48	16,14	1,02	8,72
5	W100	IV	102,77	171,62	28	11	5	0	13	44,60	16,61	8,39	0,00	13,85

ID	Nombre	Longitud de la cuenca en km (Lb)	Long. promedio de la corriente en km (Lsm)					Factor de bifurcación (Rb)				Factor de descarga (Rh)	Densidad de drenaje (RD)
			I	II	III	IV	V	I/II	II/III	III/IV	IV/V		
1	W60	54,41	2,13	1,90	2,02	1,47	0,00	1,81	2,12	1,47	0,00	0,01	0,56
2	W70	31,66	2,61	2,77	0,74	1,29	0,00	1,62	13,00	0,15	0,00	0,02	0,76
3	W80	25,32	3,00	3,53	1,26	0,88	0,00	1,56	3,57	1,17	0,00	0,04	0,82
4	W90	24,99	2,72	1,75	1,61	1,02	1,45	3,50	0,60	10,00	0,17	0,02	0,64
5	W100	23,90	1,59	1,51	1,68	0,00	1,07	2,55	2,20	0,00	0,00	0,01	0,49

ID	Nombre	Frecuencia de corrientes (Fs)	Textura de la red (Rt)	Long. máx. del cauce en km (L)	Long. desde el centro en km (Lc)	Pendiente del cauce principal (Sc)	Pendiente media de la cuenca (Sb)	Factor de elongación (Re)
1	W60	0,28	0,84	62,83	32,40	0,0104	6,10	0,54
2	W70	0,32	1,12	42,67	18,18	0,0181	7,61	0,71
3	W80	0,29	0,79	44,19	44,19	0,0208	18,95	0,73
4	W90	0,30	0,48	33,07	16,03	0,0131	2,61	0,54
5	W100	0,33	0,55	33,36	16,50	0,0043	2,57	0,62

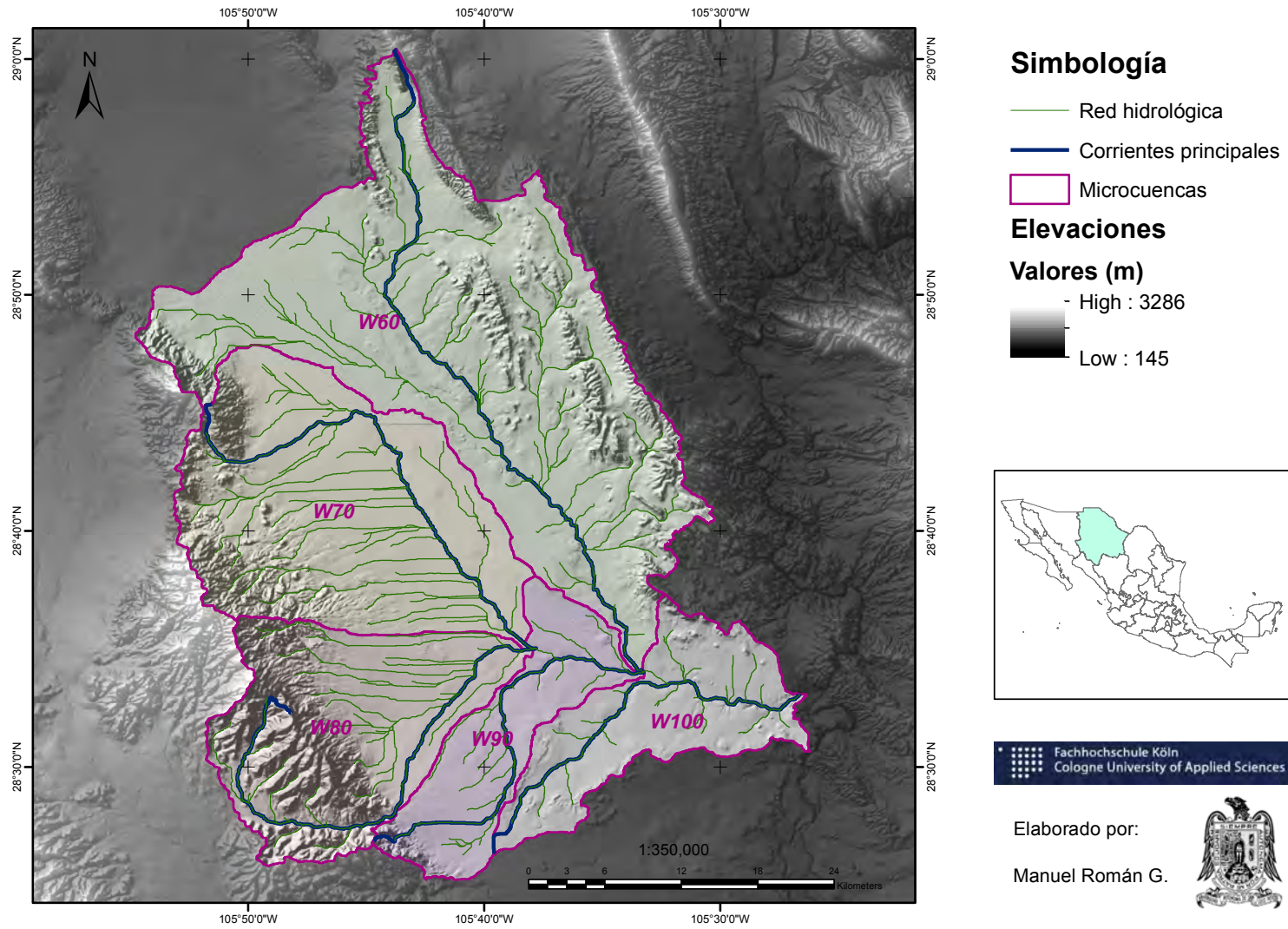


Figura 6.3.: Red de drenaje principal.

Datos: INEGI, Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), 2013.

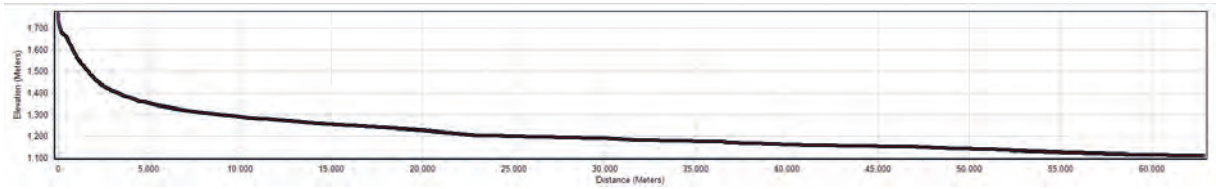


Figura 6.4.: Perfil del cauce principal de la microcuenca W60.

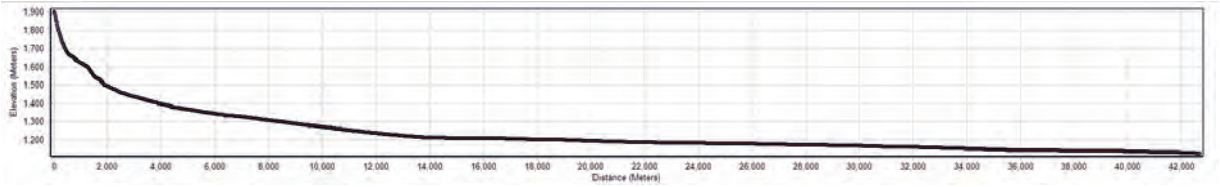


Figura 6.5.: Perfil del cauce principal de la microcuenca W70.

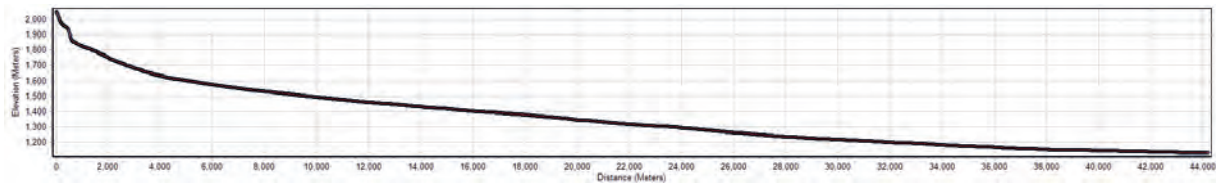


Figura 6.6.: Perfil del cauce principal de la microcuenca W80.

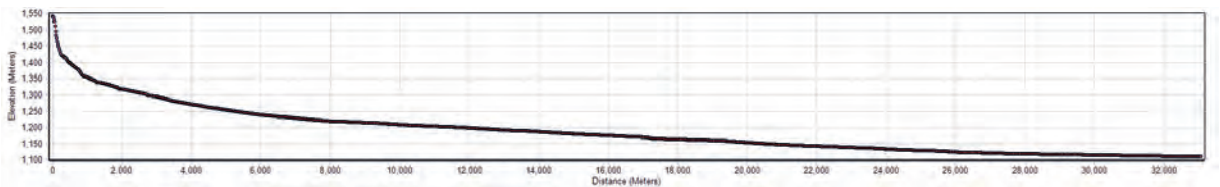


Figura 6.7.: Perfil del cauce principal de la microcuenca W90.

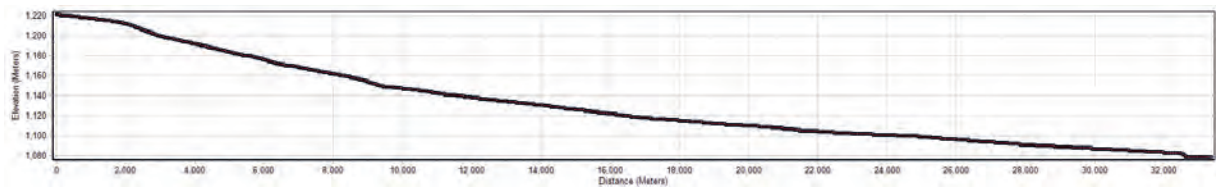


Figura 6.8.: Perfil del cauce principal de la microcuenca W100.

6.3. Balance hídrico

6.3.1. Balance de aguas superficiales

A continuación se muestran la distribución espacial de los componentes del balance hídrico superficial en función de la edafología del área de estudio, comenzando por la representación del número de curva, CN (Figura 6.9); retención máxima, S (Figura 6.10); precipitación, P (Figura 6.11); y escorrentía superficial, R (Figura 6.12).

La representación espacial de la P y la R , demuestra que estos dos componentes del balance hídrico presentan valores moderadamente altos en la zona de la serranía y van decreciendo a medida que se avanza hacia la parte de la planicie. Sin embargo; en una zona de la parte central del valle existe suelo del subgrupo *Vertisol crómico* que posee altas concentraciones de arcilla, lo cual representa un alto potencial para el almacenamiento del agua pero también baja permeabilidad y grandes volúmenes de escorrentía superficial cuando el suelo se encuentra en estado de saturación.

El resultado del comportamiento de la P y la R , puede observarse con mayor claridad en la representación espacial de la precipitación efectiva, P_{EFEC} (Figura 6.13), que es la cantidad de agua que logra infiltrarse en el terreno.

Los mayores volúmenes de infiltración (261,48 - 331,56 mm) se presentan en el terreno bajo ubicado al oriente de la sierra Santo Domingo y en una franja que coincide con gran parte del cauce del río Chuvíscar. En el resto de la superficie de la cuenca hidrológica se observan zonas con infiltraciones bajas a moderadas (135,6 - 255,24 mm) con parches intermedios de mayor infiltración.

Al contrastar la información de la P_{EFEC} con los valores de ETA , se hace notar que la zona a lo largo del cauce del río Chuvíscar registra tanto una fuerte infiltración (273,95 - 375,91 mm) como evapotransporación (301,29 - 379,87 mm). El tipo de suelo de ésta área en particular, corresponde al subgrupo *Fluvisol calcárico (Jc)* que es recomendable para el uso agrícola, pero a la vez está limitado por una capa de material calcáreo endurecido a profundidades cercanas a la superficie (entre 20 a 50 cm), siendo el agua el principal déficit del que sufren (INE, 1989). Para lo demás del territorio, se observan valores de infiltración entre 135,60 y 261,48 mm, y de evapotranspiración entre 135,72 - 274,04 mm, que se consideran volúmenes ente bajos a moderados, con excepción de un área en la parte NE de la cuenca y otras pequeñas zonas al W y S, donde encuentra suelo del subgrupo *Regosol éutrico (Re)* de pequeño espesor y desarrollado en terrenos inestables. Ésta área posee el segundo valor más alto de la evapotranspiración (274,04 a 301,46 mm) y que en el resultado del balance hídrico registra las mayores pérdidas del recurso hídrico (-26,54 a -33,20 mm).

Finalmente, el balance hídrico superficial (Figura 6.15) demuestra la presencia de pérdidas en el almacenamiento del agua en el acuífero, lo que a su vez se traduce en una disminución del nivel

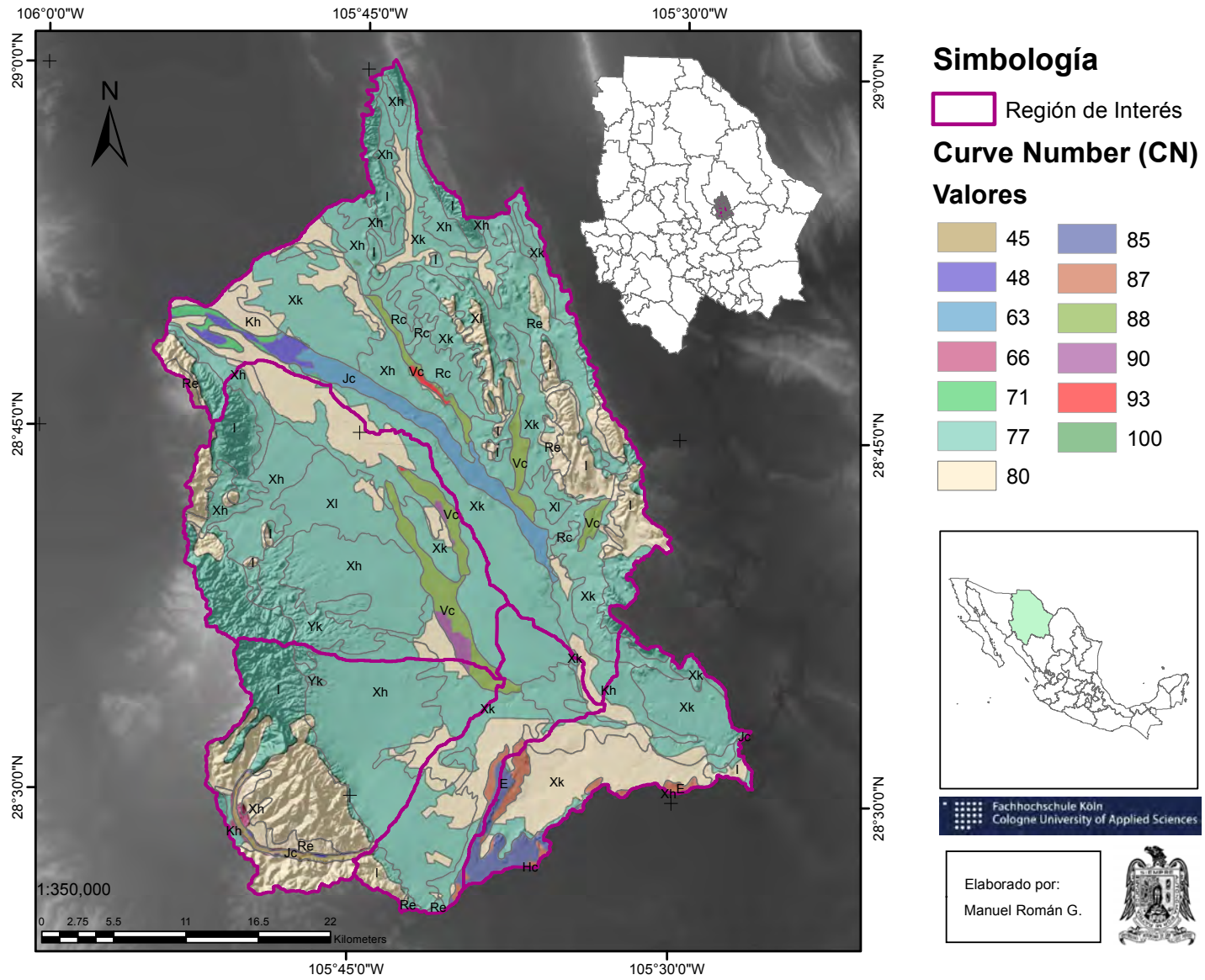


Figura 6.9.: Distribución espacial del número de curva (CN).

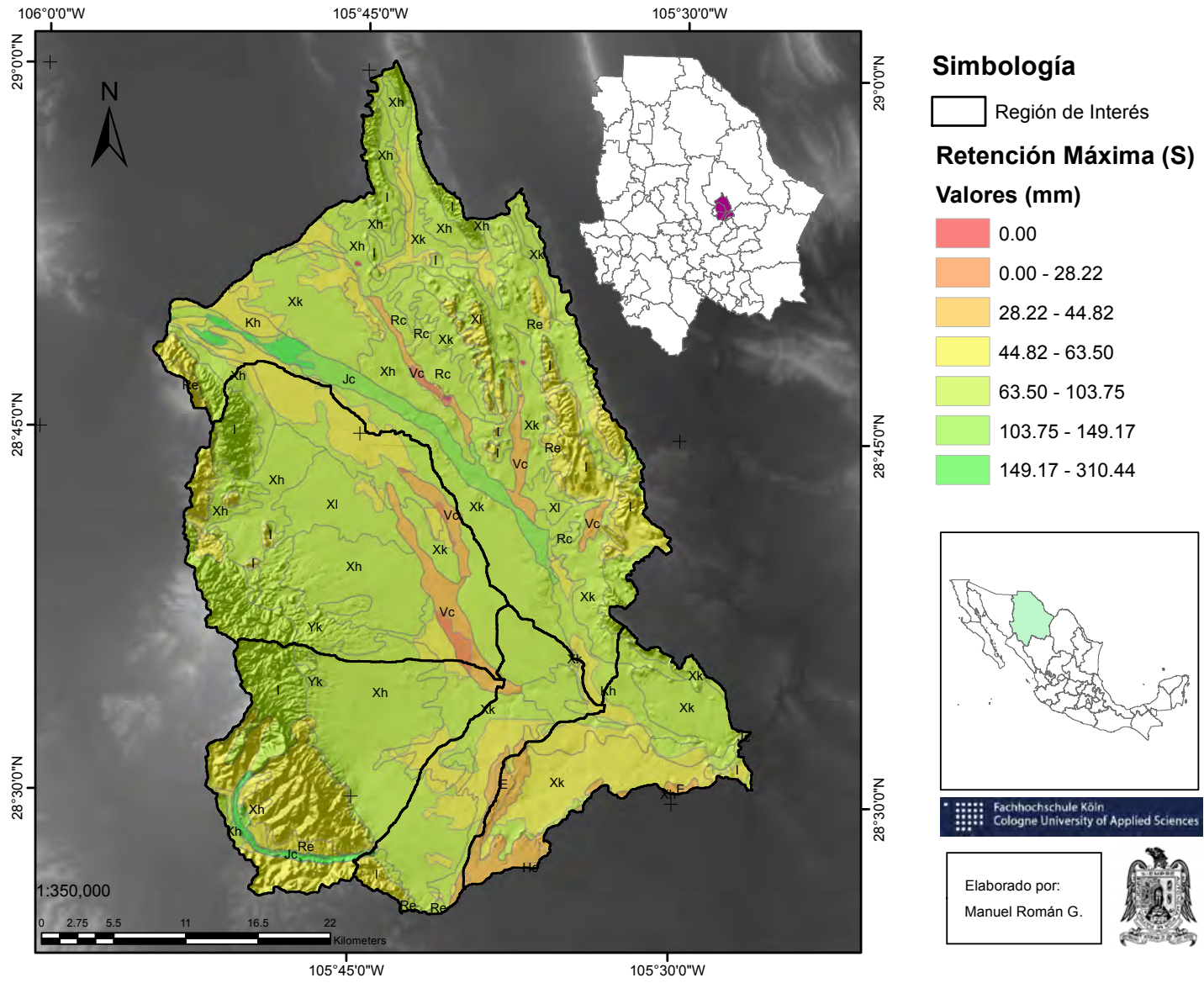


Figura 6.10.: Distribución espacial de la retención máxima (S).

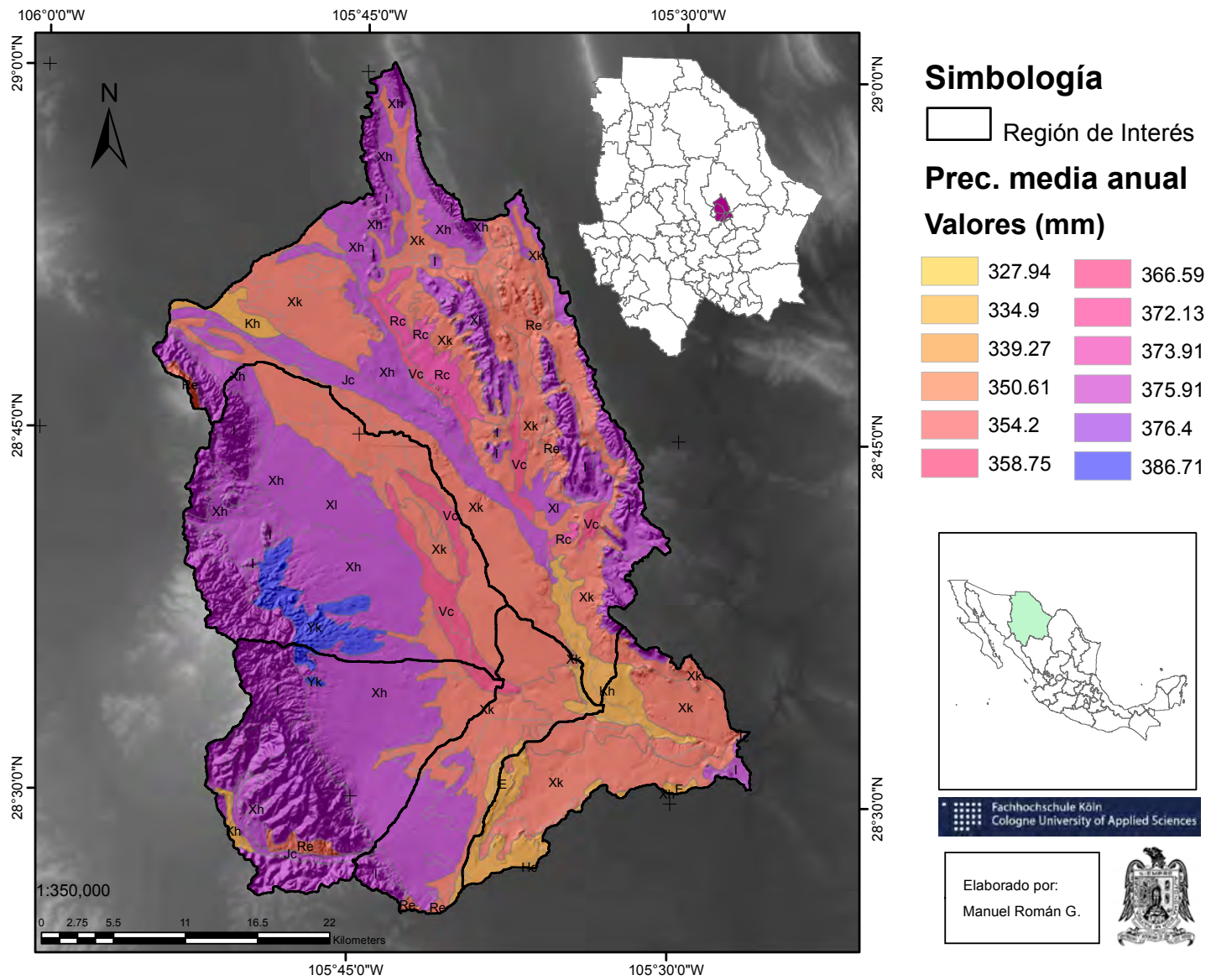


Figura 6.11.: Distribución espacial de la precipitación media anual (P).

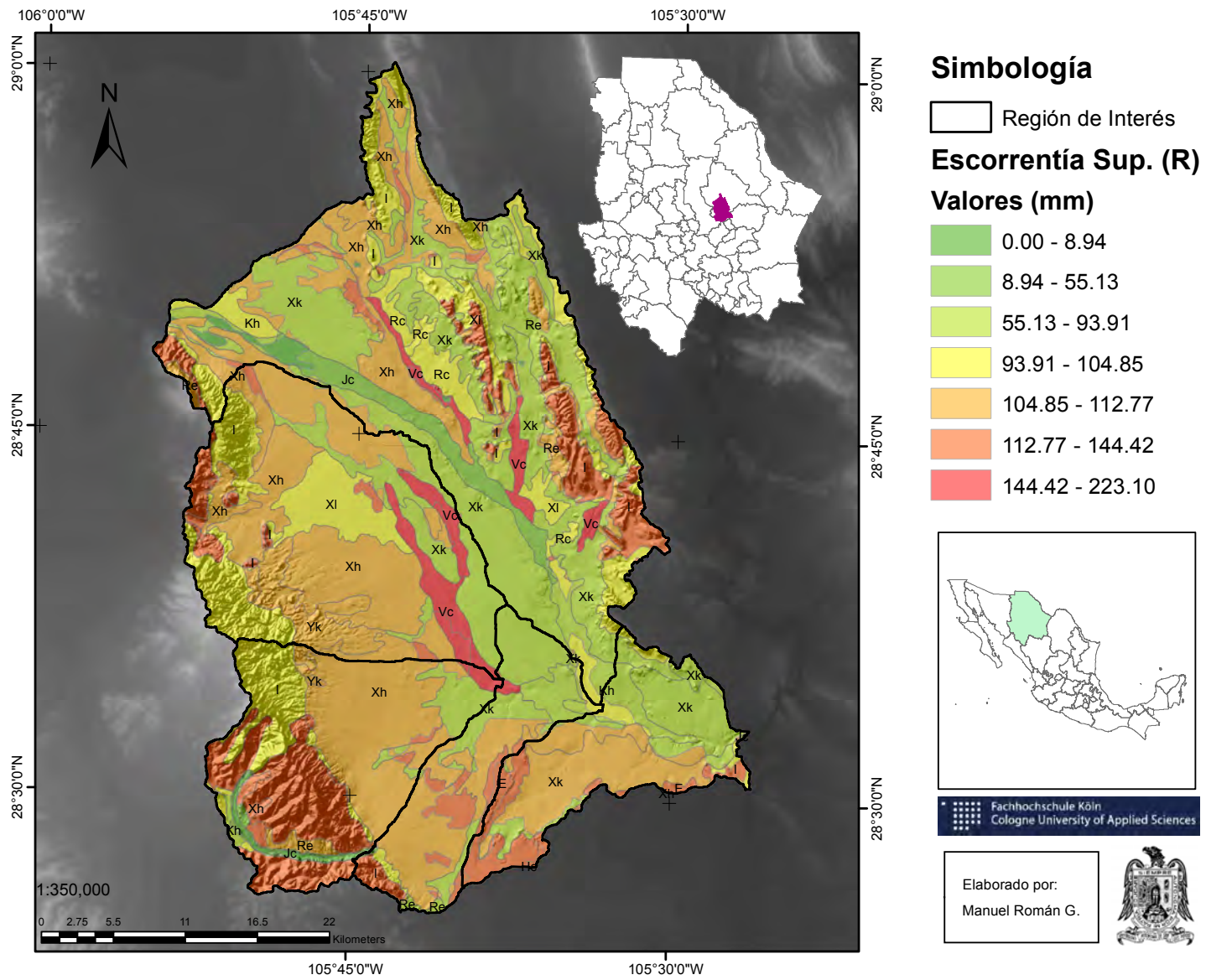


Figura 6.12.: Distribución espacial de la escorrentía superficial (R).

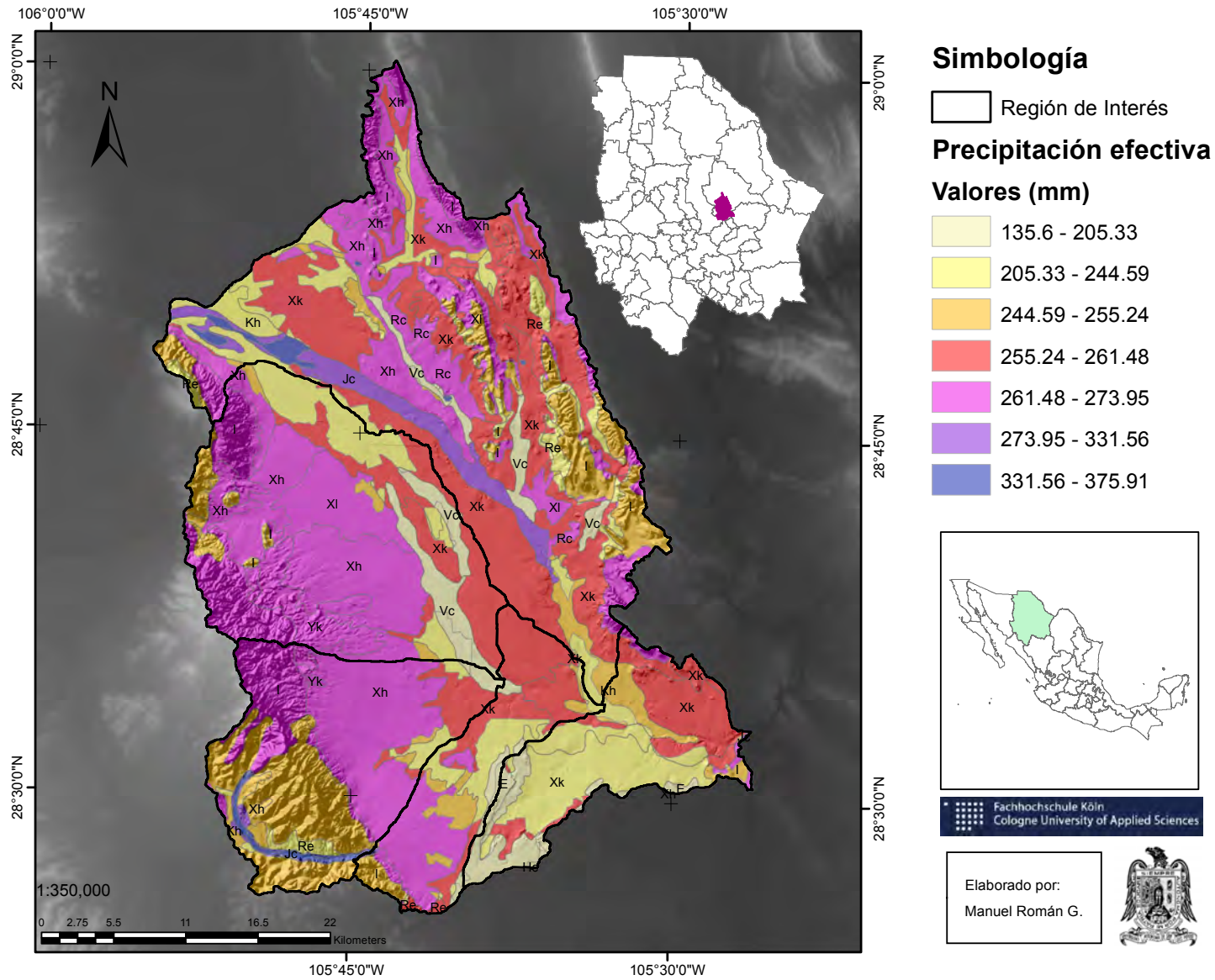


Figura 6.13.: Distribución espacial de la precipitación efectiva (P_{EFEC}).

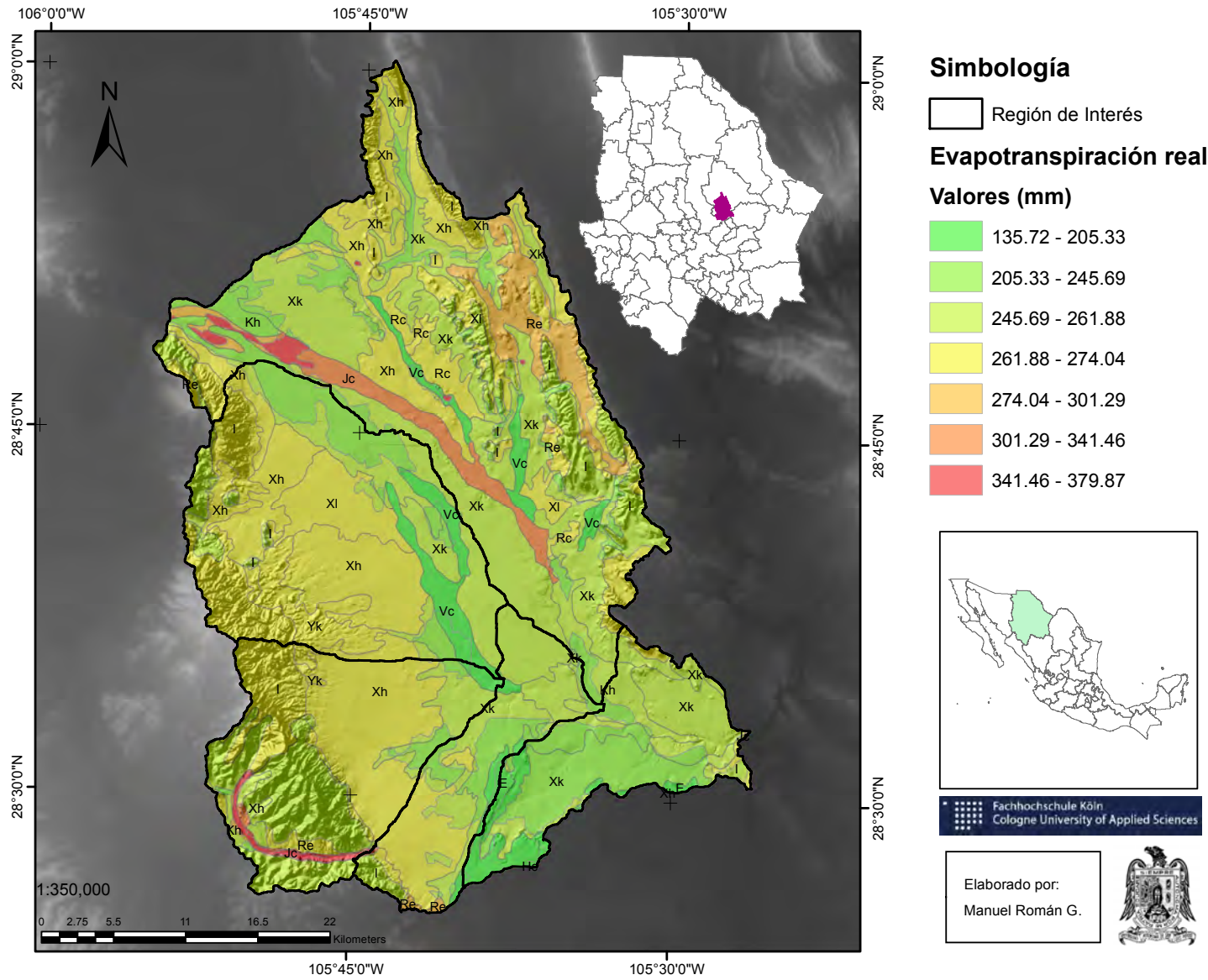


Figura 6.14.: Distribución espacial de la evapotranspiración real (*ETA*).

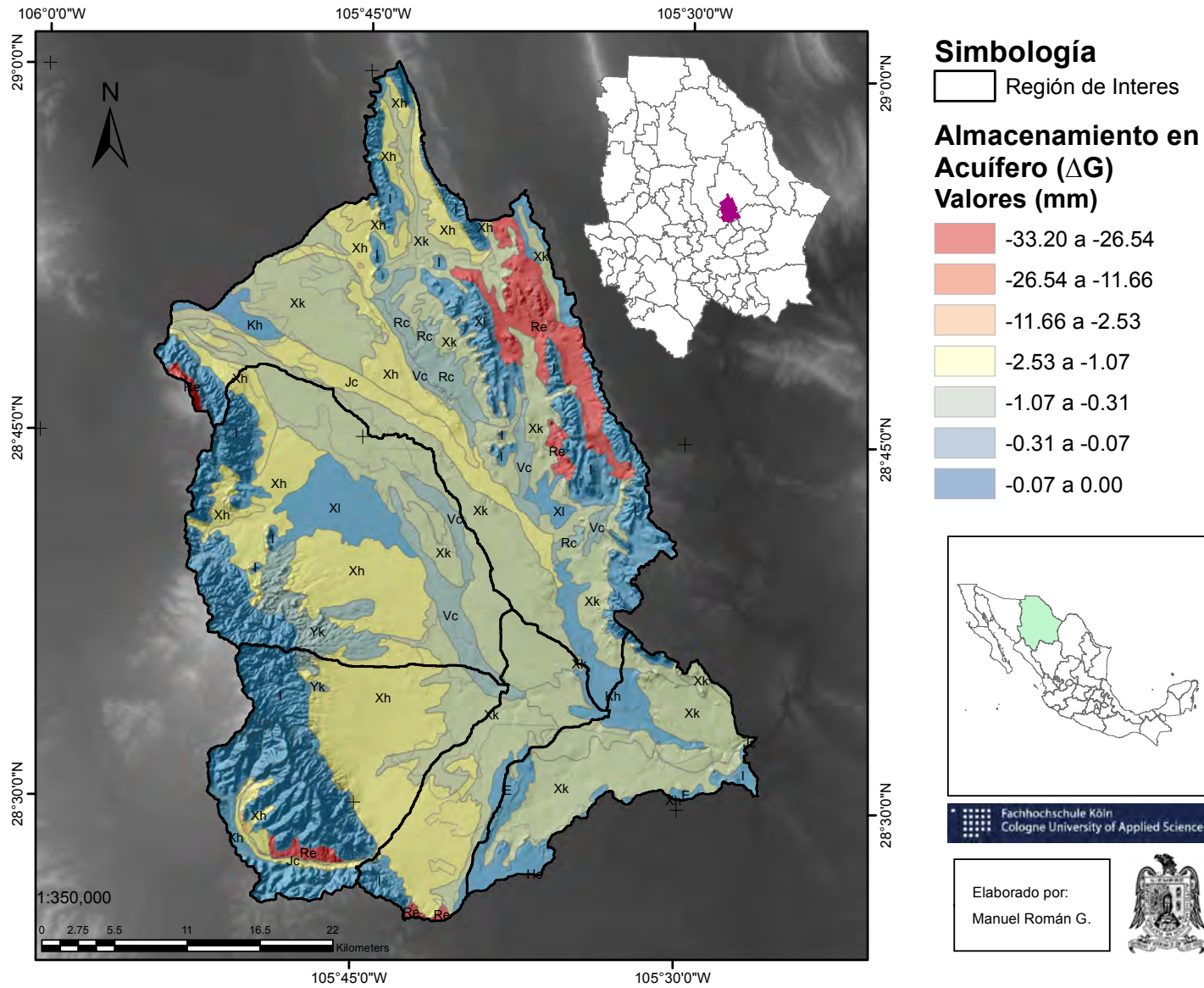


Figura 6.15.: Distribución espacial del cambio en almacenamiento de agua en el acuífero (ΔG).

freático y de la disponibilidad del recurso. Los terrenos escarpados son las zonas que muestran los valores mínimos o nulos de las pérdidas; principalmente porque la mayor parte del agua que precipita en las serranías fluye hacia los terrenos de menor elevación en donde se evapora o logra infiltrarse en el terreno y percolar para alimentar el acuífero. También es importante mencionar que se estima que un volumen considerable de agua, logra infiltrarse a través del sistema de fracturas y fallas, formando parte de la recarga del acuífero.

De acuerdo a los resultados, el constante déficit de agua en la zona es provocado sobre todo por el alto volumen de evapotranspiración (Figura 6.14) que no logra ser compensado por la cantidad total de agua retenida en el suelo (Figura 6.13). La cantidad total de agua que logra infiltrarse en el terreno es cerca de 35 922 mm, mientras que la cantidad total de agua que se pierde por evapotranspiración es aproximadamente de 36 268 mm, lo cual se traduce en una pérdida total de 345,83 mm en toda la superficie de la cuenca, equivalente a 47,88 hm³/año en promedio para el periodo entre 1951-2010. Por lo tanto cada año existen pérdidas significativas por las condiciones meteorológicas particulares del lugar, que de otra forma hubiesen garantizado la recarga del acuífero.

Para poder considerar el balance hídrico completo es preciso añadir los componentes del sistema de aguas subterráneas y la estimación de la cantidad de agua extraída desde el subsuelo, que es destinada para el consumo humano y para el desarrollo de las actividades económicas de la región y del laboreo de la mina.

Tabla 6.2.: Balance hídrico superficial (tabla resumida).

SUELO	AREA (km ²)	Ac (mm)	P (mm)	R (mm)	P _{EFEC} (mm)	ETP (mm)	A (mm)	ΔA (mm)	ETA (mm)	ΔG (mm)	ΔG (hm ³)
E	33,64	104,00	1 004,70	418,40	586,30	2 983,26	0,00	0,00	586,30	0,00	0,00
He	0,04	508,00	655,89	172,48	483,40	2005,14	194,37	-24,17	507,57	-24,17	-0,48
I	324,03	17,00	1 1217,21	3296,39	7 920,83	28 442,24	0,00	0,00	7 920,83	0,00	0,00
Jc	54,95	259,00	3 011,22	309,11	2 702,11	7 559,38	48,60	-9,45	2 711,57	-9,45	-64,54
Kh	50,02	136,00	2 374,87	597,74	1 777,13	6 921,86	0,01	0,00	1 777,13	0,00	-0,02
Rc	25,57	207,00	2 566,10	636,69	1 929,41	6 714,51	3,26	-0,80	1 930,21	-0,80	-2,24
Re	69,71	612,00	3 187,77	872,15	2 315,62	8 790,76	2 528,22	-250,46	2 566,08	-250,46	-1 932,06
Vc	55,34	241,00	4 304,99	2 127,86	2 177,12	11 609,79	7,96	-1,79	2 178,92	-1,79	-6,47
Xh	353,18	306,00	10 149,53	2 874,23	7 275,30	25 523,87	259,42	-46,28	7 321,58	-46,28	-582,07
Xk	581,68	268,00	8 765,27	2 370,39	6 394,88	24 412,80	60,29	-12,56	6 407,44	-12,56	-281,01
Xl	73,11	164,00	2 232,77	675,85	1 556,93	5 707,70	0,19	-0,06	1 556,98	-0,06	-0,75
Yk	35,12	199,00	1 160,14	357,01	803,13	2 793,12	1,05	-0,26	803,39	-0,26	-3,34
Σ											-2 872,98
PROMEDIO 1951-2010											-47,88

A_c = almacenamiento potencial del agua en el suelo en función de la textura; P = precipitación; R = escorrentía superficial; P_{EFEC} = precipitación efectiva; ETP = evapotranspiración potencial; A = contenido de humedad en el suelo; ΔA = cambio en el contenido de humedad en el suelo; ETA = evapotranspiración actual o real; ΔG = cambio del almacenamiento de agua en el subsuelo.

6.3.2. Balance de aguas subterráneas

6.3.2.1. Recarga vertical (R_v)

De acuerdo a la Ecuación 19 R_v es igual a la diferencia entre P_{EFEC} y ETA, lo que resulta en:

$$R_V = 50\,630,47 - 14\,708,32 - 36\,267,98 = -345,83 \text{ mm};$$

$$R_v = -47,88 \text{ hm}^3/\text{año}$$

6.3.2.2. Recarga por flujo horizontal (Eh)

La estimación de las recargas por flujo subterráneo horizontal se elaboran partiendo del valor de la transmisividad ($T=840 \text{ m}^2/\text{día} = 0.0033 \text{ m}^2/\text{s}$), la elevación del nivel estático y las celdas de recarga que CONAGUA (2008) establece en su estudio para la *Determinación de la disponibilidad de agua subterránea en el acuífero 0836 Aldama – San Diego, en el estado de Chihuahua* (Tabla 6.3).

En conclusión, la recarga promedio por flujo subterráneo horizontal en el periodo comprendido entre 1951-2010, es de **45,36 hm³/año**.

Tabla 6.3.: Estimación de recarga por flujo subterráneo horizontal.

CELDA	W (m)	dh (m)	dl (m)	dh/dl	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	Vol. (hm ³ /año)
E1	4190	10	705	0,0142	0,0033	0,196	6,19
E2	2761	10	614	0,0163	0,0033	0,148	4,68
E3	4450	10	1001	0,0100	0,0033	0,147	4,63
E4	4085	10	2167	0,0046	0,0033	0,062	1,96
E5	5235	10	2817	0,0035	0,0033	0,061	1,93
E6	3939	10	1960	0,0051	0,0033	0,066	2,09
E7	6133	10	2006	0,0050	0,0033	0,101	3,18
E8	8704	10	2113	0,0047	0,0033	0,136	4,29
E9	6629	10	2388	0,0042	0,0033	0,092	2,89
E10	6577	10	1766	0,0057	0,0033	0,123	3,88
E11	5970	10	644	0,0155	0,0033	0,306	9,65
						Σ	45,36

Fuente: CONAGUA (2008), p.22.

6.3.2.3. Recarga inducida (Ri)

La recarga inducida se determinó con base a los datos del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA) que contiene registros inscritos hasta el 31 de diciembre de 2014. Se considera de manera práctica que la recarga es aproximadamente el 20 % del volumen de agua empleada en los sistemas de riego (CONAGUA, 2008). El REPDA registra un total de 40.25 hm³/año destinados para la agricultura, por lo tanto la recarga inducida es de **8.05 hm³/año**.

6.3.2.4. Extracción total por bombeo (B)

El REPDA posee registros de un total de 276 aprovechamientos de los cuales 201 (73,0%) son para el sector agrícola, 8 (3,0%) para el sector pecuario, 12 (4,0%) son aprovechamientos para usos múltiples, 7 (3,0%) corresponden a uso doméstico y 48 (17,0%) se destinan para uso público urbano.

El total del volumen de agua que se extrae es igual a 42,18 hm³/año, destinándose 40,25 hm³ para agricultura, 0,03 hm³ para el sector pecuario, 0,26 hm³ es para uso múltiple, 0,01 hm³ para uso doméstico y finalmente 1,63 hm³ para público urbano.

6.3.2.5. Descarga de acuífero por manantiales (D_m)

Las características áridas de la región ocasionan prácticamente la inexistencia de corrientes permanentes. De ésta manera, las descargas naturales conocidas se reducen a dos manantiales nombrados como San Diego de Alcalá y Bosque de Aldama, que generan una descarga conjunta de 1.5 hm³/año (CONAGUA, 2008).

6.3.2.6. Solución de la ecuación de balance de aguas subterráneas.

Sustituyendo los valores en la ecuación de balance hídrico subterráneo (Ecuación 2) y resolviendo para ΔG se tiene:

$$\Delta G = R_v + E_h + R_i - B - D_m = -47,88 + 45,36 + 8,05 - 42,18 - 1,50$$

$$\Delta G = -36,65 \text{ hm}^3/\text{año}$$

6.4. Disponibilidad de aguas subterráneas

Los resultados del balance hídrico indican que las recargas verticales actuales para el acuífero (5,53 hm³/año) son mucho menores al volumen de agua concesionado de acuerdo a los registros del REPDA (42,18 hm³/año) generando una sobreexplotación del acuífero.

Es importante mencionar que el balance hídrico, se estimó para el caso en que el volumen total de agua actualmente concesionado sea igual al volumen de agua que se consume en la región; sin embargo la extracción y el consumo real pueden ser considerablemente menor. Además, el método de balance hídrico propuesto por Thornthwaite y Mather depende de una suposición inicial de la humedad actual del suelo al final de la temporada húmeda y posteriormente de una serie de iteraciones hasta que los valores mensuales de la capacidad de retención de agua en el suelo se igualan (Dourado-Neto et al., 2010).

Los valores utilizados en el presente cálculo corresponden a la tercera iteración, y el valor de la pérdida potencial de humedad del suelo para el último mes de la temporada húmeda (mes de agosto), es igual a la diferencia entre la P_{EFEC} y la ETP para ese mes.

También es recomendable (en caso de contar con la información) que en el cálculo del balance hídrico se empleen de los valores de precipitación diaria, para que de ésta manera se obtenga mayor confiabilidad en la determinación de la fluctuación de la humedad en el suelo.

Por último, se menciona que es necesaria una mejora en la densidad de la red de monitoreo de las variables meteorológicas para obtener estimaciones precisas de la precipitación diaria y sobre todo de los valores reales de la evapotranspiración, ya que es la variable que genera mayores pérdidas del recurso hídrico en las regiones áridas (UNESCO, 2009).

6.5. Hidrogeoquímica

La información del aspecto hidrogeoquímico se compone de los resultados de análisis (de campo y laboratorio) efectuados para diversas muestras que fueron recolectadas en cuatro meses diferentes: diciembre (2013); febrero (2014); julio (2014); y agosto (2014); y de diferentes fuentes de aprovechamiento (Figura 6.16). De acuerdo a la clasificación de las temporadas (Figura 6.1 y Figura 6.2), los meses de diciembre y febrero corresponden a la temporada *seca-cálida* y los meses de julio y agosto a la temporada *húmeda-calurosa*. La importancia en realizar el muestreo en diferentes temporadas radica en que la mayor parte del volumen del agua subterránea proviene de las precipitaciones y las concentraciones de minerales en el agua del subsuelo se incrementan conforme también aumenta la distancia que recorre el agua desde las zonas en donde logra infiltrarse (Price, 2003).

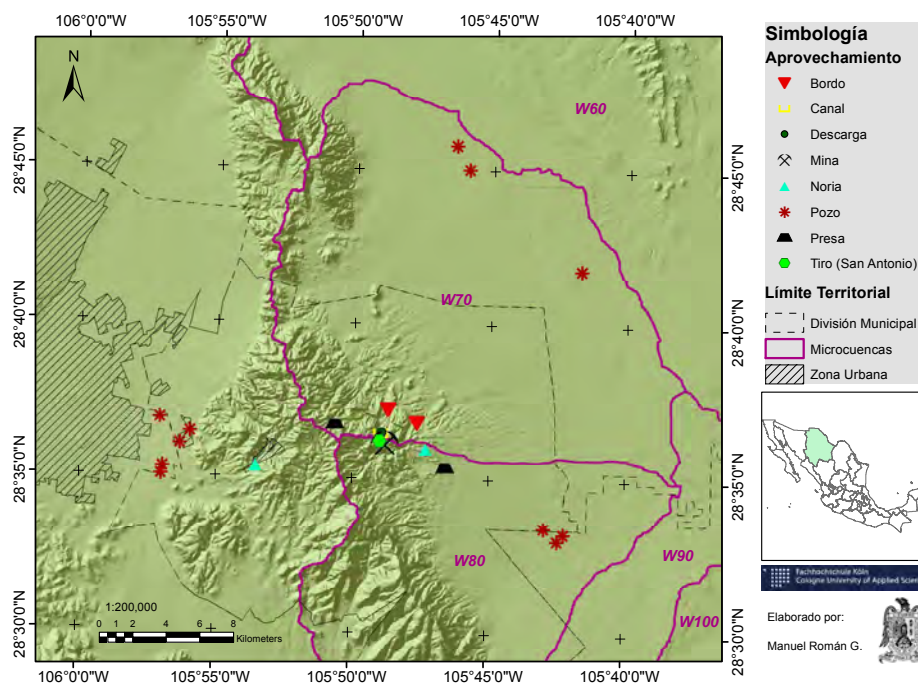


Figura 6.16.: Ubicación de las muestras para análisis hidrogeoquímico.

6.5.1. Verificación de los resultados de análisis químicos

Al realizar la verificación inicial de los resultados de laboratorio con base al porcentaje de error de electroneutralidad, se demostró que dos de ellos sobrepasaban el criterio de aceptación ($\pm 10\%$) y por lo tanto fueron descartados (Figura 6.17). Adicionalmente, se tomó la decisión de realizar un promedio de los resultados de las muestras tomadas en el interior de la mina (23 en total) con el fin de obtener un solo registro por cada una de las visitas de campo efectuadas.

Lo anterior se debe a que el agua proveniente de los puntos de muestreo del interior de la mina, sufrió un proceso de alteración causado principalmente por los continuos trabajos de bombeo para el abatimiento del nivel freático.

Finalmente, se observa que las muestras que fueron recolectadas entre los meses de julio y agosto no cuentan con un registro completo de resultados; y por lo tanto en el análisis solo se consideraron aquellos constituyentes químicos cuyas concentraciones se habían determinado para el total de las muestras. De ésta manera la información hidrogeoquímica se conforma de un total de 31 muestras de laboratorio que contienen resultados de las concentraciones de sólidos totales disueltos (TDS), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), manganeso (Mn), sodio (Na^+), potasio (K^+), bicarbonato de calcio (HCO_3^-), cloruro (Cl^-), nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}), fluoruro (F^-), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE) y temperatura (Temp.).

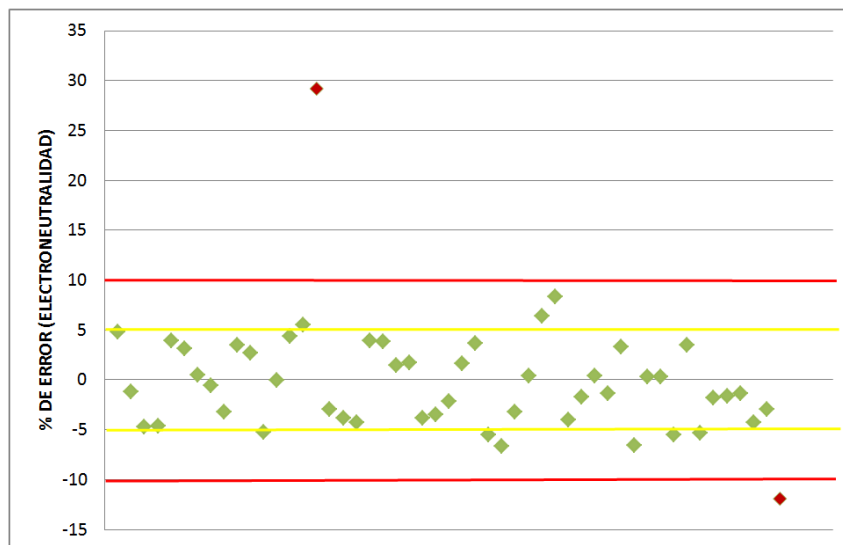


Figura 6.17.: Porcentaje de electroneutralidad de 51 muestras totales.

6.5.2. Análisis estadístico de los resultados

Para poder establecer las relaciones hidrogeoquímicas entre el conjunto de resultados disponibles, se recurrió al análisis estadístico multivariable. En primer instancia, los parámetros estadísticos de

los resultados sin agrupar (valores mínimos y máximos, media, desviación estándar y asimetría) representados en la **Tabla 6.4**, reflejan que la variabilidad más alta pertenece al Mn seguido del NO_3^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} y F^- , con coeficientes de variabilidad mayores a 1,0.

Tabla 6.4.: Estadística descriptiva de los resultados de análisis químicos.
(todos los valores en mg/l excepto para pH, CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$, y temp en $^\circ\text{C}$)

	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	CV %	Asimetría
Temp	26,381	6,281	11,400	36,800	24,0	-0,619
pH	7,876	0,604	7,120	9,230	8,0	1,030
CE	955,187	551,509	306,000	2496,000	58,0	1,033
TDS	407,699	269,928	141,000	1232,000	66,0	1,363
Ca^{2+}	66,148	51,167	4,320	250,000	77,0	1,797
Mg^{2+}	15,273	18,018	0,880	87,620	118,0	2,437
Na^+	97,115	76,453	6,000	281,000	79,0	1,108
K^+	5,857	5,408	0,590	28,960	92,0	3,048
HCO_3^-	233,621	95,738	40,990	505,570	41,0	0,452
Cl^-	21,523	15,131	4,960	73,320	70,0	1,699
NO_3^-	21,156	27,628	2,210	141,270	131,0	3,304
SO_4^{2-}	217,256	265,175	1,000	933,240	122,0	1,844
F^-	3,060	3,494	0,130	19,630	114,0	3,754
Mn	0,091	0,129	0,000	0,690	143,0	3,499

En la **Tabla 6.5** se puede observar la correlación positiva entre $\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^-$; $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$; $\text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$; $\text{SO}_4^{2-} - \text{K}^+$; $\text{SO}_4^{2-} - \text{Mg}^{2+}$; $\text{Ca}^{2+} - \text{K}^+$; $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ y $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$.

Tabla 6.5.: Matriz de correlación entre las concentraciones de constituyentes químicos en las muestras.

	pH	Temp	CE	TDS	HCO_3^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Cl^-	F^-	K^+	Mg^{2+}	Mn	Na^+
pH	1,000													
Temp	-0,408	1,000												
CE	-0,071	0,017	1,000											
TDS	-0,075	-0,095	0,927**	1,000										
HCO_3^-	-0,290	0,238	0,142	0,161	1,000									
NO_3^-	-0,261	0,220	0,096	0,039	0,157	1,000								
SO_4^{2-}	0,077	-0,194	0,847**	0,871**	-0,220	-0,047	1,000							
Ca^{2+}	-0,082	-0,185	0,652**	0,627**	-0,345	-0,003	0,854**	1,000						
Cl^-	-0,208	0,032	0,539**	0,497**	0,557**	0,047	0,149	-0,033	1,000					
F^-	0,450*	0,071	0,204	0,197	0,167	-0,050	0,034	-0,163	0,231	1,000				
K^+	-0,107	-0,129	0,641**	0,702**	0,092	-0,052	0,642**	0,507**	0,171	-0,019	1,000			
Mg^{2+}	0,020	0,092	0,435*	0,411*	-0,293	-0,035	0,654**	0,583**	-0,040	-0,157	0,357*	1,000		
Mn	-0,033	0,097	-0,038	-0,076	0,108	0,012	-0,187	-0,202	0,028	-0,014	-0,076	-0,283	1,000	
Na^+	0,032	-0,036	0,683**	0,741**	0,592**	0,044	0,433*	0,046	0,642**	0,404*	0,406*	-0,060	0,094	1,000

** La correlación es significativa al nivel 0.01

* La correlación es significante al nivel 0.05

Las altas concentraciones de Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} y Na^+ que se encontraron en las muestras recolectadas en zonas ocupadas por comunidades o áreas que son destinadas para la agricultura y abrevaderos para ganado, indican que éstos constituyentes químicos tienen un probable origen antropogénico. Además se encontró una correlación positiva entre $\text{SO}_4^{2-} - \text{K}^+$ por lo tanto se puede sugerir que las concentraciones de K^+ también son por causas antropogénicas. El HCO_3^- posee uno de los coeficientes de variabilidad más bajos (0,41 %) lo que sugiere un origen natural

dentro de la composición química del agua en la zona de estudio; al contrario del Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} y F^- , que muestran una variabilidad alta y por lo tanto se relacionan con contaminación localizada y muestra la interferencia de las actividades humanas (Jiang et al., 2009).

Por otro lado, las concentraciones relativamente altas de Ca^{2+} y Mg^{2+} en las muestras que fueron recolectadas en los sitios ubicados al oriente de la sierra Santo Domingo, pueden ser el producto de la interacción agua-roca en la zona de recarga en la parte alta de la sierra (Pérez Villarreal, 2008).

6.5.3. Análisis jerárquico de conglomerados y familias de agua

Prosiguiendo con la identificación de las relaciones químicas existentes entre las muestras mediante el análisis jerárquico de conglomerados, se observa la formación de dos grupos mayores (I-II) y siete subgrupos (1-7) empleando 14 variables (11 constituyentes químicos y 3 parámetros físico-químicos). El dendograma (Figura 6.18) es la representación del resultado del análisis jerárquico de conglomerados y en la Tabla 6.6 se presentan las concentraciones de los constituyentes químicos divididos por grupos y subgrupos.

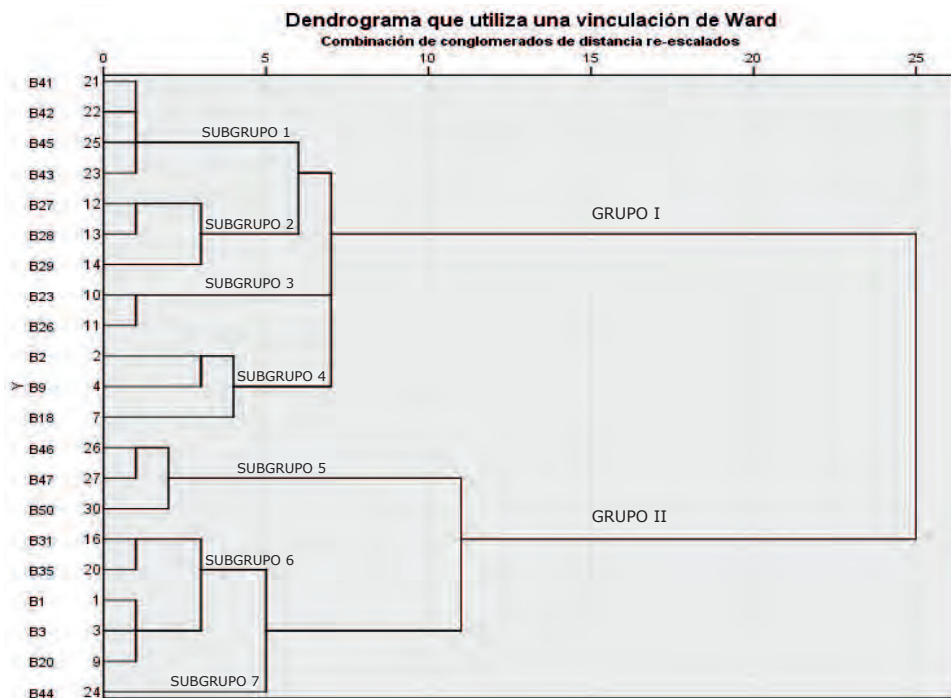


Figura 6.18.: Resultados del análisis jerárquico de conglomerados

La comparación de los resultados muestran que el grupo I posee los valores más altos de pH y NO_3^- , mientras que el grupo II destaca por tener altos valores del resto de los parámetros (CE, Temp, TDS, HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Cl^- , F^- , K^+ , Mg^{2+} , Mn , Na^+).

El grupo I se conforma por los subgrupos 1, 2, 3, y 4. La relación entre resultados de laboratorio, refleja que los primeros tres subgrupos difieren en las concentraciones de NO_3^- con el cuarto subgrupo; lo cual resulta importante porque en éste caso el agua se destina para consumo humano y las concentraciones de NO_3^- sobrepasan los límites recomendables en la norma NOM-127-SSA1-1994 que establece los parámetros de calidad del agua para uso y consumo humano (DOF, 1994). En relación a los tipos de aprovechamiento de agua muestreados, los subgrupos 1, 2 y 3 se conforman de muestras de agua subterránea (pozos) mientras que las muestras del subgrupo 4 provienen de aguas superficiales (bordos y presas).

Un caso parecido se observa en el grupo II, particularmente en el subgrupo 5, que está conformado por dos muestras provenientes de aguas subterráneas (pozos) y una tercera originaria de aguas superficiales. A pesar de que las tres muestras poseen características físico-químicas similares, las concentraciones de NO_3^- son mayores en el agua subterránea. De entre todos los demás subgrupos, el subgrupo 5 posee los valores más altos de la CE y los TSD.

En relación a las muestras de los subgrupos 6 y 7, se observa que las muestras de ambos provienen de agua subterránea, sin embargo el subgrupo 6 presenta valores más altos de F^- y el subgrupo 7 de Cl^- y Mn.

Tabla 6.6.: Muestras y constituyentes químicos organizados por grupos y subgrupos.
(todos los valores en mg/l excepto para pH, CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$, y temp en $^\circ\text{C}$)

Grupos	Sub-grupos	Muestras	CE	Temp	pH	Eh	TDS	HCO_3^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Cl^-	F^-	K^+	Mg^{2+}	Mn	Na^+	
I	1	B41	363.60	25.90	7.69	225.00	164.00	135.42	12.84	7.00	30.91	7.80	0.82	2.51	4.03	0.09	20.00	
		B42	363.10	26.60	7.73	208.00	158.00	135.42	11.96	2.00	26.50	15.60	0.85	2.63	4.70	0.14	26.00	
		B45	346.70	25.00	7.91	182.00	158.00	135.42	9.30	21.00	22.08	10.92	0.75	2.28	1.34	0.07	35.00	
		B43	618.00	29.60	7.70	205.00	209.00	198.62	31.44	8.00	35.33	17.16	1.30	2.40	2.01	0.18	45.00	
	2	B27	306.00	27.50	7.49	210.00	150.00	218.62	11.51	1.00	38.08	4.96	0.14	6.00	14.88	0.00	18.00	
		B28	332.00	28.70	7.50	231.00	145.00	259.62	9.74	1.00	46.24	8.93	0.13	2.00	21.49	0.00	21.00	
		B29	510.00	31.90	7.47	215.00	238.50	273.28	32.77	55.00	51.68	17.87	0.75	2.00	12.40	0.00	53.00	
	3	B23	534.00	23.80	8.67	164.00	206.00	245.95	11.51	41.00	6.80	20.85	3.05	3.00	2.48	0.00	120.00	
		B26	685.00	24.30	8.07	214.00	287.50	300.61	84.59	55.00	10.88	16.88	2.75	5.00	1.65	0.01	155.00	
	4	B2	586.00	16.30	8.83	134.00	262.00	163.97	4.87	210.00	49.60	12.76	3.22	4.20	19.45	0.01	72.00	
		B9	555.00	11.40	7.78	258.00	227.50	81.98	8.86	200.00	95.00	6.38	1.07	8.10	3.20	0.09	6.00	
		B18	397.00	11.80	8.18	137.00	141.00	232.29	2.66	2.00	68.00	20.85	0.22	2.00	3.31	0.00	10.00	
	II	5	B46	1228.00	22.00	7.12	156.00	664.00	352.09	36.31	323.00	93.84	42.12	2.25	9.16	12.08	0.16	180.00
			B47	1504.00	25.00	7.25	192.00	766.00	370.15	21.70	349.00	49.68	42.12	3.40	5.11	14.76	0.04	242.00
			B50	1166.00	25.00	7.38	120.00	589.00	352.09	6.64	132.00	81.70	46.80	3.05	17.48	10.74	0.18	91.00
		6	B31	1076.00	32.60	7.64	152.00	413.00	225.70	9.30	225.00	66.24	12.48	4.65	4.30	7.88	0.16	98.00
B35			987.33	33.03	7.90	109.00	383.17	225.70	17.12	176.50	67.38	13.26	4.20	4.26	17.22	0.17	63.50	
B1			756.00	33.80	7.54	151.00	307.00	245.95	7.97	197.00	73.60	8.51	3.00	4.20	41.82	0.02	49.00	
B3			865.08	32.07	7.49	114.75	393.79	162.83	8.30	320.21	97.55	10.05	2.80	5.40	30.90	0.07	63.67	
7		B20	766.40	35.50	7.66	168.00	338.20	245.95	7.79	207.00	78.88	15.09	3.03	7.60	28.93	0.04	56.40	
		B44	1446.00	34.80	7.25	103.00	153.00	270.84	37.20	7.00	60.72	40.56	2.00	3.62	7.38	0.20	70.00	

Las relaciones estadísticas que se determinaron con base al análisis jerárquico de conglomerados pueden comprenderse en mayor extensión si se realiza la representación espacial de los diferentes subgrupos. En éste caso la Figura 6.19 hace notar que en general existe una buena correspondencia entre los datos estadísticos, geográficos y el tipo de uso que se le da al recurso.

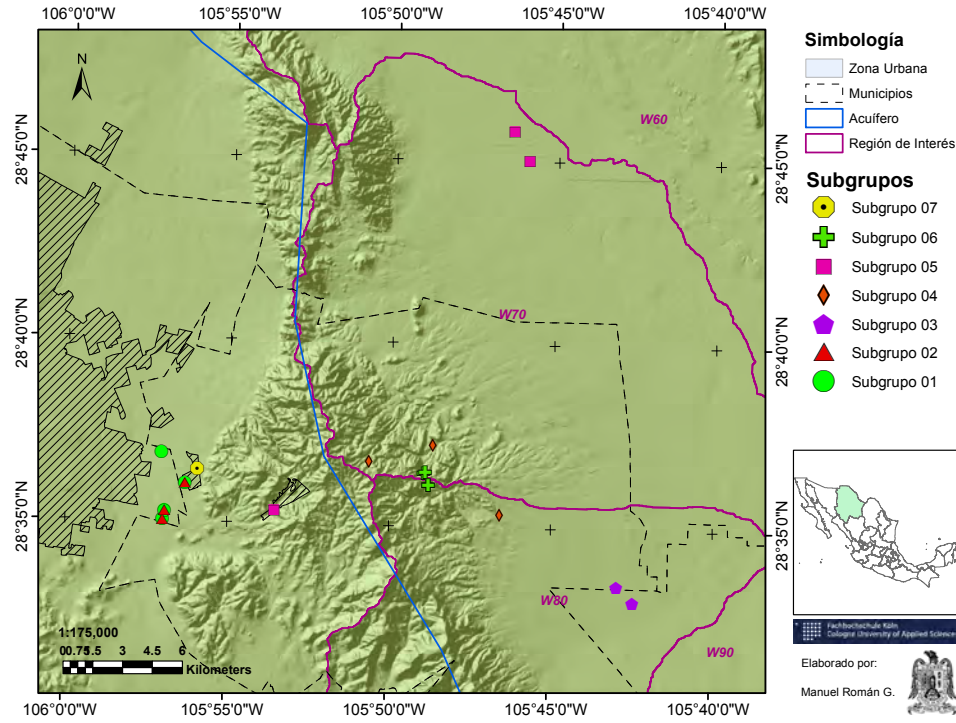


Figura 6.19.: Distribución espacial de los resultados del análisis estadístico.

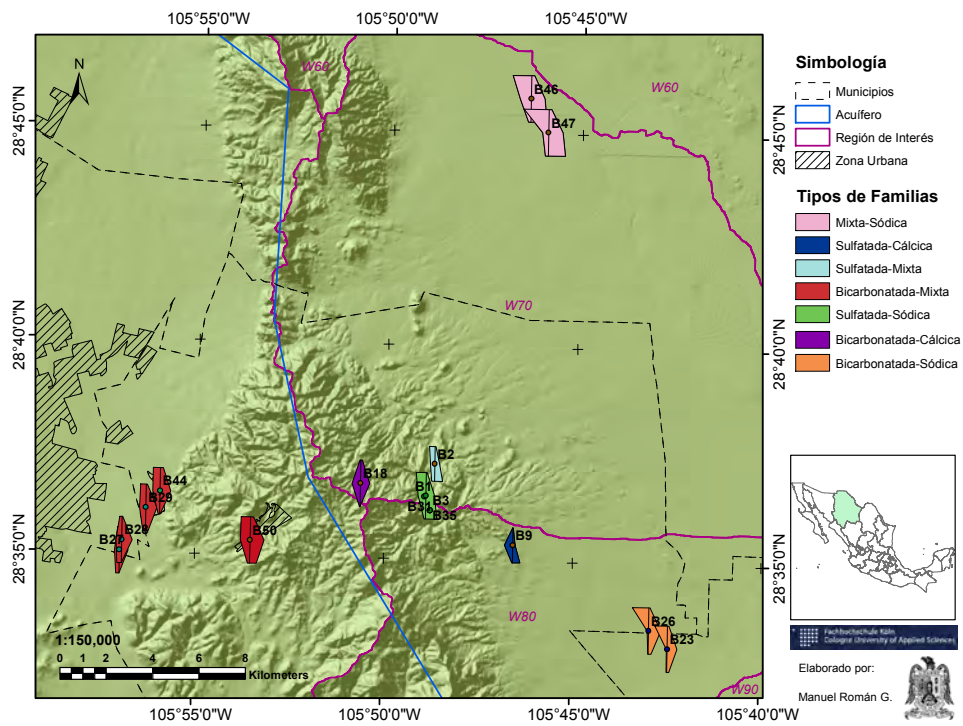


Figura 6.20.: Distribución espacial de las muestras por tipos de familias de agua.

Se puede notar que las muestras del subgrupo 2 se obtuvieron de los mismos sitios del subgrupo 1, sin embargo al estar separados se indica la existencia de una diferencia estadísticamente significativa de los resultados que a su vez refleja la variabilidad temporal y el cambio del tipo de familia del agua; ya que el subgrupo 2 fue muestreado en la temporada *seca-cálida* (febrero) y el subgrupo 1 en la temporada *húmeda-calurosa* (agosto). En la temporada *seca-cálida* todas las muestras corresponden al tipo de familia bicarbonatada-mixta, mientras que en la temporada de lluvias se encuentran las familias bicarbonatada-cálcica, bicarbonatada-mixta y bicarbonatada-sódica.

El agua de éstos dos subgrupos proviene de fuentes subterráneas y está destinada para uso y consumo humano, por lo cuál la calidad del recurso fue revisada de acuerdo a los parámetros de la norma NOM-127-SSA1-1994 encontrando que 5 de 7 muestras analizadas, muestran concentraciones altas de NO_3^- y únicamente una sobrepasa los límites permisibles de Mn.

Respecto al subgrupo 3 encontramos que la muestras fueron recolectadas en la temporada *seca-cálida* (febrero) y pertenecen a la familia de agua bicarbonatada-sódica; el recurso se destina para uso agropecuario y la fuente de aprovechamiento es de agua subterránea (pozo).

El subgrupo 4 se conforma por tres muestras que fueron tomadas en temporada *seca-cálida* (durante los meses de diciembre y febrero) provenientes de fuentes de agua superficial (bordos y presas) que se usan como abrevaderos para el ganado. Se determinó que cada una de las muestras pertenecen a un tipo de familia de agua diferente: sulfatada-mixta, sulfatada-cálcica y bicarbonatada-cálcica.

El subgrupo 5 se encuentra conformado por un total de tres muestras recolectadas durante la temporada *húmeda-calurosa* (agosto). Dos de ellas provienen de aprovechamientos de aguas subterráneas (pozos) y una proveniente de aguas superficiales (noria). Los pozos muestreados se localizan en el límite norte de la MC W70 en la zona de valle donde se encuentran algunos sectores de riego para actividades agrícolas, que es finalmente el uso que se le otorga a estos dos aprovechamientos de agua, y pertenecen al tipo de familia mixta-sódica. La tercer muestra del subgrupo se encuentra alejada de los sectores de riego (a 22 km al SW) en la parte alta de la sierra Santo Domingo. El recurso se destina para uso en servicios de la localidad de Santa Eulalia y el tipo de familia que se determinó para éste sitio muestreado corresponde a la bicarbonatada-mixta.

Dentro del subgrupo 6 se encuentran las muestras que se recolectaron desde el interior de la mina San Antonio. Se presentan familias de agua de los tipos: bicarbonatada-mixta, sulfatada-sódica, sulfatada-mixta y mixta-mixta. Como se mencionó anteriormente, el agua es constantemente bombeada desde el interior de la mina con el fin de abatir el nivel freático y de ésta manera poder realizar los trabajos de extracción del mineral de interés (plomo y zinc con concentraciones importantes de plata), por lo tanto las muestras que fueron tomadas y examinadas, se encuentran alteradas. Se podría llegar a la conclusión de que los trabajos de bombeo alteran al sistema

completo de aguas del subsuelo; sin embargo, no existe evidencia suficiente como para afirmar tal suposición.

Por último, la única muestra (proveniente de aguas subterráneas) que integra al subgrupo 7, se recolectó en la temporada *húmeda-calurosa* (agosto) y pertenece al tipo de familia bicarbonatada-mixta. El agua es empleada para uso y consumo humano y presenta concentraciones de NO_3^- , F^- y Mn fuera de la norma. Por el tipo de familia (bicarbonata-mixta) se asemeja a los subgrupos 1 y 2 pero posee mayores concentraciones de los constituyentes químicos además de tener mayor temperatura y conductividad eléctrica.

A pesar de que las tres muestras que conforman al subgrupo 7 son estadísticamente similares, la muestra que se encuentra dentro de los límites de la localidad de Santa Eulalia, comparte el mismo tipo de familia de algunas muestras del subgrupo 1; sumando el hecho de que fueron recolectadas durante la misma temporada.

6.5.4. Calidad del agua para uso y consumo humano

Si se realiza una comparación del contenido de los constituyentes químicos totales encontrados en las muestras contra los límites máximos permisibles especificados en la norma NOM-127-SSA1-1997 (Tabla 6.7), resulta que se presentan altas concentraciones de pH, TDS, NO_3^- , SO_4^{2-} , As, Cd, F^- , Na^+ y Zn (Tabla 6.8). Adicionalmente en la región existen importantes yacimientos de uranio que fueron explotados por la Comisión Nacional de Energía Nuclear (URAMEX) durante la temporada de desarrollo de la región entre 1969 y 1971 (Ruiz Cristobal, 2005), lo cual generó una dispersión del contaminante a través del río Chuvíscar y del material aluvial que se encuentra al oriente de la sierra La Gloria (aproximadamente a 50 km de la ciudad de Aldama, Figura 6.21) (Lourdes Villalba et al., 2006).

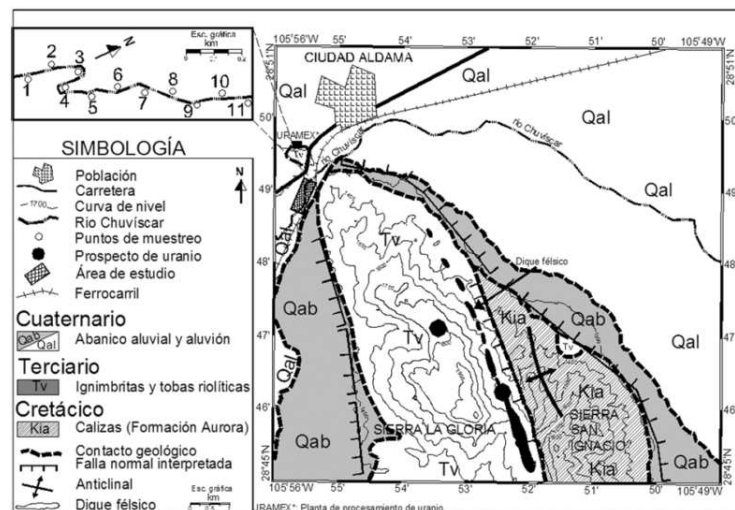


Figura 6.21.: Ubicación del prospecto de uranio.

Fuente: Lourdes Villalba et al. (2006).

Tabla 6.7.: límites máximos permisibles especificados en la norma NOM-127-SSA1-1997.

LÍMITES PERMISIBLES DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS			
Característica	Límite permisible	Característica	Límite permisible
Aluminio	0,20	pH (unidades de pH)	6,50 - 8,50
Arsénico	0,025*	Aldrín y dieldrín	0,03 ($\mu\text{g/l}$)
Bario	0,70	Clordano (total de isómeros)	0,30 ($\mu\text{g/l}$)
Cadmio	0,005	DDT (total de isómeros)	1,00 ($\mu\text{g/l}$)
Cianuros (como CN ⁻)	0,07	Gamma-HCH (lindano)	2,00 ($\mu\text{g/l}$)
Cloro residual libre	0,20 - 1,50	Hexaclorobenceno	0,01 ($\mu\text{g/l}$)
Cloruros (como Cl ⁻)	250,00	Heptacloro y epóxido de heptacloro	0,03 ($\mu\text{g/l}$)
Cobre	2,00	Metoxicloro	20,00 ($\mu\text{g/l}$)
Cromo total	0,05	2,4 - D	50,00 ($\mu\text{g/l}$)
Dureza total (como CaCO ₃)	500,00	Plomo	0,025
Fenoles compuestos	0,001	Sodio	200,00
Fierro	0,30	Sólidos disueltos totales	1 000,00
Fluoruros (como F ⁻)	1,50	Sulfatos (como SO ₄ ⁼)	400,00
Manganeso	0,15	Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0,50
Mercurio	0,001	Trihalometanos totales	0,20
Nitratos (como N)	10,00	Zinc	5,00
Nitritos (como N)	0,05	Nitrógeno amoniacal (como N)	0,50

Los límites permisibles se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

*Por modificaciones a la norma, para el año 2005 el límite permisible es 0,025 mg/l.

Tabla 6.8.: Características químicas que sobrepasan los límites permisibles establecidos en la norma NOM-127-SSA1-1997.

ID	Uso	pH	TDS	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	As	Cd	F ⁻	Na ⁺	U*	Zn
B1	Desagüe de mina	7,54	307,0	7,97	197,00	0,02	1,77	3,00	49,00	17,57	0,34
B2	Abrevadero	8,83	262,0	4,87	210,00	0,01	0,31	3,22	72,00	19,72	0,03
B3	Desagüe de mina	8,28	298,5	10,63	260,00	0,02	0,62	2,81	67,00	28,69	0,08
B4	Desagüe de mina	7,36	322,5	9,30	345,00	0,03	3,62	3,27	68,00	37,91	0,75
B5	Desagüe de mina	8,05	368,0	8,86	360,00	0,02	4,83	2,06	67,00	78,32	1,43
B6	Servicios de mina	7,67	364,0	7,97	375,00	0,01	0,79	3,40	67,00	35,45	0,32
B7	Sin uso (mina)	8,14	409,5	13,29	287,50	0,02	0,17	3,10	56,00	62,35	0,16
B8	Sin uso (mina)	7,29	726,5	6,64	600,00	0,00	60,91	3,62	68,00	40,48	10,84
B9	Abrevadero	7,78	227,5	8,86	200,00	0,01	1,54	1,07	6,00	5,12	0,19
B10	Desagüe de mina	8,44	354,5	7,53	310,00	0,02	0,97	3,25	67,00	61,87	0,49

Continua en la siguiente página.

Tabla.6.8. continua de la página anterior.

B11	Servicios de mina	<u>9,15</u>	316,0	9,74	310,00	0,02	0,20	2,18	67,00	12,86	0,04
B12	Sin uso	7,58	886,5	<u>21,26</u>	<u>933,24</u>	0,01	0,71	2,06	127,00	8,51	0,08
B13	Sin uso	7,99	409,5	5,31	395,00	0,01	<u>11,58</u>	2,13	67,00	68,30	1,86
B14	Sin uso	6,68	341,5	7,09	165,00	0,02	0,43	2,11	47,00	15,33	0,20
B15	Sin uso	-	334,5	3,54	210,00	<u>0,06</u>	1,10	3,50	57,00	90,60	0,11
B16	sin uso	<u>10,86</u>	480,5	9,74	225,00	0,00	0,08	2,14	66,00	0,37	0,02
B17	Agrícola	<u>8,66</u>	375,5	2,21	94,00	<u>1,25</u>	0,05	7,25	<u>208,00</u>	20,76	0,01
B18	Abrevadero	8,18	141,0	2,66	2,00	0,00	0,08	0,22	10,00	0,76	0,02
B19	Abrevadero	<u>9,17</u>	764,5	<u>20,81</u>	<u>900,00</u>	0,02	0,04	1,84	62,00	10,78	0,01
B20	Desagüe de mina	7,79	357,0	9,30	240,00	0,01	3,45	3,30	51,00	34,91	0,82
B21	Desagüe de mina	7,60	335,0	2,21	210,00	<u>0,11</u>	1,04	<u>3,17</u>	65,00	48,42	0,12
B22	Desagüe de mina	7,70	329,5	<u>13,73</u>	190,00	0,02	0,20	<u>2,72</u>	45,00	9,43	0,11
B23	Agrícola	<u>8,67</u>	206,0	<u>11,51</u>	41,00	<u>0,14</u>	0,06	<u>3,05</u>	120,00	9,60	0,01
B24	Desagüe de mina	7,82	365,0	7,09	240,00	0,01	1,85	<u>3,15</u>	59,00	36,34	0,46
B25	Desagüe de mina	7,39	304,5	6,64	155,00	0,02	1,43	<u>2,80</u>	62,00	15,97	0,29
B26	Abrevadero	8,07	287,5	<u>84,59</u>	55,00	<u>0,08</u>	0,11	<u>2,75</u>	155,00	8,00	0,02
B27	Potable	7,49	150,0	<u>11,51</u>	1,00	0,00	0,08	0,14	18,00	2,25	0,04
B28	Potable	7,50	145,0	9,74	1,00	0,00	0,08	0,13	21,00	2,70	0,02
B29	Potable	7,47	238,5	<u>32,77</u>	55,00	0,01	0,08	0,75	53,00	4,33	0,02
B30	Potable	7,12	512,5	<u>38,97</u>	322,00	0,01	0,07	1,10	85,00	6,40	0,06
B31	Sin uso	7,64	413,0	9,30	225,00	-	-	<u>4,65</u>	98,00	-	-
B32	Abrevadero	<u>9,23</u>	512,0	4,87	379,00	-	-	<u>5,10</u>	94,00	-	-
B33	Abrevadero	8,41	296,0	4,43	72,00	-	-	<u>1,94</u>	155,00	-	-
B34	Agrícola	<u>9,05</u>	385,0	8,86	66,00	-	-	<u>19,63</u>	150,00	-	-
B35	Desagüe de mina	7,43	395,0	<u>11,51</u>	215,00	-	-	<u>4,20</u>	65,00	-	-
B36	Sin uso	8,12	413,0	8,86	257,00	-	-	<u>4,95</u>	63,00	-	-
B37	Desagüe de mina	7,70	391,0	7,09	125,00	-	-	<u>3,85</u>	61,00	-	-
B38	Desagüe de mina	<u>8,97</u>	329,0	7,97	105,00	-	-	<u>4,10</u>	57,00	-	-

Continua en la siguiente página.

Tabla.6.8. continua de la página anterior.

B39	Servicios de mina	7,60	270,0	8,41	100,00	-	-	<u>4,25</u>	55,00	-	-
B40	Desagüe de mina	7,59	501,0	<u>58,90</u>	257,00	-	-	<u>3,85</u>	80,00	-	-
B41	Potable	7,69	164,0	<u>12,84</u>	7,00	-	-	0,82	20,00	-	-
B42	Potable	7,73	158,0	<u>11,96</u>	2,00	-	-	0,85	26,00	-	-
B43	Potable	7,70	209,0	<u>31,44</u>	8,00	-	-	1,30	45,00	-	-
B44	Potable	7,25	153,0	<u>37,20</u>	7,00	-	-	<u>2,00</u>	70,00	-	-
B45	Potable	7,91	158,0	9,30	21,00	-	-	0,75	35,00	-	-
B46	Agrícola	7,12	664,0	<u>36,31</u>	323,00	-	-	<u>2,25</u>	180,00	-	-
B47	Agrícola	7,25	766,0	<u>21,70</u>	349,00	-	-	<u>3,40</u>	<u>242,00</u>	-	-
B48	Agrícola	7,56	896,0	<u>13,73</u>	375,00	-	-	<u>4,15</u>	<u>281,00</u>	-	-
B49	Sin uso	7,67	<u>1232,0</u>	<u>15,06</u>	<u>932,00</u>	-	-	<u>4,35</u>	<u>280,00</u>	-	-
B50	Servicios	7,38	589,0	6,64	132,00	-	-	<u>3,05</u>	91,00	-	-
B51	Desagüe de mina	7,47	425,0	<u>141,27</u>	122,00	-	-	<u>4,00</u>	74,00	-	-

* No se considera dentro de la norma NOM-127-SSA1-1997.

Todas las unidades en mg/l excepto Cd y U en µg/l.

6.5.4.1. Características químicas que sobrepasan la norma

Nitratos (NO_3^-) y Sulfatos (SO_4^{2-}) El uso de agroquímicos es el causante principal de la presencia de estos compuestos en las aguas subterráneas, sin embargo también pueden ser el resultado de algún tipo de efluente de aguas residuales de fosas sépticas y material fecal proveniente del ganado (Jiang et al., 2009).

El 37,25% de las muestras presenta concentraciones de NO_3^- entre el rango de 11,51 a 141,27 mg/l, mientras que un 7,84% de las muestras presenta valores de las concentraciones de SO_4^{2-} entre 600 a 933,24 mg/l. De acuerdo a la norma, se determina que los valores permisibles para éstos parámetros son de 10 mg/l para NO_3^- y 400 mg/l para SO_4^{2-} .

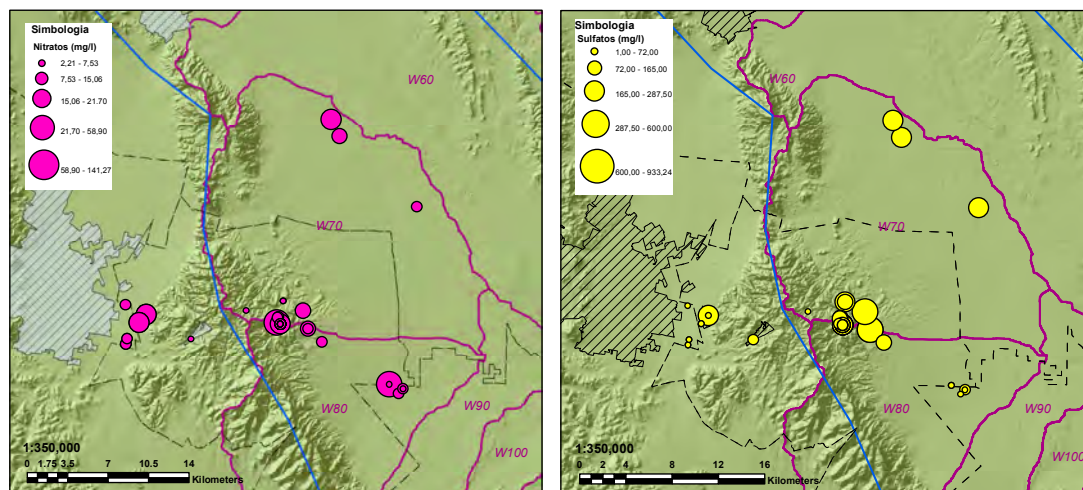


Figura 6.22.: Distribución espacial de las concentraciones de NO_3^- y SO_4^{2-} .

Arsénico (As) Es un elemento traza sólido de color gris acero de gran toxicidad que se encuentra de forma natural. Los pesticidas que se usaban en años anteriores generaban un incremento de los niveles de éste elemento en el ambiente (Hernández Martínez, 2008). El 9,80% del total de muestras recolectadas, sobrepasan el valor límite permisible de la norma (0,025 mg/l)¹. Los valores de As en las muestras oscilan entre 0,06 y 1,25 mg/l.

Cadmio (Cd) Es un metal que se encuentra naturalmente en la corteza terrestre. En su estado puro presenta una apariencia suave de color plateado y se asocia con yacimientos de zinc, plomo y cobre. Cuando forma compuestos como sulfatos de cadmio y cloruros de cadmio, éstos son solubles en agua. Las actividades de explotación y refinación de metales no ferrosos, producción y uso de fertilizantes fosfatados, la quema de combustibles fósiles e incineración de materiales de desecho son causas comunes de emisiones de cadmio en el aire, agua y suelo (ATSDR, 2012).

Solamente el 3,90% de las muestras sobrepasan los límites permisibles de concentraciones de cadmio presentando valores de 11,58 y 60,91 $\mu\text{g/l}$, en comparación con la cantidad máxima de 5,0 $\mu\text{g/l}$ especificada en la norma.

¹última modificación a la norma en el año 2005.

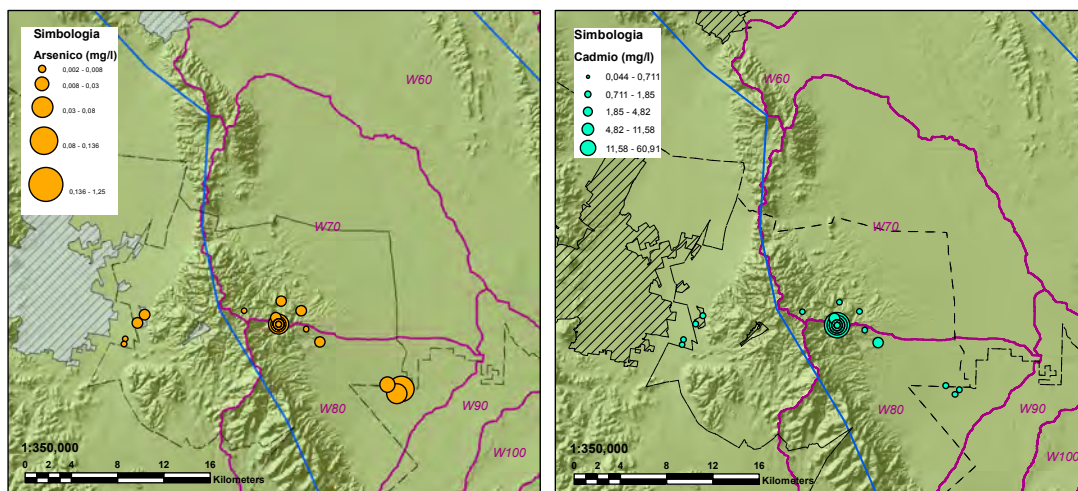


Figura 6.23.: Distribución espacial de las concentraciones de As y Cd.

Fluoruro (F^-) Los fluoruros son sales que tienen como anión al F^- . Pueden ser soluble en agua y se pueden combinar con otros elementos resultando en compuestos usualmente incoloros como el fluoruro de sodio. Por otro lado el flúor es un elemento que se puede hallar de forma natural en el ambiente; sin embargo éste es muy reactivo y es inusual encontrarlo en su forma pura (gas de color amarillo verdoso). Los fluoruros se encuentran en las rocas, carbón, arcillas o en el suelo y cuando se encuentra en el agua, el fluoruro se asocia con diversos elementos como el aluminio en el caso del agua dulce (ATSDR, 2003).

En los resultados de laboratorio, aproximadamente la mitad de las muestras (45,10%) contenían concentraciones altas de fluoruro observando un rango de valores que fluctuaba entre 1,94 y 19,63 mg/l; siendo que la norma establece 1,50 mg/l como límite permisible para agua destinada al consumo humano.

Sodio (Na^+) En el ambiente, el sodio se encuentra de manera combinada en rocas conformadas por silicatos complejos. Comparado con el potasio, es más común encontrar mayores concentraciones de sodio causado por la absorción de potasio por arcillas (Hernández Martínez, 2008).

En este caso, se presentó que en el 7,84% de las muestras se encontraron valores mayores a los 200 mg/l especificados por la norma. El valor máximo registrado en los resultados fue de 281 mg/l para muestras recolectadas desde aprovechamientos de agua subterránea.

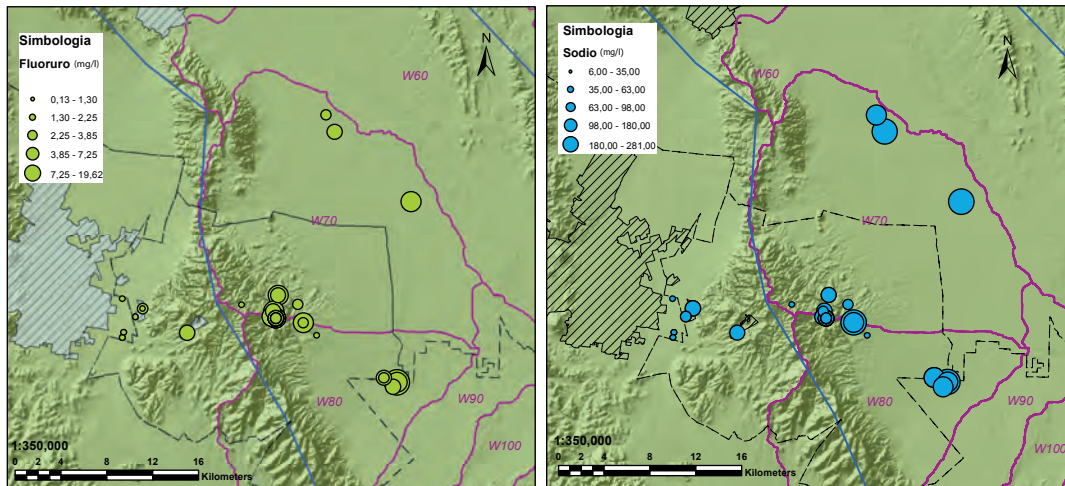


Figura 6.24.: Distribución espacial de las concentraciones de F^- y Na^+ .

Zinc (Zn) Es uno de los elementos que se encuentran comúnmente en la corteza terrestre. El zinc es liberado al ambiente por medio de procesos naturales pero las actividades humanas (minería, plantas purificadoras, producción de acero, quema de carbón y material de desecho, etc) han provocado el incremento de las concentraciones de zinc en el aire, agua y suelo (ATSDR, 2005).

Con los resultados de laboratorio actuales, únicamente el 1,96 % de las muestras presenta concentraciones de 10,84 mg/l, siendo así mayores a los de la norma (5,0 mg/l).

6.5.4.2. Concentraciones de uranio (U)

El uranio es un elemento de naturaleza radioactiva. En forma natural se encuentra una mezcla de tres isotopos diferentes: ^{234}U , ^{235}U , y ^{238}U ; de los cuales el isotopo ^{238}U es el que conforma el 99 % de la masa total de uranio (ATSDR, 2013).

Lourdes Villalba et al. (2006) presentaron resultados en donde la relación de actividades entre los isotopos ^{234}U y ^{238}U encontrados en muestras de agua recolectadas del río Chuviscar, presentaban un fuerte grado de desequilibrio (además de concentraciones anormales) de dichos isotopos, por lo que era evidencia que la contaminación se originaba por fuentes antropogénicas.

En los resultados de los análisis de 30 muestras (de un total de 51) del presente trabajo de investigación, se detectó que las concentraciones de uranio en la región oscilaban entre 0,0037 a 0,0903 mg/l. En relación a los niveles máximos de contaminación que se establecen en las *Guías para la salud y estándares del agua para consumo* de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA, 2011), se especifica un límite de 0,03 mg/l para las concentraciones de uranio, lo cual da lugar a que el 36,70 % de las muestras presenten niveles fuera de los estándares norteamericanos de calidad de agua.

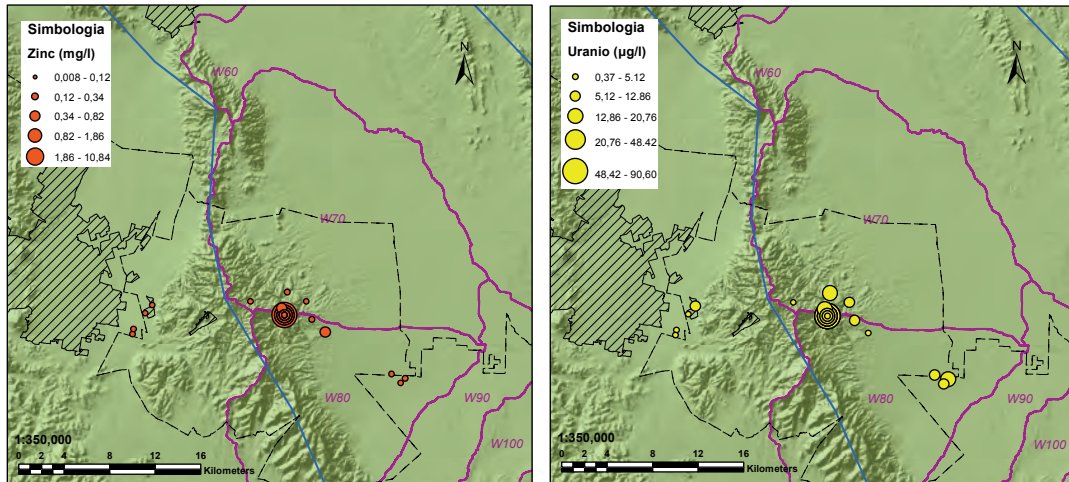


Figura 6.25.: Distribución espacial de las concentraciones de Zn y U.

6.5.5. Determinación de la dirección de flujo

La trayectoria del flujo subterráneo puede ser determinado en función de las concentraciones de Li^+ y las temperaturas registradas en las muestras de agua. El Li^+ es un elemento con alta movilidad geoquímica y ésta particularidad ayuda a determinar el grado de interacción agua-roca, sobre todo en el principio del ciclo hidrológico que es cuando las rocas aportan Li^+ al agua infiltrada. En la medida en que existe un mayor tiempo de contacto del agua con la roca, se observará a su vez un incremento de las concentraciones de Li^+ en el agua, funcionando de esta manera como un trazador natural. Al mismo tiempo, la temperatura que presenta el agua puede asociarse a los sistemas de flujo intermedios o regionales (Price, 2003).

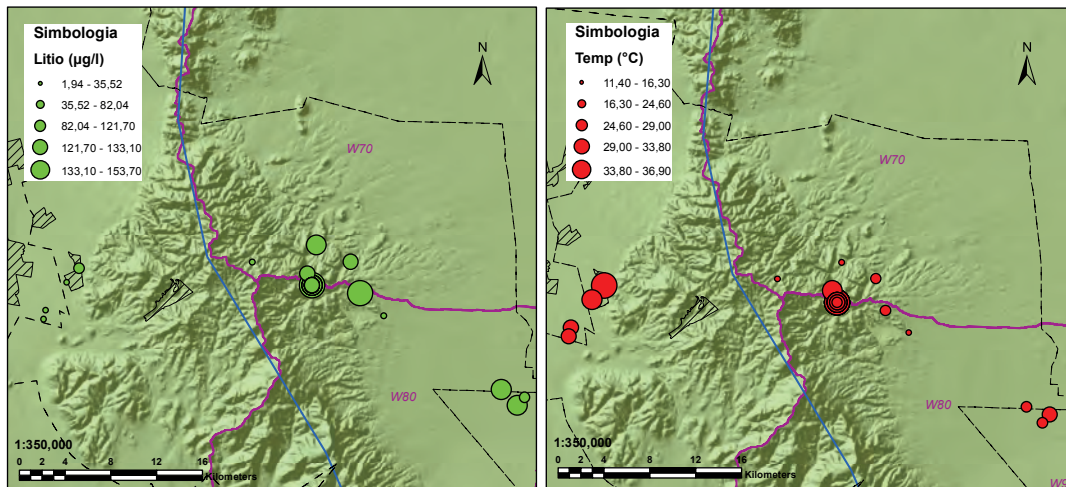


Figura 6.26.: Concentraciones de Li^+ y valores de la temperatura de las muestras recolectadas en la temporada seca-cálida.

En la **Figura 6.26** se representa la distribución espacial de las concentraciones de Li^+ encontradas en las muestras recolectadas durante la temporada seca-cálida. Claramente se pueden notar tres grupos de sitios muestreados en una franja central a través del municipio de Aquiles Serdán.

En la zona poniente cerca de los límites del municipio, fueron recolectadas cuatro muestras de fuentes de aprovechamiento de agua subterránea que en comparación con el resto de las muestras, contiene bajas concentraciones del constituyente químico (13,43 - 77,18 $\mu\text{g}/\text{l}$); sin embargo las temperaturas del agua son elevadas (27,50 - 36,80 $^{\circ}\text{C}$) pudiéndose asociar con un flujo de tipo intermedio o regional.

Al desplazarnos hacia el grupo de muestras en la parte central del municipio (ubicación de la mina San Antonio) se observa un incremento considerable de las concentraciones de Li^+ con un rango de valores entre 113,5 y 153,70 $\mu\text{g}/\text{l}$; mientras que las temperaturas se mantienen entre los 24,60 a 36,90 $^{\circ}\text{C}$, lo que sugiere que puede tratarse de un mismo tipo de flujo que conecta a ambos grupos.

Finalmente el grupo de muestras de la zona oriente del municipio, se compone únicamente por tres sitios de aprovechamiento de aguas subterráneas. Los rangos de las concentraciones de Li^+ se encuentran entre 82,04 y 133,1 $\mu\text{g}/\text{l}$. Las temperaturas de la muestras de agua se presentan valores de 23,8 a 26,7 $^{\circ}\text{C}$.

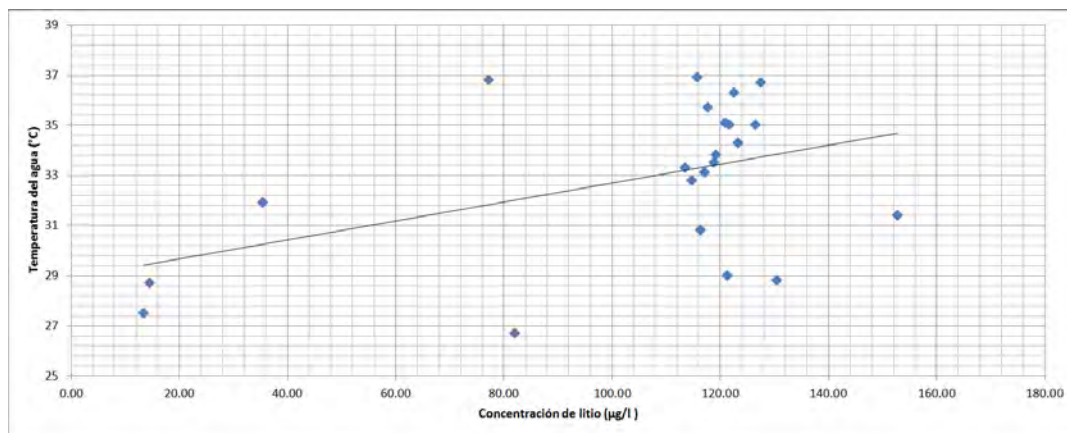


Figura 6.27.: Gráfica de temperatura y concentraciones de litio en las muestras de agua.

Una posible explicación del incremento de las concentraciones de Li^+ en las muestras de agua recolectadas en las inmediaciones y en el interior de la mina San Antonio, es la existencia de un amplio sistema de fallas y fracturas que genera una gran infiltración del agua precipitada. El tipo de roca existente en la sierra Santo Domingo es de tipo sedimentaria (caliza) e ígnea (piraclástico conglomerado polimíctico, riolita y dacita), siendo las rocas ígneas la probable fuente de liberación de Li^+ .

En la [Figura 6.27](#) se representa la relación entre temperatura y concentraciones de Li^+ de los grupos de muestras recolectados dentro del municipio de Aquiles Serdán durante la temporada seca-cálida. La interpretación conjunta de la distribución espacial del Li^+ ([Figura 6.26](#)) y la relación entre temperatura y concentraciones de Li^+ ([Figura 6.27](#)), sugieren que el agua subterránea se desplaza desde la zona metropolitana de Chihuahua hacia la parte central del municipio de Aquiles Serdán y la sierra Santo Domingo, para después cambiar de dirección hacia el SE en donde se encuentra el municipio vecino de Rosales.

6.6. Vulnerabilidad del acuífero

El análisis de vulnerabilidad del acuífero 0836 Aldama-San Diego, se realizó con base a la metodología *DRASTIC*, en donde un total de seis diferentes mapas que representan las características hidrogeológicas y morfológicas del sistema son reclasificados, multiplicados por un factor de ponderación (*weight*) y finalmente sumados para obtener una representación espacial del índice de vulnerabilidad ([Figura 6.28](#)).

Tabla 6.9.: Componentes del método *DRASTIC* para el caso de estudio Aquiles Serdán.

Componente DRASTIC	Weight
Profundidad del Nivel Estático (<i>D</i>)	4
Recarga Neta (<i>R</i>)	5
Medio del Acuífero (<i>A</i>)	5
Medio del Suelo (<i>S</i>)	2
Topografía (<i>T</i>)	1
Impacto en la zona no-saturada (<i>I</i>)	5

El valor máximo que puede alcanzar del índice de vulnerabilidad es 215; mientras que el valor mínimo es 27. Los valores del índice de vulnerabilidad para la actual zona de estudio se encuentran entre 82 y 166 ([Figura 6.29](#)).

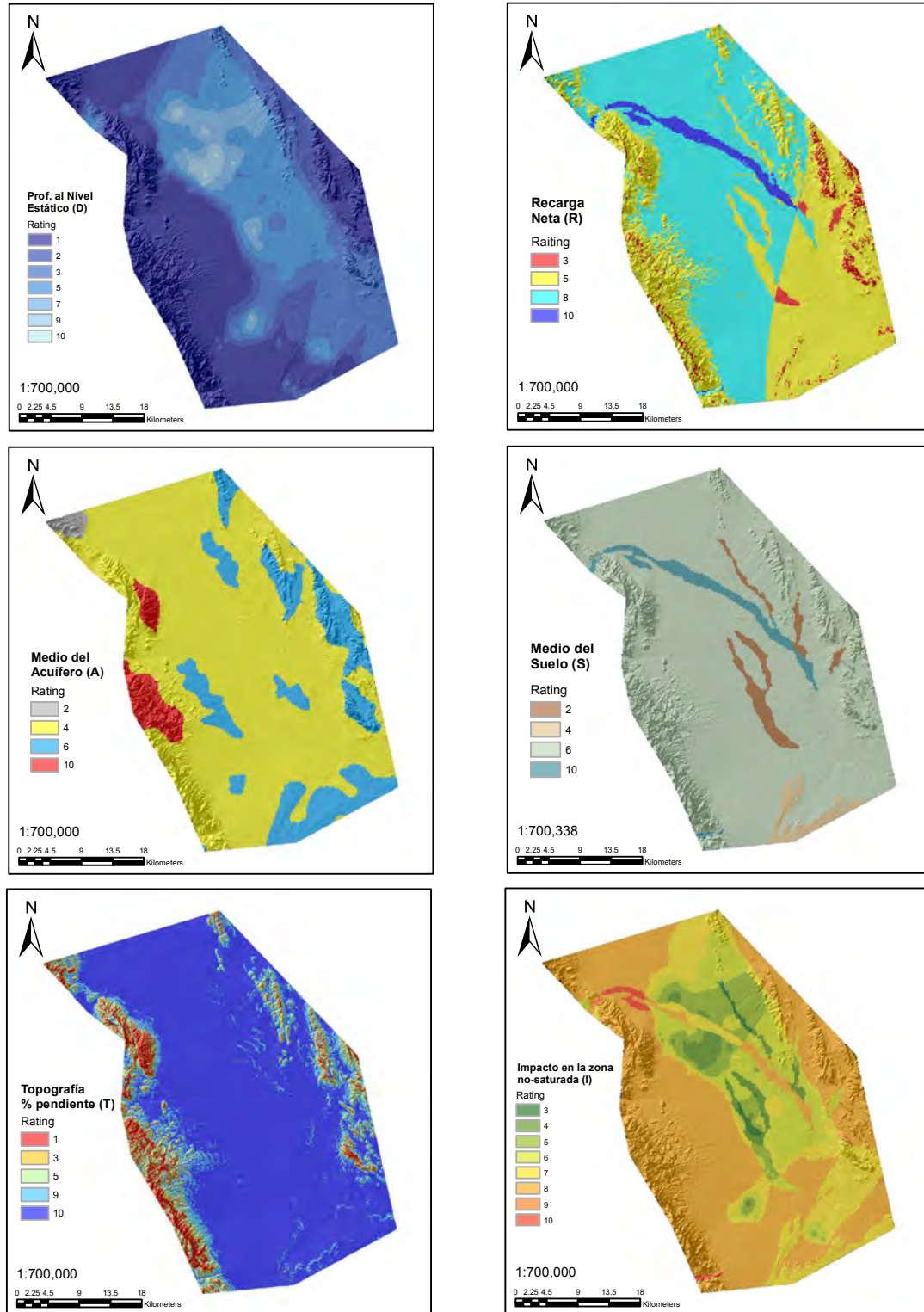


Figura 6.28.: Mapas de los factores del índice de vulnerabilidad.

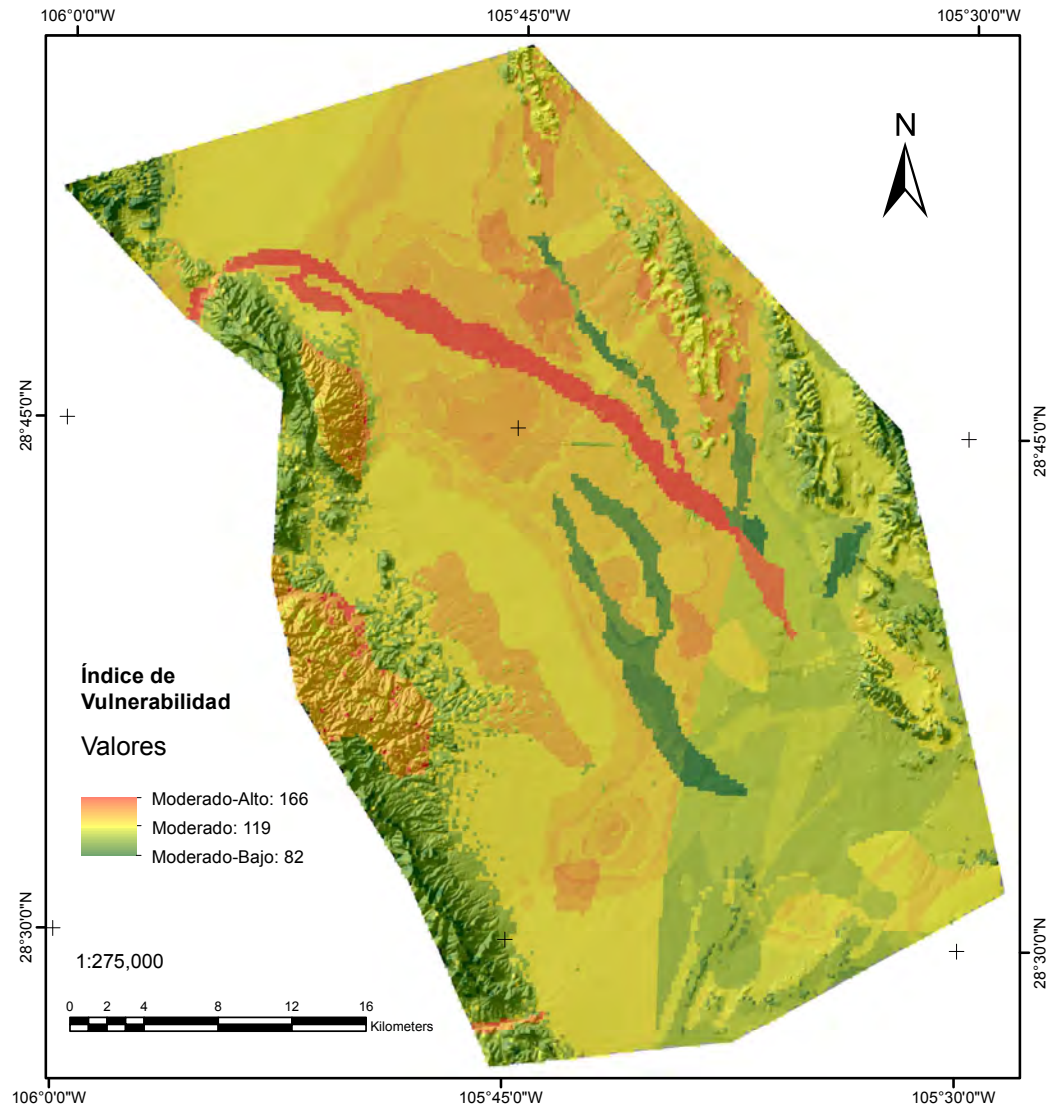


Figura 6.29.: Representación espacial del índice de vulnerabilidad del acuífero 0836 Aldama - San Diego, estimado por el método DRASTIC.

A pesar de que la metodología *DRASTIC* posee ciertas limitaciones en el momento de ser aplicada a sistemas kársticos (como en el presente caso de estudio), se considera que puede ser aplicable a prácticamente cualquier tipo de acuíferos obteniendo resultados confiables con el uso de información de baja o alta resolución. La metodología *DRASTIC* emplea un mayor número de parámetros en comparación de otros métodos, que aunque son más eficaces para sistemas kársticos (EPIK, PI, COP) ofrecen resultados con resolución y son recomendados para ser empleados en áreas muy extensas (escala regional) y no para delimitaciones pequeñas (escala local) (Polemio et al., 2009).

De acuerdo al Anexo Normativo 2 de la norma oficial mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003, se establece que para la evaluación de la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación, debe ser

aplicado el método conocido como GOD en donde únicamente se requieren de tres parámetros: (a) confinamiento hidráulico del agua subterránea, G ; (b) granulometría y litología sobreyacente, O ; y (c) profundidad del agua subterránea, D . Sin embargo, éste método paramétrico es uno de los más simples y al igual que los métodos EPIK, PI y COP, ofrece una baja resolución en los resultados; por lo tanto para su empleo se recomienda contar con casos con gran extensión y alto contraste de los niveles de vulnerabilidad (Polemio et al., 2009; Jamrah et al., 2008).

6.6.1. Clasificación de la vulnerabilidad del acuífero 0836 Aldama-San Diego

Los resultados del análisis de vulnerabilidad del acuífero de la región de estudio da lugar a la clasificación de por lo menos tres niveles diferentes.

Moderado-Alto Estos niveles de vulnerabilidad se asocian a una parte del cauce del Río Chivís-car que corresponde a una franja ubicada en la parte central del valle de 1.5 km de ancho y 7.5 km de longitud con rumbo SE. El aumento de vulnerabilidad en las inmediaciones del río Chivís-car, se deben sobre todo a la combinación de tres factores importantes: (a) baja profundidad del nivel freático; (b) las características topográficas y la distribución espacial de la precipitación favorecen la recarga del acuífero; y la (c) permeabilidad del suelo favorable para la infiltración.

Moderado Se establece de forma general en la parte central del valle y en algunas zonas altas de la sierra Santo Domingo y San Ignacio afectadas principalmente porque se cuenta con un sistema de fallas y fracturas que propician la infiltración.

Moderado-Bajo El terreno de las serranías y la parte baja en el oriente del valle, poseen un índice de vulnerabilidad moderado-bajo. Las altas pendientes y baja permeabilidad que se presenta en la mayor parte del terreno elevado, aunado a que en ésta zona el nivel freático se encuentra a mayor profundidad en comparación a la parte central del valle, generan una nivel moderado-bajo de la vulnerabilidad.

Por otro lado, a pesar de que en la parte oriental del valle el agua del subsuelo se encuentra a pocos metros de la superficie y que la permeabilidad del suelo favorezca a la infiltración del agua, la variabilidad de la distribución espacial de la precipitación afecta negativamente a la recarga del acuífero y se traduce en una disminución de la vulnerabilidad.

6.7. Modelo Hidrológico

En la generación del modelo hidrogeológico se retomaron las delimitaciones del área de estudio y algunos de los parámetros calculados durante la etapa de caracterización morfológica. A partir

de las microcuencas delimitadas (W60, W70, W80, W90 y W100), el software HEC-HMS realiza la representación de los componentes que integran el sistema, dando lugar a tres diferentes elementos: subcuencas, uniones y salida de la cuenca (Figura 6.30).

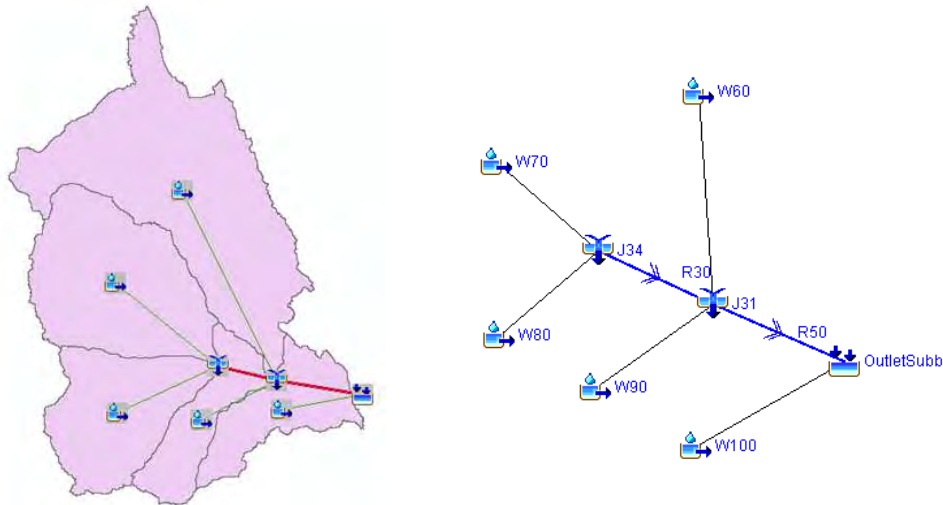


Figura 6.30.: Región de estudio con simbología de HEC-HMS.

En cuanto a los parámetros morfológicos, se requiere retomar el área de las microcuencas (A), el número de curva (CN), y las longitudes de los cauces (L y L_c) para determinar los coeficientes y parámetros necesarios en la construcción del diagrama unitario sintético de Snyder (Tabla 6.10 y Tabla 6.11).

Tabla 6.10.: Tiempos de trayecto (t_t) de los diferentes tipos de flujo y tiempo de concentración (t_c) para cada una de las cinco microcuencas del área de estudio.

Subcuenca	W60	W70	W80	W90	W100
Flujo Laminar					
Longitud (m)	100	100	100	100	100
Flujo Laminar - t_t (h)	0,32	0,22	0,31	0,29	2,72
Flujo Superficial					
Longitud (m)	23 484,20	24 437,78	34 619,07	26 199,47	22 265,46
Velocidad Promedio (m/s)	0,82	1,38	1,18	0,98	0,39
Flujo Superficial - t_t (h)	7,97	4,91	8,12	7,40	15,84
Flujo a canal abierto					
Velocidad Promedio (m/s)	0,74	0,82	1,06	0,69	0,74
Longitud (m)	40 979,06	18 115,30	9 391,40	6 757,11	12 161,24
Flujo a canal abierto - t_t (h)	15,35	6,17	2,46	2,71	4,56
Tiempo de concentración - t_c (h)	23,64	11,31	10,89	10,39	23,12

Tabla 6.11.: Parámetros y coeficientes para la construcción del UH de Snyder.

Basin	A (km ²)	L (km)	L _c (km)	tp (h) (TR-55)	tr (h)	Tp (h)	qp (m ³ /s)	Cp	Ct	Basin CN	S (mm)	I _a (mm)
W60	679,5366	62,8349	32,4027	14,1812	2,5784	15,4704	91,3640	0,6933	1,9232	76,9516	76,0775	15,2155
W70	395,0450	42,6711	18,1772	6,7850	1,2336	7,4019	111,0117	0,6933	1,2291	78,3903	70,0198	14,0040
W80	268,4583	44,1901	44,1901	6,5359	1,1883	7,1300	78,3156	0,6933	0,8975	77,3460	74,3944	14,8789
W90	145,3238	33,0719	16,0341	6,2346	1,1336	6,8014	44,4428	0,6933	1,2659	78,3540	70,1700	14,0340
W100	171,6161	33,3613	16,5011	13,8703	2,5219	15,1313	23,5910	0,6933	2,7848	79,6618	64,8479	12,9696

Además de los parámetros de la [Tabla 6.11](#), para la elaboración del modelo hidrológico es necesario especificar el método de análisis de los datos meteorológicos. Dentro de las opciones disponibles, se eligió el método Hietograma Especificado, que consiste en introducir las series de datos históricos de precipitaciones diarias disponibles.

Este método requiere que se cuente con series históricas completas, de otro modo el programa detectará un error en los datos de entrada o asignará el valor de cero a los campos de precipitación faltantes, reduciendo la precisión de los resultados obtenidos.

De acuerdo a los registros de precipitación diaria disponibles para la zona de estudio, únicamente se identificaron 8 estaciones meteorológicas automáticas ([Tabla 6.12](#)) que presentan datos completos para un mismo periodo de tiempo, del 01 de enero de 1967 al 31 de julio de 1975, conformando 3,133 días totales.

Tabla 6.12.: Estaciones meteorológicas empleadas para la obtención de series históricas de precipitación.

ESTACIÓN	NOMBRE	MUNICIPIO	ORGANISMO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	INICIO DEL RE- GISTRO	FINAL DEL RE- GISTRO
8049	LUIS L. LEON	ALDAMA	CONAGUA-DGE	28,9786	-105,3117	1,080 msnm	13.09.1964	31.12.2003
8056	PRESA EL REJON (DGE)	CHIHUAHUA	CONAGUA-DGE	28,6142	-106,1192	1,464 msnm	01.01.1969	31.12.2002
8085	LA BOQUILLA	SAN FRANCISCO DE CONCHOS	CONAGUA-DGE	27,5439	-105,4119	1,323 msnm	01.06.1949	31.12.2003
8092	LAS BURRAS	JULIMES	CONAGUA-DGE	28,515	-105,4306	1,093 msnm	01.07.1949	31.12.2000
8113	PRESA CHIHUAHUA (SMN)	CHIHUAHUA	CONAGUA-SMN	28,5694	-106,1664	1,532 msnm	22.09.1961	28.06.2001
8147	UNIVERSIDAD	CHIHUAHUA	CONAGUA-SMN	28,7056	-105,9939	1,350 msnm	01.01.1969	31.12.2003
8162	CAMARGO (DGE)	CAMARGO	CONAGUA-DGE	27,7	-105,1833	1,250 msnm	01.06.1922	31.12.2000
8185	PRESA CHIHUAHUA (DGE)	CHIHUAHUA	CONAGUA-DGE	28,5833	-106,1667	1,548 msnm	01.10.1961	22.12.2000

Al tener todos los parámetros, coeficientes y métodos de cálculo requeridos por HEC-HMS, es posible analizar tanto eventos de precipitación aislados como periodos de tiempo completos, especificando las fechas de inicio y fin deseadas.

En la [Figura 6.31](#) y [Figura 6.33](#) se pueden observar los resultados de análisis de un evento aislado (periodo de mayor precipitación en la serie) y para el registro completo de los eventos de

precipitación (periodo 01.1967 – 07.1975). Los resultados se presentan en forma de gráficas y volúmenes del modelo precipitación-escorrentía estimados en la salida de la cuenca.

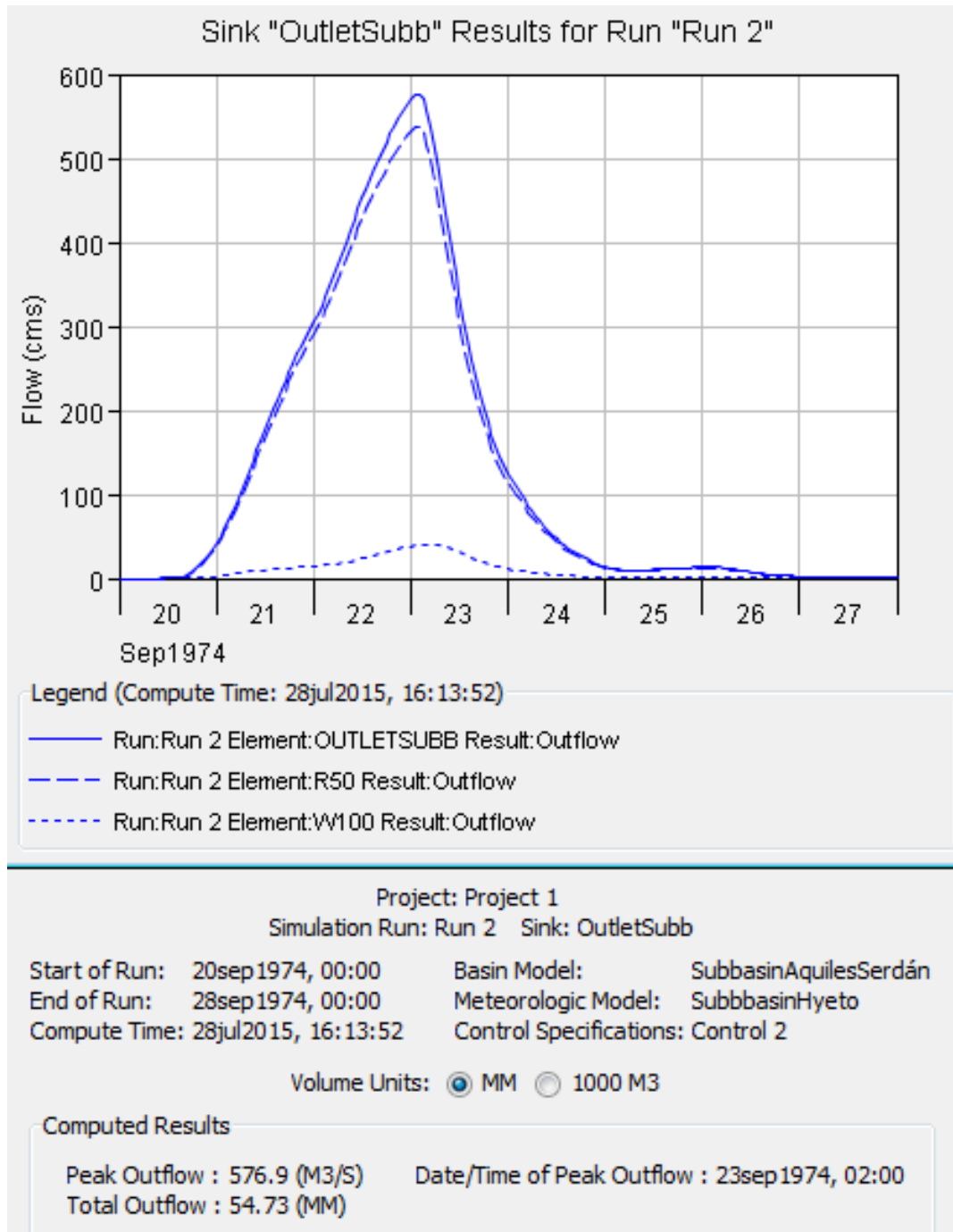


Figura 6.31.: Resultados para un evento aislado. Precipitación diaria máxima registrada en el periodo 01.1967 – 07.1975.

Project: Project 1 Simulation Run: Run 2

Start of Run: 20sep1974, 00:00 Basin Model: SubbasinAquilesSerdán
 End of Run: 28sep1974, 00:00 Meteorologic Model: SubbasinHyeto
 Compute Time: 28jul2015, 16:13:52 Control Specifications: Control 2

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
W60	679.54	216.4	23sep1974, 04:00	35411.9
W70	395.04	174.5	23sep1974, 01:00	26029.0
W80	268.46	102.4	23sep1974, 03:00	16591.2
J34	663.50	275.5	23sep1974, 01:00	42620.2
R30	663.50	275.5	23sep1974, 01:00	42620.2
W90	145.32	49.4	23sep1974, 01:00	6840.0
J31	1488.36	537.6	23sep1974, 01:00	84872.1
R50	1488.36	537.6	23sep1974, 01:00	84872.1
W100	171.62	39.9	23sep1974, 04:00	5971.7
OutletSubb	1659.98	576.9	23sep1974, 02:00	90843.8

Figura 6.32.: Cuadro de resumen de volúmenes para el evento aislado de mayor precipitación en el periodo 01.1967 – 07.1975.

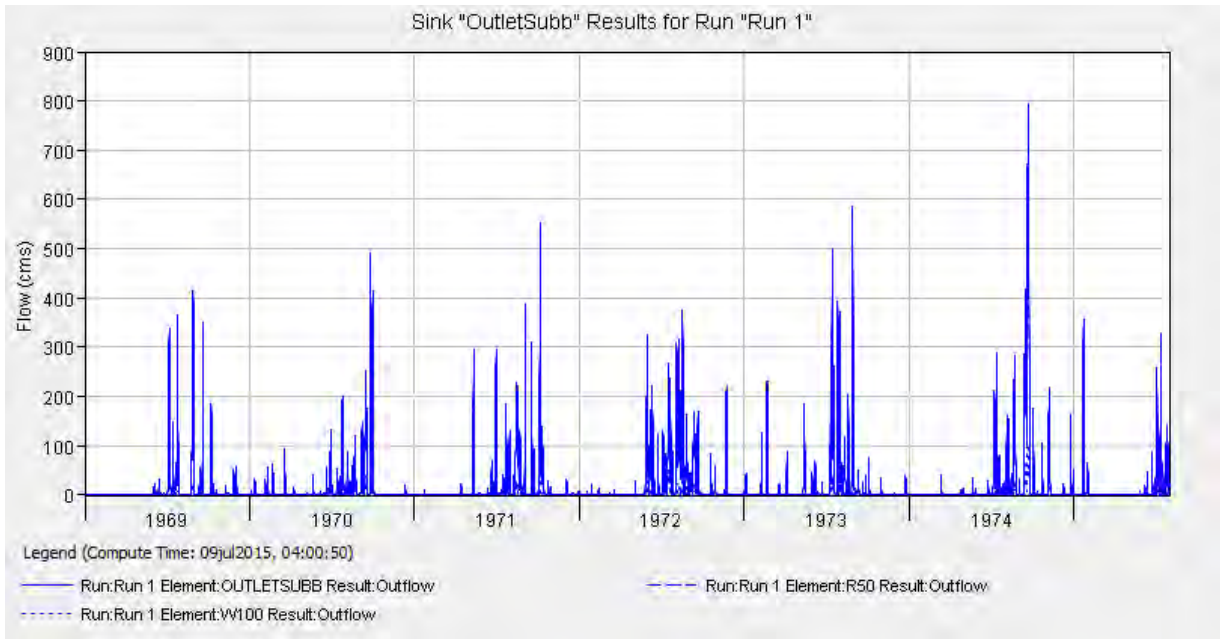


Figura 6.33.: Resultados de volúmenes de escorrentía para los registros completos del periodo 01.1967 – 07.1975.

6.8. Simulación de flujo subterráneo y transporte de contaminantes

Para poder ejecutar el software de código libre *Sflux*, es necesario determinar una colección de puntos con coordenadas y datos de elevaciones del nivel freático en compañía del polígono de delimitación geográfica (dominio) del acuífero (Figura 6.34). Esta información debe encontrarse correctamente georreferenciada en el Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (UTM) para el correcto funcionamiento del software.

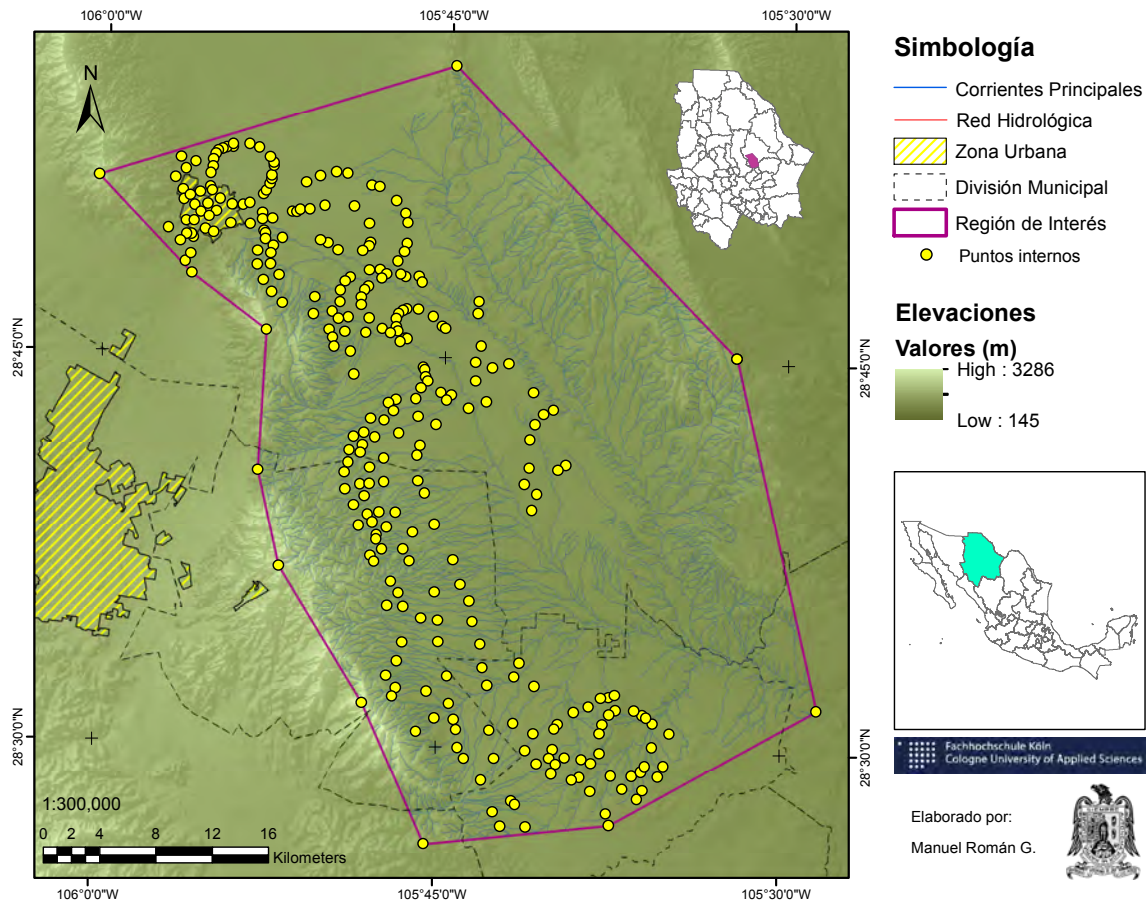


Figura 6.34.: Polígono de delimitación (dominio) del acuífero y puntos internos con elevación conocida del nivel freático.

6.8.1. Generación de la malla de elementos finitos

El primer producto que se genera con la ejecución de *Sflux*, es la malla de elementos finitos delimitada por las coordenadas del dominio del acuífero. El *shape file* del dominio es la referencia por medio de la cual *Sflux* genera la malla tomando como origen del sistema los valores mínimos

$(X_{\min.}, Y_{\min.})$ y les asigna los valores $(0,0)$. En la **Figura 6.35** se muestra el dominio con una malla de elementos finitos compuesta por 2 496 celdas.



Figura 6.35.: Malla de elementos finitos (2,496 celdas) delimitada por el dominio del acuífero.

6.8.2. Flujo de aguas subterráneas

El siguiente producto generado es la solución numérica del problema de flujo de aguas subterráneas. Esta solución es mejor conocida como superficie equipotencial, la cuál puede ser comparada con los datos calculados en ArcMAP mediante interpolación (método IDW) de la colección de valores puntuales de las elevaciones del nivel freático (**Figura 6.36**).

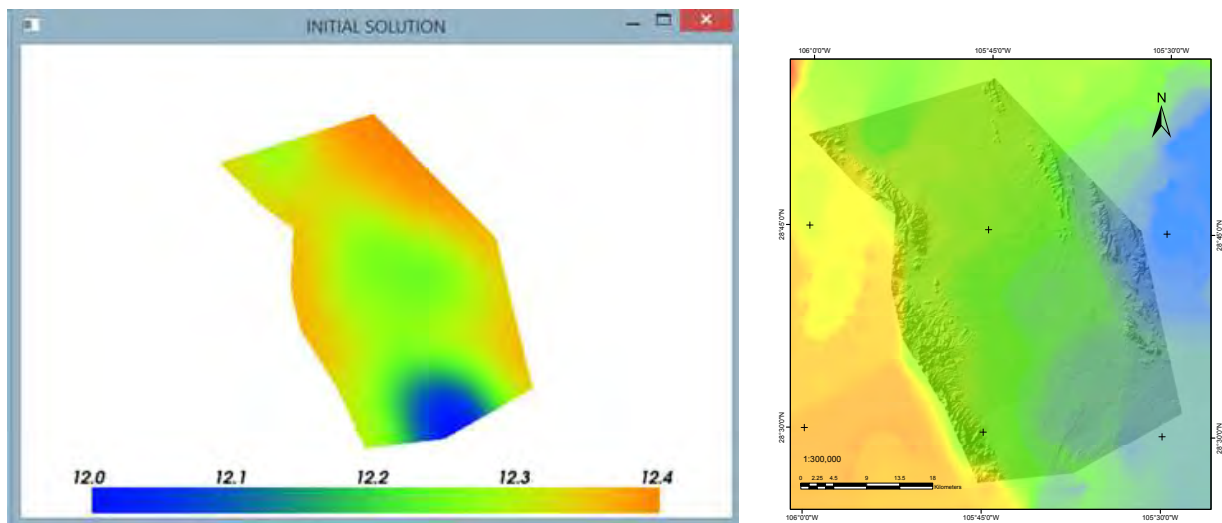


Figura 6.36.: Dirección de flujo de aguas subterráneas. Solución calculada por *Sflux* (izquierda). Interpolación por el método IDW con ArcMap (derecha).

6.8.3. Campo de velocidades

El tercer producto generado por *Sflux* es el campo de velocidades calculado con base a la ecuación de Darcy (Figura 6.37). Los valores involucrados para la estimación de las velocidad se obtuvieron a partir de estudios de determinación de la disponibilidad de agua subterránea en acuíferos publicados por CONAGUA (2008), en donde se establecen que para el acuífero que corresponde a la zona de estudio, el coeficiente de almacenamiento es igual a 0,07, la transmisividad es de $0,0033 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, y un valor de conductividad hidráulica igual a $1,8758 \times 10^{-1} \text{ m}^2 \text{ día}^{-1}$.

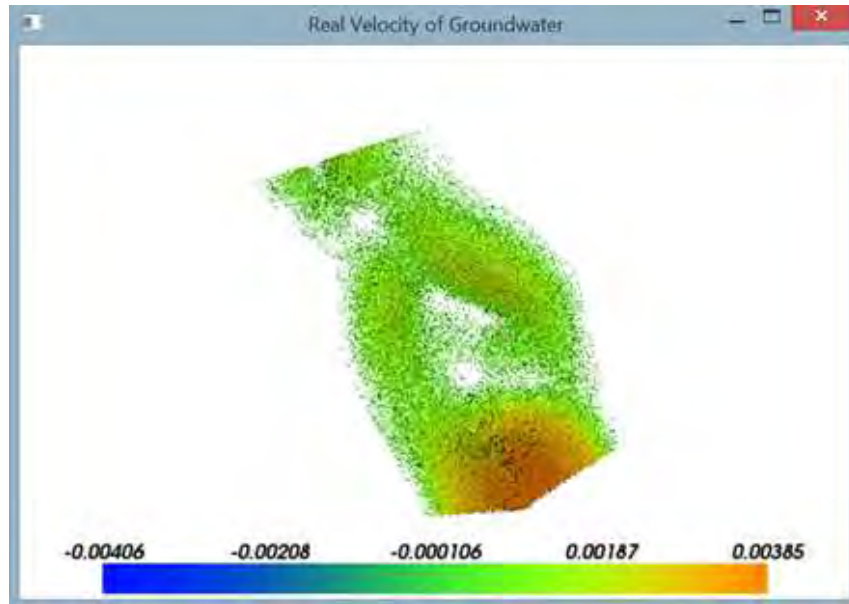


Figura 6.37.: Campo de velocidades del flujo de aguas subterráneas.

6.8.4. Transporte de contaminantes

En el cuarto y último proceso, se cuenta con la solución de la dispersión o transporte de contaminantes, en donde el campo de velocidades se conjuga con ecuaciones parabólicas - por ser consideradas apropiadas para determinar éste tipo de dispersiones en aguas subterráneas.

En éste caso particular, se consideró que la unidad minera actúa como una fuente puntual de un contaminante hipotético a partir de la cual se calcula el frente de dispersión en un periodo de tiempo determinado.

La unidad minera Santa Eulalia se localiza muy cerca de los límites del dominio del acuífero (Figura 6.36). De acuerdo al sistema UTM, las instalaciones administrativas de la mina, en conjunto con los equipos y maquinaria para la molienda y concentrado del mineral se encuentran en la coordenadas 420 474,48 W, 3 164 222,91 N de la zona 13R (Figura 6.38). Junto con las

instalaciones de la mina San Antonio, se encuentra una obra de contención de jales mineros procedentes del proceso de flotación (Figura 6.39). El agua contenida en la presa de jales es reutilizada en el proceso de concentración del mineral para optimizar el uso del recurso hídrico.



Figura 6.38.: Ubicación de la unidad minera Santa Eulalia



Figura 6.39.: Instalaciones y presa de jales de la mina San Antonio (al centro y a la izquierda), pueblo de San Antonio (derecha).

Fuente: Google Earth, 2014.

En la simulación del transporte de contaminantes se ofrecen dos resultados. El primer resultado demuestra el comportamiento del movimiento del contaminante afectado por las características hidrogeológicas del acuífero (Figura 6.40). En el segundo resultado se muestra la concentración

del contaminante (por medio de isolíneas) una vez que el proceso de la simulación ha alcanzado el límite temporal establecido desde el inicio del cálculo (Figura 6.41).

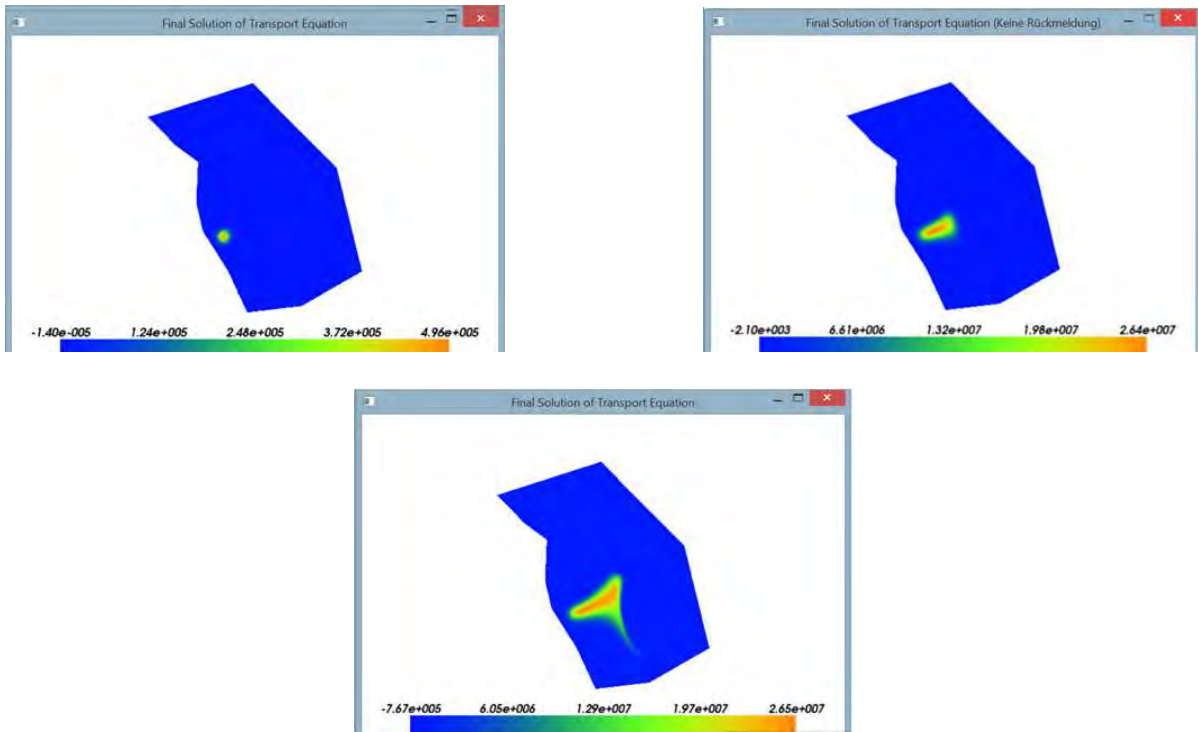


Figura 6.40.: Etapas de la dispersión del contaminante hipotético a partir de una fuente puntual. Etapa inicial (arriba a la izquierda), etapa intermedia (arriba a la derecha) y etapa final (abajo y en medio).

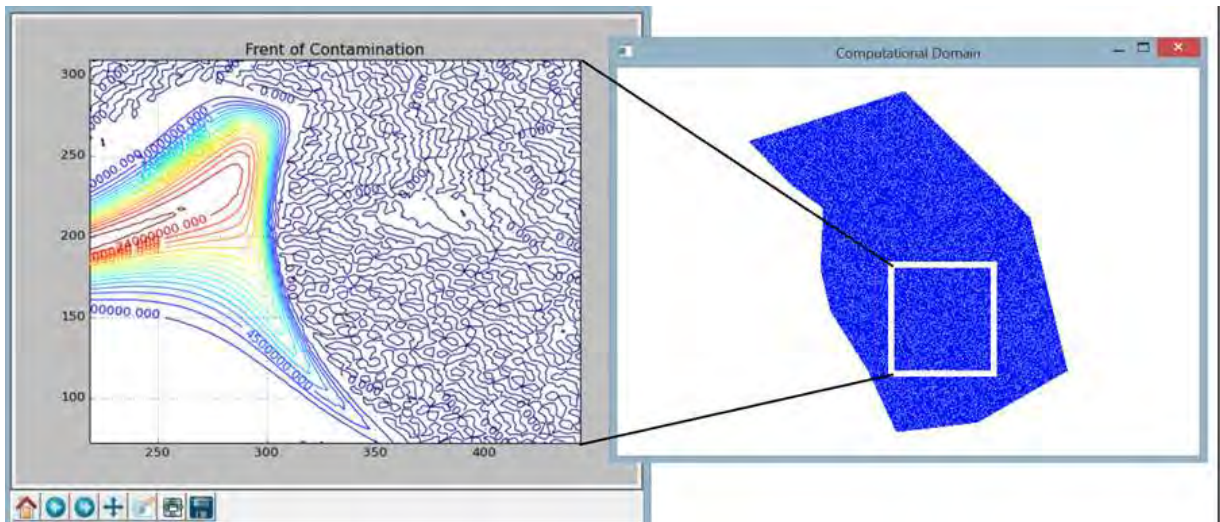


Figura 6.41.: Isolíneas de concentración del contaminante hipotético.

7. CONCLUSIONES

El agua subterránea es un recurso vital, sobre todo en regiones áridas y semiáridas, en donde constituye la fuente principal de aprovechamiento para consumo humano y el desarrollo de las actividades productivas. Para garantizar la disponibilidad y calidad del recurso es necesario el desarrollo y aplicación de un Plan de Gestión Integral del Agua (PGIA).

El PGIA es el resultado de un proceso multidisciplinario, ya que incluye a todos los diferentes sectores (ambiental, social, económico, político) que necesariamente convergen en la unidad básica de gestión hidrogeológica. La característica multidisciplinaria del PGIA en conjunto con la recopilación e integración de información (en cantidad y calidad suficientes), representan algunos de los mayores retos inherentes que ofrece el desarrollo e implementación del plan de gestión.

A pesar de que actualmente se reconoce que el PGIA es una medida de prevención y disminución de los impactos negativos que afectan la calidad y disponibilidad del agua, aún existe un estado generalizado de omisión de acciones para la reducción de consumo del recurso hídrico y disminución en la emisión de contaminantes. Ésta falta de acciones y la toma inadecuada de decisiones, crea un alza en los costos de producción de bienes y servicios en conjunto con considerables daños ambientales, que incluso en algunos casos llegan a ser irreversibles.

Independientemente de las estrategias que se propongan, para la ejecución del PGIA es esencial: (a) la instalación de una adecuada red de monitoreo; (b) promover el desarrollo de una actitud proactiva entre los diferentes usuarios y consumidores del recurso hídrico; (c) la intervención de las instituciones de gobierno y (d) el apoyo de las comunidades de la región.

Durante el proceso de adopción de estrategias adecuadas para integración del PGIA deben considerarse los factores ambientales, sociales, económicos y políticos en la región, además de las posibles fuentes de contaminación y de los contaminantes en la zona. La mayoría de las estrategias que pueden ser aplicadas pertenecen a una de las tres categorías siguientes (NWQMS, 1995):

- Gestión del recurso hídrico.
- Ordenamiento de uso de suelo.
- Protección ambiental.

Para que el plan de gestión resulte eficaz, debe contener una combinación de estrategias que se adecuen a las condiciones y problemas específicos de la región.

Para el caso de estudio del municipio de Aquiles Serdán ubicado en el estado de Chihuahua y con base a los resultados de los análisis hidrogeoquímico, hidrológico y de vulnerabilidad, se pueden establecer las siguientes medidas como bases para la implementación del PGIA.

Consolidación del registro de consumidores del recurso hídrico Independientemente de las leyes, normas y regulaciones que se encargan de conccionar y controlar los volúmenes de consumo del recurso hídrico, es indispensable mantener un registro estricto de los usuarios y sus diferentes necesidades de consumo. Es indudable que dicha integración y administración de información es responsabilidad de las entidades u organizaciones de gobierno; sin embargo la cooperaciones y el apoyo de las comunidades, bajo una dirección superior, generaría un proceso transparente y eficaz para la integración de la base de datos a escala local con ahorro de recursos.

El registro de los consumidores debe considerar el destino o uso que se le otorga al recurso y la caracterización de las descargas de aguas residuales.

Actualización del inventario de aprovechamientos de agua Como complemento del registro de consumidores del recurso hídrico, es necesario mantener una relación exhaustiva y completa del tipo de fuentes de aprovechamiento, el método de extracción del recurso y los volúmenes de extracción.

El inventario ofrecerá soporte en la selección estratégica de fuentes de aprovechamiento de las cuales se recolectaran las muestras para posteriores análisis de composición química para la determinación de la variabilidad de calidad y posibles usos o tratamientos del agua.

Instalación y operación de la red de monitoreo Es de vital importancia mantener un monitoreo constante de las variables meteorológicas e hidrométricas. La densidad de la red de monitoreo será aquella que permita obtener una resolución y confiabilidad adecuadas de la variabilidad espacial de los principales parámetros meteorológicos. De nuevo, la participación y capacitación de la comunidad, puede ser un factor de importancia en la implementación completa de la red de monitoreo.

Desarrollo de un programa de medición y control eficiente del consumo de agua en actividades productivas Actualización o modernización tecnológica de los instrumentos para medición de los volúmenes de consumo del recurso hídrico con el objetivo de mantener el registro periódico y riguroso de la evolución del consumo por sectores.

Fomentar y capacitar en el uso eficiente del agua Para el caso de las actividades agrícolas el desarrollo de incentivos para la aplicación tecnológica y modernización de los sistemas de riego en conjunto con la capacitación técnica de los usuarios agrícolas. Para otro tipo de actividades, como en el caso de la minería, aplicación de incentivos o penalizaciones, por cumplimientos en la implementación de un plan de reducción gradual y eficiencia del recurso hídrico, o por irregularidades en los consumos y uso inapropiado de instalaciones y/o equipos.

Análisis de vulnerabilidad del acuífero Estudio de parámetros hidrogeoquímicos, propiedades hidráulicas del acuífero, y características geológicas y edafológicas. Durante el estudio se deben tomar todas las medidas y consideraciones necesarias para la recopilación de la información necesaria en cantidad y con la calidad suficientes.

El análisis de vulnerabilidad del acuífero cumple con la función extra de determinar el nivel de acción que se requiere para confrontar los posibles problemas de contaminación y disminución de la disponibilidad del recurso hídrico. Las acciones que se requieran dependerán directamente del tipo de problema encontrado.

Dentro de la región de estudio, se determinaron tanto fuentes de contaminación puntuales como difusas. La fuente puntual de contaminación esta representada por las actividades de explotación de minerales de Pb y Zn en la mina San Antonio, ya que los continuos problemas de inundaciones que ocurren en el interior de la mina, promueven la movilización de compuestos que quedan libres de la matriz de la roca como consecuencia de los trabajos de explotación.

Por otro lado, las fuentes de contaminación difusa dependen de la distribución de las zonas dedicadas al cultivo y las áreas urbanas. En los sectores de riego para agricultura, se presentan concentraciones altas de NO_3^- y SO_4^{2-} asociadas al uso de pesticidas y herbicidas.

Por su parte, en las fuentes de aprovechamiento de aguas subterráneas destinadas para el uso y consumo humano, se registraron niveles altos de NO_3^- que se pueden asociar a afluentes de aguas residuales provenientes de fosas sépticas, o bien a fugas en la red de saneamiento.

Tanto las zonas urbanas (Chihuahua, Santa Eulalia y Alcala) como los sectores de riego, descargan los efluentes de aguas residuales y aguas de retorno de los cultivos, directamente en el cauce del río Chuvíscar lo cual propicia la propagación de los contaminantes en toda la zona central del valle.

También es importante recordar que las actividades de explotación de uranio en años anteriores, generó un nivel de contaminación detectable por encima de los estándares norteamericanos de calidad del agua, constituyendo otro tipo de contaminación difusa. La fuente de contaminación puede asociarse tanto a los residuos procedentes de los procesos de lixiviación de uranio como a

la secuencia volcánica que conforma la sierra La Glorial ubicada a pocos kilómetros de la zona urbana de Alcala (Lourdes Villalba et al., 2006).

De acuerdo a la clasificación del grado de vulnerabilidad estimado para el acuífero 0836 Aldama-San Diego que corresponde al presente caso de estudio; Piscopo (2001) establece las siguientes medidas o acciones para garantizar la disponibilidad y la calidad del recurso hídrico:

Vulnerabilidad Baja-Moderada Se requiere establecer un monitoreo constante del sitio para su posterior estudio y seguimiento de la evolución del grado de vulnerabilidad, ya que existe un riesgo potencial de contaminación. Las actividades de monitoreo incluyen la recolección de muestras de agua y suelo además del incremento de la información del sistema hidrológico.

Vulnerabilidad Moderada Además del monitoreo constante, es indispensable un estudio detallado del sistema de aguas subterráneas. Adicionalmente, se requiere el diseño detallado de elementos de protección (atenuación natural, barreras físicas, etc.).

Vulnerabilidad Moderada-Alta En este nivel se requiere implementar todas las acciones mencionadas en los niveles anteriores, además de una demostración de la eficacia del sistema de protección de aguas subterráneas. Se requiere el desarrollo e implementación de un plan de protección que incluya un proceso de limpieza factible y un programa de monitoreo y evaluación continua.

Consideraciones finales

Se estima que las condiciones de variabilidad climática y la creciente competencia en el uso del recurso hídrico, generará una situación precaria para el acuífero 0836 Aldama - San Diego perteneciente a la región de estudio. Como ejemplo de esto, se tiene que el actual estado de sobreexplotación del acuífero Chihuahua - Sacramento (que ofrece suministro a la zona metropolitana de Chihuahua), obliga a que cierto volumen de agua del acuífero Aldama - San Diego sea destinado para satisfacer las necesidades de consumo de la población; a pesar de que los resultados de los análisis hidrogeoquímicos y del balance hídrico, han demostrado que el recurso cuenta con problemas tanto de calidad (para uso y consumo humano) como de disponibilidad.

En este punto, se concluye que es indispensable la implementación de un PGIA y se considera que la empresa Industrial Minera México (IMMSA) propietaria del distrito minero Santa Eulalia, puede desarrollar un papel importante como fuente de información y motor de desarrollo sostenible, ya que por causa de la mismas operaciones de extracción del mineral de interés, la

empresa debe generar un conocimiento especializado de la región en términos geológicos, hidrogeológicos, hidrogeoquímicos e hidrológicos que bajo un esquema de trabajo enfocado hacia la gestión integral de los recursos, aportaría amplios beneficios a la región.

El papel que puede desempeñar la empresa minera es solo una parte de la gestión, ya que es indispensable la coordinación y el apoyo de las instituciones de gobierno, sin olvidar las cuestiones normativas y de regulación impuestas por el marco legal, y sobre todo la participación y apoyo de las comunidades.

El esfuerzo conjunto de todos estos factores impulsarían el avance del desarrollo sostenible no solo en el tema de la minería en México sino también en el ámbito legal y social por causa de las reformas de los paradigmas, que sin duda serán necesarias, para lograr una conjugación no-excluyente de todos los aspectos involucrados en el proceso de la gestión integral del agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma.
- Almorox Alonso, J., 2010. Evapotranspiración potencial según Thornthwaite. Tech. rep., Universidad Politécnica de Madrid.
URL <http://ocw.upm.es/>
- Arévalo, L. A. P. n., 2013. CARACTERIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO SISTEMAS FLUJO AGUA SUBTERRÁNEA PORCIÓN CENTRO-SUR DELA MESA CENTRAL, MÉXICO. Ph.D. thesis, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- ATSDR, 2003. Toxicological profile for fluorides, hydrogen fluoride, and fluorine. Tech. rep., Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, Georgia.
URL <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp11-c1-b.pdf>
- ATSDR, 2005. Toxicological Profile for Zinc. Tech. rep., Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, Georgia.
URL <http://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-60.pdf>
- ATSDR, 2012. Toxicological Profile for Cadmium. Tech. Rep. September, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, Georgia.
URL <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5.pdf> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK158845/>
- ATSDR, 2013. Toxicological Profile for Uranium. Tech. rep., Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, Georgia.
URL <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp150.pdf>
- Bhunya, P. K., Panda, S. N., Goel, M. K., 2011. Synthetic Unit Hydrograph Methods : A Critical Review. The Open Hydrology Journal (5), 1–8.
- Blafe, M., 2006. Framework for Strategic Water Management in the Minerals Industry. Proceedings Water in Mining, 149–150.

- Bras, R. R., 1990. HYDROLOGY. An Introduction to Hydrologic Science. ADDISON-WEELEY, Massachusetts.
- CAMIMEX, 2011. INFORME ANUAL 2011 DE LA CÁMARA MINERA DE MÉXICO. Tech. rep., Cámara Minera de México (CAMIMEX).
URL <https://www.camimex.org.mx/index.php/secciones1/publicaciones/informe-anual/>
- CAMIMEX, 2014. INFORME ANUAL 2014 DE LA CÁMARA MINERA DE MÉXICO. Tech. rep., cámara Minera de México (CAMIMEX).
URL <https://www.camimex.org.mx/index.php/secciones1/publicaciones/informe-anual/>
- Campos Aranda, D. F., 1992. Procesos del Ciclo Hidrologicos, segunda ed Edition. San Luis Potosi, SLP.
- Cap-Net, 2005. Planes de Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Tech. rep., Red Internacional para el Desarrollo de Capacidades en la Gestión Integrada del Recurso Hídrico.
- Carmonara, M. D. C., 1990. Análisis de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente *. Derecho Comparado (67), 232–243.
- CAS, 1999. Estudio hidrogeoquímico y de trazadores en la de Mina San Antonio, del Municipio de Aquiles Serdán, Chih. Tech. rep., Consultores en Agua Subterránea S.A., Chihuahua, Chihuahua.
- CAS, 2000. Estudio hidrogeoquímico y de trazadores en la Mina de San Antonio, del Municipio de Aquiles Serdán. Tech. rep., Consultores en Agua Subterránea S.A.
- Chesnaux, R., Lambert, M., Walter, J., Fillastre, U., Hay, M., Rouleau, A., Daigneault, R., Moisan, A., Germaneau, D., Nov. 2011. Building a geodatabase for mapping hydrogeological features and 3D modeling of groundwater systems: Application to the Saguenay–Lac-St.-Jean region, Canada. Computers & Geosciences 37 (11), 1870–1882.
URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098300411001452>
- Chopra, R., Dhiman, R. D., Sharma, P. K., 2005. Morphometric analysis of sub-watersheds in Gurdaspur district, Punjab using remote sensing and GIS techniques. Journal of the Indian Society of Remote Sensing 33 (4), 531–539.
- CNA, 2002. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-011-CNA-2000, CONSERVACIÓN DEL RECURSO AGUA - QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES Y EL MÉTODO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE LAS AGUAS NACIONALES. Diario Oficial de la Federación.

- Coll-Hurtado, A., Sánchez-Salazar, M. T., Morales, J., 2002. La Minería en México, geografía, historia, economía y medio ambiente. DGAPA, México, D.F.
URL <http://www.igeograf.unam.mx/sigg/>
- CONAGUA, 2008. DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO 0836 ALDAMA-SANDIEGO, ESTADO DE CHIHUAHUA. Tech. rep., Comisión Nacional del Agua, México, D.F.
- CONAGUA, 2013. Estadísticas del Agua en México, edición 20 Edition. México, D.F.
URL www.conagua.gob.mx
- CONAGUA, 2014. Estadísticas del agua en México. Tech. rep., Comisión Nacional del Agua, México, D.F.
URL www.conagua.gob.mx
- Deitch, M. J., Kondolf, G. M., Merenlender, A. M., 2006. Surface water balance to evaluate the hydrological impacts of small instream diversion and application to the Russian River basin, California, USA. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 30.
URL http://www.waterboards.ca.gov/waterrights/water_issues/programs/instream_flows/docs/comments/burrrk_att_2.pdf
- DOF, 1994. NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- DOF, 2005. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
- DOF, 2013. Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018.
URL http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5299465&fecha=20/05/2013
- DOF, 2014. Programa de Desarrollo Minero 2013-2018. Tech. rep., Diario Oficial de la Federación, México, D.F.
URL http://www.fifomi.gob.mx/web/images/fifomi/documentos/difusion/do_09_may_14pl_minero.pdf
- DOF, 2015a. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
URL http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_220515.pdf
- DOF, 2015b. Programa Nacional Hídrico 2014-2018. Tech. rep.
- Dourado-Neto, D., Jong van Lier, Q. D., Metselaar, K., Reichardt, K., Nielsen, D. R., 2010. General procedure to initialize the cyclic soil water balance by the Thornthwaite and Mather method. Scientia Agricola 67 (1), 87–95.

- Environment Australia, 1999. Water Management.
- EPA, 2011. 2011 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories. Tech. rep., U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
URL <http://water.epa.gov/action/advisories/drinking/upload/dwstandards2011.pdf>
- EPFI, 2013. Los Principios Del Ecuador. Tech. rep., Entidades Financieras de los Principios del Ecuador.
URL www.equator-principles.com
- F. Wang, H., P. Anderson, M., 1982. Introduction to Groundwater, united kin Edition. ACADEMIC PRESS, INC., London, UK.
- FAO, 2003. Administración de derechos de agua. Experiencias, asuntos relevantes y lineamientos. Estudio Legislativo 81, 1-43.
URL <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/y5062s/y5062s00.pdf>
- Fattorelli, S., Fernandez, P. C., 2011. Diseño Hidrológico, segunda ed Edition. Water Assesment & Advisoty Global Network (WASA-GN).
- Feldman, A. D., 2000. Hydrologic Modeling System HEC-HMS (Computer Software Technical Reference Manual). U.S. Army Corp of Engineers Hydrologic, Engineering Center (HEC), Washinton, D.C.
URL <http://www.hec.usace.army.mil/>
- Ferrero, V. O., 2004. Hidrología Computacional y Modelos Digitales del Terreno - Teoria, práctica y filosofía de una nueva forma de análisis hidrológico.
URL <http://www.gabrielortiz.com/index.asp?Info=099>
- Firmiano de Jesus, A., 2015. PHYTON CIENTÍFICO APLICADO NA MODELAGEM DO TRANSPORTE DE CONTAMINANTES EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Tech. rep., Academia da Força Aérea - AFA, DE.
- Freeze, R. A., Cherry, J. A., 1979. Groundwater. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ 07458.
- Gómez Ugarte, L. A., Güitrón de los Reyes, A., Piña Sánchez, R. A., 2013. Necesidades de investigación, desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos en apoyo a la gestión integrada de recursos hídricos. Tech. rep., Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), México, D.F.
URL <http://www.inecc.gob.mx/cuencas-eventos/435-cuencas-con-nal-tema6>

- González Rodríguez, J. d. J., 2011. Minería en México. Referencias generales, régimen fiscal, concesiones y propuestas legislativas. Tech. rep., Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública (CESOP).
- Gordon, N. D., McMahon, T. A., Finlayson, B. L., Gippel, C. J., Nathan, R. J., 2004. Stream Hydrology An Introduction for Ecologists, segunda ed Edition. JOHN WILEY & SONS, LTD, Engalnd.
- Gray, D. M., 1962. Derivation of Hydrographs for Small Watersheds From Measurable Physical Characteristics. Tech. Rep. June, IOWA STATE UNIVERSITY of Science and Technology, Ames, Iowa.
- GRI, 2013. G4: Sustainability reporting guidelines. Tech. rep.
URL www.globalreporting.org
- Grupo México, 2014. Industrial Minera México, S.A. de C.V. Unidad Santa Eulalia.
URL <https://www.camimex.org.mx>
- Güler, C., Thyne, G. D., McCray, J. E., Turner, a. K., 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. Hydrogeology Journal 10 (4), 455–474.
- GWP, 2000. Integrated Water Resources Management. Vol. 62.
URL <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21547433>
- Hamilton, D. P. E., 1989. COMPUTER MODELS FOR WATER-EXCESS MANAGEMENT. Tech. rep.
- Heath, R. C., 1983. Basic Ground-Water Hydrology.
- Hernández Martínez, J. L., 2008. Efecto de la evolución geoquímica en la calidad del agua subterránea en la porción central de la zona media del estado de San Luis Potosí. Ph.D. thesis, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Hernández Noriega, L., González Palma, M., 2006. CARTA GEOLÓGICO-MINERA AQUILES SERDÁN H13-C67, CHIHUAHUA. Tech. rep., Servicio Geológico Mexicano (SGM), Pachuca, Hgo.
- ICMM, 2003. A Sustained Commitment to Improved Industry Performance. Tech. rep., International Council on Minig & Metals.
URL www.icmm.com/our-work/sustainable-development-framework
- ICMM, 2012. Water management in mining : a selection of case studies. No. May. International Council on Mining and Metals, London, UK.
URL www.icmm.com

- IIED, 2002. Abriendo Brecha: Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable: El Informe del Proyecto MMSD. Earthscan Publications, London.
URL <http://pubs.iied.org/pdfs/9287IIED.pdf>
- INE, 1989. INSUMOS PARA EL ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DE LA ZONA ÁRIDA.
- INEGI, 2004. Unidades y Subunidades del subsuelo. In: Guía para la Interpretación de Cartografía. Aguascalientes, Aguascalientes, Ch. Capítulo 3, pp. 60–68.
URL www.inegi.gob.mx
- INEGI, 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Aquiles Serdán , Chihuahua. Tech. rep., Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
URL <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/08/08004.pdf>
- INEGI, 2007. BASE DE DATOS GEOGRÁFICOS. In: Base de Datos Geográficos. Vol. Diccionario. pp. 1–65.
- INEGI, 2008. Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México. Tech. rep., Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI, 2010a. Compendio de información geográfica municipal 2010, Aquiles Serdán Chihuahua. Tech. rep., Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
URL <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>
- INEGI, 2010b. DOCUMENTO TÉCNICO DESCRIPTIVO DE LA RED HIDROGRÁFICA ESCALA 1:50 000 (EDICIÓN 2.0). Tech. rep., Dirección General de Geografía y Medio Ambiente.
- INEGI, 2011. FICHA TÉCNICA: Conjunto de datos vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación Escala 1:250 000, Serie V (Capa Unión).
- INEGI, 2012. FICHA TÉCNICA - Conjunto de datos vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación, Escala 1:250 000, Serie V (Capa Unión). Tech. rep., Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
URL <http://www.inegi.org.mx/default.aspx>
- INEGI, 2013. Modelo digital de elevación con resolución de 15 metros. Tech. rep., Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
URL <http://www.inegi.org.mx/>
- INEGI, 2015. Producto Interno Bruto a Precios Corrientes, 1–3.
- Jamrah, A., Al-Futaisi, A., Rajmohan, N., Al-Yaroubi, S., 2008. Assessment of groundwater vulnerability in the coastal region of oman using drastic index method in gis environment. Environmental monitoring and assessment 147 (1-3), 125–138.

- Jiang, Y., Wu, Y., Groves, C., Yuan, D., Kambesis, P., Oct. 2009. Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in the Nandong karst underground river system in Yunan, China. *Journal of contaminant hydrology* 109 (1-4), 49–61.
URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169772209001077>
- Logg, A., Wells, G. N., Book, T. F., 2012. Automated Solution of Differential Equations by the Finite Element Method. Vol. 84 of *Lecture Notes in Computational Science and Engineering*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
URL <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-23099-8>
- López, B. W., López, M. J., Villar, S. B., 2013. El manejo de cuencas hidrográficas en el estado de Chiapas, México: diagnóstico y propuesta de un modelo alternativo de gestión. Tech. rep., instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), México, D.F.
URL <http://www.inecc.gob.mx/cuencas-eventos/435-cuencas-con-nal-tema6>
- Lourdes Villalba, M., Colmenero-Sujo, L. H., Montero-Cabrera, M. E., Manjón, G., Chávez-Aguirre, R., Royo-Ochoa, M., Pinales-Munguía, A., 2006. Presencia de uranio en el río chuvís-car, estado de chihuahua, méxico. *GEOS*, 1–5.
- Mayor, G., Bourakhouadar, J., Bellot, J., Bautista, S., 2007. Plant Spatial Pattern Predicts Hillslope Runoff and Erosion in a Semiarid Mediterranean Landscape. *Ecosystems* 10, 987–998.
- MCA, 2008. Water management - Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry. Commonwealth of Australia.
- Meixuero Nájera, G. M., 2007. El principio paga : alcances y pendientes en la legislación mexicana. *Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública* 13, 1–37.
- Mendoza, M., Bocco, G., Granados López, E., Bravo, M., 2002. Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo : una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de Cuitzeo, Michoacán. *Investigaciones Geográficas* (49), 92–117.
- Minerals Council of Australia, 2012. Water Accounting Framework for the Minerals Industry (April).
URL http://www.minerals.org.au/file_upload/files/resources/water_accounting/WAF_UserGuide_v1.2.pdf
- Montaner Salas, M. E., Sánchez-Almohalla Serrano, E., 1988. APROXIMACIÓN, POR EL MÉTODO DE THORNTHWAITE, AL CÁLCULO DE INFILTRACIÓN DE LLUVIA UTIL. *PAPELES DE GEOGRAFÍA* 14, 223–235.

- Montes, J. G., 2011. Recursos hidrogeológicos. Tech. rep., Instituto de Ciencias de la Tierra, Venezuela.
URL <http://gea.ciens.ucv.ve/webict/web/>
- Muhammad Mizanur Rahaman, Varis, O., 2005. Integrated Water Resources Management: Evolution , Prospects and Future Challenges. Sustainability: Science, Practice & Policy 1 (1), 15–21.
- Neshat, A., Pradhan, B., Dadras, M., 2014. Groundwater vulnerability assessment using an improved DRASTIC method in GIS. Resources, Conservation and Recycling 86, 74–86.
URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.02.008>
- NWQMS, 1995. Guidelines for groundwater protection in Australia. Tech. Rep. September, Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand Australian and New Zealand Environment and Conservation Council.
- Pando Galván, G., 1982. MAYOR PRODUCTIVIDAD EN LA MINA SAN ANTONIO. Tech. rep.
- Parveen, R., Kumar, U., Singh, V. K., et al., 2012. Geomorphometric characterization of upper south koel basin, jharkhand: A remote sensing & gis approach. Journal of Water Resource and Protection 4 (12), 1042.
- Pérez Villarreal, J., 2008. Caracterización Hidrogeoquímica del Agua Subterránea del Valle de Querétaro para el Estudio de Sistemas de Flujo. Master's thesis, Universidad Autónoma de Querétaro.
- Piscopo, G., 2001. Groundwater vulnerability map explanatory notesÚcastlereagh catchment. Parramatta NSW: Australia NSW Department of Land and Water Conservation, 1–18.
- Polemio, M., Casarano, D., Limoni, P. P., 2009. Karstic aquifer vulnerability assessment methods and results at a test site (apulia, southern italy). Natural Hazards and Earth System Science 9 (4), 1461–1470.
- Ponce Nava, D., 2013. La LGEEPA, 25 años después. Política y Gestión Ambiental Derecho Am, 49–50.
URL <http://www.ceja.org.mx/>
- Price, M., 2003. Agua subterranea: introducing groundwater. Ciencias de la Tierra. Limusa.
URL <https://books.google.com.ec/books?id=LGvkAAAACAAJ>
- PROESMIN, 2013. Manual de Minería. Tech. rep., Estudios Mineros del Perú S. A. C., Lima, Perú.
URL <http://proesmin.com/>

- Pueyo, Y., Moret-Fernández, D., Saiz, H., Bueno, C. G., Alados, C. L., 2013. Relationships Between Plant Spatial Patterns, Water Infiltration Capacity, and Plant Community Composition in Semi-arid Mediterranean Ecosystems Along Stress Gradients. *Ecosystems* 16 (3), 452–466.
- Rodríguez León, M., 2014. DISEÑO Y APLICACIÓN DE UNA GUÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL EN ÁREAS MINERAS.
- Ruiz Cristobal, M. A., 2005. Operación y desmantelamiento de una planta de beneficio de uranio en Chihuahua.
- Ruiz Rivera, C., Julio 2015. Evaluación de la calidad del agua de Villa de la Paz, San Luis Potosí, México y propuesta de tratamiento. Ph.D. thesis, Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP).
- Salgado, J., Güitrón, A., 2012. Aplicabilidad de los modelos hidrológicos distribuidos. XXII Congreso Nacional de Hidráulica, 5.
- Sánchez Cohen, I., Oswald Spring, U., 2011. Water Resources in Mexico. *Water Resources in Mexico. Scarcity, Degradation, Stress, Conflicts, Management, and Policy* 7, 2–17.
URL <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-05432-7>
- Schumm, S. A., 1956. EVOLUTION OF DRAINAGE SYSTEM AND SLOPES IN BADLANDS AT PRETH AMBOY, NEW YERSEY. *Bulletin of the Geological Society of America* 67, 597–646.
URL gsabulletin.gsapubs.org
- SE, 2012. Minería. Tech. rep., Secretaría de Economía.
URL <http://www.economia.gob.mx/comunidad-negocios/mineria>
- SEMARNAT, 1992. Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente: El Desarrollo en la Perspectiva del siglo XXI. (Dublin, Irlanda 26 al 31 de Enero de 1992). Tech. rep.
- SEMARNAT, 2009. Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. Tech. rep., Secretaría de Medio Ambiente y Recrsos Naturales (SEMARNAT), México, D.F.
URL <http://itculiacan.edu.mx/wp-content/uploads/2013/08/LAN-Y-RLAN.pdf>
- SGM, 2006. Carta GEológica-Minera San Diego de Alcalá H13-C68, Chihuahua.
- SGM, 2013. Resumen de Indicadores de la Minería. In: Servicio Geológico Mexicano (Ed.), Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2012. Ch. I, pp. 9–42.
URL http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/CapituloI_2013.pdf
- Snellen, W., Schrevel, A., 2004. IWRM: for sustainable use of water 50 years of international experience with the concept of integrated water management. Tech. rep.

- UNEP, 1994. Environment Management of mine sites. Tech. rep., United Nations Environment Programme (UNEP).
- UNESCO, 2009. Agua y Minería en Cuencas Áridas y Semiáridas: Guía para la gestión Integral. PHI-VII (17), 215.
- USDA, 1986. Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55. Tech. rep., United States Department of Agriculture (USDA).
- Victorine Neh, A., Ako Ako, A., Richard Ayuk, A., Hosono, T., 2015. DRASTIC-GIS model for assessing vulnerability to pollution of the phreatic aquiferous formations in Douala. *Journal of African Earth Sciences* 102, 180–190.
URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1464343X14003574>
- Wang, J., He, J., Chen, H., 2012. Assessment of groundwater contamination risk using hazard quantification, a modified DRASTIC model and groundwater value, Beijing Plain, China. *Science of the Total Environment* 432, 216–226.
URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.06.005>
- Webb, R. S., Rosenzweig, C. E., Levine, E. R., 1991. A Global Data Set of Soil Particle Size Properties. NASA Technical Memorandum (September).
- Windels, C., Silva M., R., Vizcarra L., M., 2003. *Compilación Geológica - Geofísica. Reprocesos de estudios geofísicos con resistividad aparente, polarización inducida, y magnetometría*. Tech. rep., Industrial Minera México S.A. de C.V., Chihuahua, Chihuahua.

ANEXOS

A. TABLAS PARA LA ESTIMACIÓN DE CN

Tabla A.1.: Clasificación de suelos (Bras, 1990).

A	(Bajo potencial de escorrentía) Suelos con tasa alta de infiltración incluso bajo condiciones de alta humedad y consisten principalmente de gravas y/o arenas que se encuentran en estratos de gran espesor. Tienen una tasa alta de transmisión del agua (> 0.3 in/hr).
B	Suelos con tasa moderada de infiltración bajo condiciones de alta humedad y son suelos de profundidad media. Poseen capacidad de drenaje entre media y alta, de textura entre media fina y gruesa. Transmisión moderada del agua (0.15-0.3 in/hr).
C	Suelos con tasas de infiltración baja en altas condiciones de humedad y consisten principalmente de suelos con estratos que impiden el movimiento vertical del agua. De textura moderadamente fina a fina. Baja transmisión del agua (0.05-0.15 in/hr).
D	(Alto potencial de escorrentía) Suelos con tasas muy bajas de infiltración y consisten principalmente de suelos arcillosos. Muy baja transmisión del agua (0.00-0.05 in/hr).

Tabla A.2.: Número de curva para zonas urbanas*.

Fuente: USDA (1986).

Descripción	Porcentaje promedio de áreas impermeables**	Número de la curva para cada grupo hidrológico de los suelos			
		A	B	C	D
Tipo de cobertura y condición hidrológica					
<i>Áreas urbanas totalmente desarrolladas (vegetación establecida)</i>					
Espacios abiertos (césped, campos de golf, cementerios, etc.)***					
Condición pobre (cobertura < 50%)	68	79	86	89	
Condición favorable (50% < cobertura < 75%)	49	69	79	84	
Buena condición (cobertura > 75%)	39	61	74	80	
Áreas impermeables:					
Estacionamientos, techos, carreteras, etc. (autopistas no incluidas)	98	98	98	98	
Calles y caminos:					
Pavimentados, bordillos y sistemas de drenaje (autopistas no incluidas)	98	98	98	98	
Pavimentados, zanjas abiertas (incluyendo autopistas)	83	89	92		
Grava (incluyendo autopistas)	76	85	89		
Basura (incluyendo autopistas)	72	82	87		
Áreas urbanas en zonas áridas					
Paisajes desérticos naturales (únicamente áreas permeables)****	63	77	85	88	
Paisajes desérticos artificiales (barreras naturales e impermeables, arbustos desérticos con camas de grava de 2.5 a 5.0 cm o con bordillos)	96	96	96	96	
Distritos urbanos:					
Locales comerciales	85	89	92	94	95
Zonas industriales	72	81	88	91	93
Áreas residenciales por tamaño promedio:					
505 m ² o menor (casas de interés social)	65	77	85	90	92
1 000 m ²	38	61	75	83	87
1 350 m ²	30	57	72	81	86
2 025 m ²	25	54	70	80	85
4 045 m ²	20	51	68	79	84
8 100 m ²	12	46	65	77	82
<i>Áreas urbanas en desarrollo</i>					
Zonas recientemente incorporadas (únicamente áreas permeables sin vegetación)*****	77	86	91	94	

*Condiciones promedio de escorrentía, $I_a = 0,2S$.

**Promedio del área impermeable empleados en el cálculo de CN . Condiciones promedio de escorrentía, $I_a = 0,2S$.

**Promedio del área impermeable empleados en el cálculo de CN . Otros supuestos para el cálculo: (a) las áreas impermeables están directamente conectadas al sistema de drenaje; (b) las áreas impermeables tienen un CN de 98, y (c) las áreas impermeables son consideradas como espacios abiertos en buenas condiciones hidráulicas. CN puede ser calculado para otras condiciones empleando la [Tabla A.2](#) y [Tabla A.3](#).

***Los valores de CN mostrados son equivalentes a aquellos empleados en cobertura de pasto.

****Los valores de CN para paisajes desérticos deben ser calculados de acuerdo a la [Tabla A.2](#) y [Tabla A.3](#) con base al porcentaje de áreas permeables e impermeables ($CN = 98$). El CN para áreas permeables se considera equivalente al correspondiente a matorral desértico en condición hidrológica pobre.

*****El cálculo de CN para áreas en proceso de construcción debe realizarse empleando las Figuras [Tabla A.2](#) y [Tabla A.3](#) con base al porcentaje de áreas impermeables y el CN para las nuevas áreas impermeables.

Tabla A.3.: Número de curva para tierra cultivada*.

Fuente: USDA (1986).

Descripción			Número de la curva para cada grupo hidrológico de los suelos			
Tipo de cobertura	Tratamiento**	Condición Hidrológica***	A	B	C	D
Terreno arado	suelo desnudo	-	77	86	91	94
	residuos de cultivo (CR)	Pobre	76	85	98	93
		Bueno	74	83	88	90
Hileras de cultivo	hilera recta (SR)	Pobre	72	81	88	91
		Bueno	67	78	85	89
	SR+CR	Pobre	71	80	87	90
		Bueno	64	75	82	85
	periférico (C)	Pobre	70	79	84	88
		Bueno	65	75	82	86
	C+CR	Pobre	69	78	83	87
		Bueno	64	74	81	85
	periférico & terrazas (C&T)	Pobre	66	74	80	82
		Bueno	62	71	78	81
C&T+CR	Pobre	65	73	79	81	
	Bueno	61	70	77	80	
Granos pequeños	SR	Pobre	65	76	84	88
		Bueno	63	75	83	87
	SR+CR	Pobre	64	75	83	86
		Bueno	60	72	80	84
	C	Pobre	63	74	82	85
		Bueno	61	73	81	84
	C+CR	Pobre	62	73	81	84
		Bueno	60	72	80	83
	C&T	Pobre	61	72	79	82
		Bueno	59	70	78	81
C&T+CR	Pobre	60	71	78	81	
	Bueno	58	69	77	80	
Sembrado de rotación o leguminosas o sembrado muy cerrado	SR	Pobre	66	77	85	89
		Bueno	558	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
		Bueno	55	69	78	83
	C&T	Pobre	63	73	80	83
		Bueno	51	67	76	80

* Condición promedio de escorrentía, $I_a = 0,2S$.

** Se considera la cobertura de residuos de cultivo únicamente cuando ésta abarca por lo menos el 5% de la superficie durante todo un año completo.

*** Las condiciones hidráulicas están basadas en una combinación de factores que afectan la infiltración y escorrentía, incluyendo (a) densidad del follaje de las áreas verdes, (b) cantidad de cobertura dura en un periodo de un año, (c) cantidad de pasto o leguminosas, (d) porcentaje de la superficie cubierta con residuos de cultivo (buena $\geq 20\%$), y (e) grado de rugosidad de la superficie.

Pobre: Factor en detrimento de la infiltración e incremento de la escorrentía.

Bueno: Factor que refuerza y mejora el promedio de la escorrentía y disminuye la escorrentía.

Tabla A.4.: Número de curva para otro tipo de tierras cultivadas*.

Fuente: USDA (1986).

Tipo de cobertura	Descripción	Condición Hidrológica***	Número de la curva para cada grupo hidrológico de los suelos			
			A	B	C	D
Pasto, pradera, o forraje - superficie para pastoreo continuo**	Pobre		68	79	86	89
	Aceptable		49	69	79	84
	Buena		39	61	74	80
Prado - con hierba en toda la superficie y protegida del pastoreo (cortada periódicamente)	-		30	58	71	78
Matorral o maleza - mezcla de pasto y matorral (en menor y mayor proporción, respectivamente)***	Pobre		48	67	77	83
	Aceptable		35	56	70	77
	Buena		30 ^{d/}	48	65	73
Bosque - en compañía de hierba (huerto o granja de árboles)*****	Pobre		57	73	82	86
	Aceptable		43	65	76	82
	Buena		32	58	72	79
Bosques*****	Pobre		45	66	77	83
	Aceptable		36	60	73	79
	Buena		30*****	555	70	77
Granjas - edificios, vías, carreteras y locales en los alrededores	-		59	74	82	86

* Condición promedio de escorrentía, $I_a = 0,2S.CN$

** (a) Pobre: < 50 % de cobertura o con alto grado de pastoreo. (b) Aceptable: del 50 % al 75 % de cobertura y sin pastoreo continuo. (c) Bueno: > 75 % de cobertura y mínimo o pastoreo ocasional.

*** (a) Pobre: < 50 % cobertura. (b) Aceptable: del 50 % al 75 % de cobertura. (c) Bueno: > 75 % de cobertura.

**** El número de curva actual es < 30; sin embargo se aconseja emplear $CN = 30$ para fines de cálculo.

***** El CN mostrado fue calculado para áreas cubiertas con 50 % de bosque y 50 % de pasto. Es necesario recalcular CN para condiciones diferentes a la mencionada.

***** (a) Pobre: biomasa, árboles pequeños, y arbustos que son destruidos a causa del pastoreo intenso o por incendios. (b) Aceptable: bosques que son pastoreados pero sin quema, y además existe una pequeña cantidad de biomasa sobre el suelo. (c) Buena: Bosques protegidos contra el pastoreo, y poseen un control contra arbustos invasivos y exceso de biomasa.

Tabla A.5.: Número de curva para zonas áridas y semiáridas*.

Fuente: USDA (1986).

Tipo de cobertura	Descripción	Número de la curva para cada grupo hidrológico de los suelos			
		Condición Hidrológica**	A***	B	C
Herbáceas - mezcla de pasto, semillas, y mínima cantidad de arbustos pequeños	Pobre		80	87	93
	Aceptable		81	81	89
	Buena		74	74	85
Robles - mezcla de arbusto de montaña y arbustos de roble	Pobre		66	74	79
	Aceptable		48	57	63
	Buena		30	41	48
Pinos - enebros, pinos o ambos mezclados con vegetación del sotobosque	Pobre		75	85	89
	Aceptable		58	73	80
	Buena		41	61	71
Vegetación del sotobosque	Pobre		67	80	85
	Aceptable		51	63	70
	Buena		35	47	55
Matorral desértico - mayormente palo verde, mesquite, catus.	Pobre	63	77	85	88
	Aceptable	55	72	81	86
	Buena	49	68	79	84

* Condición promedio de escorrentía, $I_a = 0,2S$. Para zonas húmedas emplear la [Tabla A.4.](#)

** (a) Pobre: < 30% de cobertura (biomasa, pasto y vegetación del sotobosque. (b) Aceptable: del 30% al 70% de cobertura. (c) Bueno: > 70% de cobertura.

*** En el Grupo A, únicamente fue calculado el *CN* para matorrales desérticos.

B. FORMATO DE FICHA DE CAMPO PARA MUESTRAS DE AGUA

**DATOS FISICOS Y QUÍMICOS
DE MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA**

DATOS GENERALES

Clave del Aprovechamiento					Tipo de Aprovechamiento	Pozo	Noria	Manantial	Canal
Coordenadas UTM Datum WGS84	X=			Y=		Estanque	Arroyo	Presa	Papalote
Elevación (msnm)				Zona UTM		Potable	Agrícola	Pecuario	Doméstico
Municipio					Uso del Agua	Agropecuario	Servicios	Industrial	Sin uso
Localidad					Tipo de Bomba	Turbina Vertical	Sumergible	Centrifuga	
Fecha						Eléctrica	Combustión Interna	Sin equipo	
Litología Predominante					CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS				
Prof. al Nivel del agua	NE	m	ND	m	Color		Olor		
Lugar de Toma de Muestra	Liave en Brocal	Descarga	Canal	Estanque/Lago/Manantial	Apariencia		Sedimentación		
					Turbidez		Desprendimiento de gases		
					Profundidad (m)		Caudal de extracción (l/s)		

PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO

Tiempo (min.)	1	3	5	7	9	11
T (°C)						
pH						
E campo (mV)						
CE (microSiem/cm)						
O.D. (%)						
O.D. (mg/l)						

DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD DE CAMPO

N ácido: 1.6 ± 0.008

V muestra (Alcal.): 25 ml

Gráfica Calculo de Alcalinidad

H ₂ SO ₄ NÚMERO DE de vueltas									
pH									
ml (#v:800)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

No. Colectivo
VP-16-AS
Id. de proyecto

NOMENCLATURA MATRIZ
AS: Agua subterránea.
AP: Agua superficial.
AD: Agua destilada

NA = No Aplica en este apartado
v = Número de vueltas

Alcalinidad total= mg/l CaCO₃

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA DE AGUA COLECTADA

MUESTRA PARA	TIPO DE ENVASE	CANTIDAD	CAPACIDAD	CONSERVADOR	FILTRADA?
CATIONES Y METALES	POLIETILENO	1	125 ML	REFRIGERACIÓN, HNO ₃	SÍ
NITRATOS	POLIETILENO	1	125 ML	REFRIGERACIÓN, H ₂ SO ₄	NO
ANIONES	POLIETILENO	1	500 ML	REFRIGERACIÓN	NO

OBSERVACIONES

Figura B.1.: Formato de ficha de campo para muestras de agua.

C. REGISTRO PÚBLICO DE LOS DERECHOS DEL AGUA (REPDA)

Tabla C.1.: Base de datos del REPDA con fecha de corte al 31 de marzo de 2015.

ID	Título	Titular	Volumen (m ³ /año)	Uso que ampara el Título	Acuífero Homologado	Latitud - Y	Longitud - X
1	2CHH100856/24AMGE94	A.C. CREMCAS S. DE R.L.	90 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,60	-105,92
2	2CHH100853/24AMGE94	AC CREMCAS S DE RL.	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,93	-105,93
3	2CHI102471/24GMGE95	ALBINO DELGADO NUNEZ	3 900	PECUARIO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,26	-105,73
4	06CHI131921/24AMGE00	ALFONSO JUSTO OJEDA	270 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,91	-105,91
5	06CHI135233/24AMGE00	ALFONSO JUSTO OJEDA	44 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,84	-105,90
6	2CHI104294/24AMGE95	ALFONSO JUSTO OJEDA	48 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,89
7	2CHI104296/24AMGE95	ALFONSO JUSTO OJEDA	39 744	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,94	-105,90
8	06CHI137218/24AMGE03	ALICIA CRISTINA ACOSTA SALGADO	72 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,74	-105,74
9	06CHI137219/24AMGE03	ALICIA CRISTINA ACOSTA SALGADO	120 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,74	-105,74
10	06CHI140798/24AMDL13	ALICIA CRISTINA ACOSTA SALGADO	360 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,68	-105,68
11	06CHI140799/24AMDL14	ALICIA CRISTINA ACOSTA SALGADO	200 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,70	-105,74

Continúa en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

12	06CHI138392/24AMGE05	AMADO ARMENDARIZ SAENZ	60 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,85	-105,88
13	06CHI140032/24AMDL11	ANA ELENA ESPINO BOTELLO Y GABRIELA ESPINO BOTELLO	158 400	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,86	-105,89
14	2CHI109661/24IPGE96	ANDRES ARRIETA LARA	1 000	MULTIPLE	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,92
15	06CHI133053/24AMDL11	ANGEL VILLANUEVA TARIN	44 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,80	-105,62
16	2CHI109368/24APGR97	ANTONIO RENE PORRAS RODRIGUEZ	28 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,60	-105,57
17	2CHH101140/24AMGE94	ASOCIACION DE USUARIOS DE AGUAS DEL BOSQUE Y MANANTIALES DE VILLA ALMADA	1 404 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,80	-105,94
18	06CHI137319/24AMGE03	AUDENCIO OLIVAS TAVARES	150 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,71	-105,73
19	06CHI137320/24AMGE03	AUDENCIO OLIVAS TAVARES	150 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,71	-105,73

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

20	2CHH100703/24AMGR94	BARTOLO VILLALBA CARRILLO	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,89	-105,87
21	06CHI128327/24AMGE99	BRISSIA GUADALUPE BOJORQUEZ VEGA	160 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,87	-105,83
22	06CHI128328/24AMGE99	BRISSIA GUADALUPE BOJORQUEZ VEGA	180 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,87	-105,85
23	2CHH101129/24AMGE94	C. CRUZ HOLGUIN RAMIREZ Y SOCIOS	215 810	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,93	-105,94
24	2CHH101134/24AMGE94	C. MAURILIO TARIN CALVILLO Y SOCIOS, GRUPO 2	359 424	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,94	-105,93
25	2CHI112927/24AMGR97	CARLOS ALBERTO FERNANDEZ BACA	33 242	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,91
26	06CHI103990/24AMDL09	CARLOS CORONADO GARCIA	360 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,86	-105,86
27	2CHI106107/24IPGE95	CATALINA YAÑEZ RODRIGUEZ	6 000	MULTIPLE	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,14	-105,44
28	06CHI109891/24IPDL10	CESAR ANCHONDO ORDOÑEZ	1 000	MULTIPLE	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,92
29	06CHI100167/24AMDL10	CESAR DAVILA GONZALEZ	359 424	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,78	-105,93

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

30	06CHI112988/24AMDL11	COLORINES DE SAN DIEGO S.P.R. DE R.L. DE C.V.	360 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,05	-106,00
31	2CHI113044/24AMGR97	COMPañIA AGROINDUSTRIAL SANTA ANA, S.A. DE C.V.	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,87	-105,92
32	06CHI137817/24IMGE04	DANIEL CARLOS SANDOVAL HERNANDEZ	4 200	MULTIPLE	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,91	-105,96
33	2CHI105199/24AMGE95	DAVID FERNANDEZ URQUIDI	12 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,47	-105,85
34	06CHI137306/24AMGE03	DOMINGO GARCIA ALFARO, PRIMITIVO GARCIA ALFARO	300 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,60	-105,68
35	06CHI137602/24AMGE03	DOMINGO GARCIA ALFARO, PRIMITIVO GARCIA ALFARO	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,61	-105,67
36	2CHI112548/24ALGR97	DORA ANTILLON RAMIREZ DE BENAVIDES	16 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,82	-105,91
37	06CHI138308/24AMGE05	EDUARDO BARRON DE SANTIAGO	64 621	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,89

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

38	06CHI138309/24AMGE05	EDUARDO BARRON DE SANTIAGO	64 621	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,89
39	2CHI111703/24IMGE97	EDUARDO BARRON DE SANTIAGO	1 278	MULTIPLE	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,85	-105,89
40	06CHI109322/24AMDL13	EDWIGES MEDRANO CONTRERAS	68 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,82	-105,89
41	2CHH100192/24AMGR94	EFRAIN AGUIRRE IBARRA	300 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,80	-105,83
42	2CHI106020/24AMGE95	EJ. EMILIANO ZAPATA SECTOR EL JERINGO	264 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,79	-105,81
43	06CHI135202/24AMGE00	EJIDO ALDAMA	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,85	-105,81
44	2CHI103443/24AMGE95	EJIDO ALDAMA GRUPO EL CARMEN NUM. 1	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,85
45	06CHI107418/24AMGE06	EJIDO ALDAMA SECTOR LAGUNA HONDA	180 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,85
46	06CHI135395/24AMGE01	EJIDO ALDAMA SECTOR LAGUNA HONDA GRUPO LOS TORREONES	120 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,85	-105,85

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

47	06CHI140343/24AMDL11	EJIDO ALDAMA SECTOR LAGUNA HONDA GRUPO POZO EL REBAJE NUM. 2	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,86
48	2CHI107257/24AMGE95	EJIDO ALDAMA SECTOR LOS LEONES	276 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,75	-105,92
49	06CHI133354/24AMDL13	EJIDO ALDAMA, GRUPO EL ALAMO	233 334	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,85	-105,81
50	06CHI120013/24AMGE98	EJIDO ALDAMA, UNIDAD DE RIEGO LAS VIUDAS	252 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,86
51	06CHI120348/24AMGE98	EJIDO ALDAMA; JORGE LUIS PORRAS DE LA CRUZ	48 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,79	-105,84
52-1	06CHI101058/24ALDL09	EJIDO EMILIANO ZAPATA	150 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,78	-105,80
52-2	06CHI101058/24ALDL09	EJIDO EMILIANO ZAPATA	270 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,78	-105,80
53	2CHH100773/24AMGR94	EJIDO EMILIANO ZAPATA	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,78	-105,78

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

54	06CHI137307/24AMGE03	EJIDO EMILIANO ZAPATA GRUPO EL ESFUERZO	160 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,78	-105,77
55	06CHI133357/24AMGE99	EJIDO EMILIANO ZAPATA, GRUPO NUEVOS HORIZONTES	300 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,74	-105,79
56	2CHI101128/24AMGE95	EJIDO GENERAL LAZARO CARDENAS, GRUPO DIVISADERO NUM. 1	209 664	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,94	-105,46
57	2CHI101131/24AMGE95	EJIDO GENERAL LAZARO CARDENAS, GRUPO UAIMC	203 659	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,92	-106,03
58	06CHI140025/24AMD13	EJIDO IGNACIO ALLENDE	270 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,60	-105,69
59	2CHI102194/24AMGR95	EJIDO LA ABUNDANCIA	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,91	-105,93
60	2CHI101136/24AMGE95	EJIDO LA ESPERANZA	480 168	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,00	-105,94
61	06CHI128112/24AMGE99	EJIDO LA ESPERANZA GRUPO 1	104 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,99	-105,97

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

62	2CHI101133/24AMGE95	EJIDO LAZARO CARDENAS	299 484	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,95	-105,93
63	2CHI101130/24AMGE95	EJIDO LAZARO CARDENAS, RPTE. LEGAL C. JUAN CARLOS HERNANDEZ SANCHEZ	239 091	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,93	-105,95
64	2CHI108284/24AMGR96	EJIDO NUEVO JULIMES	300 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,48	-105,62
65	2CHI112855/24AMGR97	EJIDO NUEVO JULIMES GRUPO DEL POZO # 4	270 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,42	-105,64
66	2CHI112854/24AMGR97	EJIDO NUEVO JULIMES, GRUPO DEL POZO # 1	270 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,49	-105,66
67	06CHI121212/24AMGE98	EJIDO NUEVO JULIMES; LUCIANO HERNANDEZ PRADO	168 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,51	-105,65
68	06CHI133360/24AMGE99	EJIDO PEDRO CONTRERAS ZARAGOZA	118 024	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,55	-105,75

Continúa en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

69	06CHI133314/24AMGE99	EJIDO PEDRO CONTRERAS ZARAGOZA, GRUPO # 1	222 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,55	-105,63
70	06CHI134502/24AMGE00	EJIDO PEDRO CONTRERAS, GRUPO NUMERO DOS	348 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,55	-105,63
71	2CHI114226/24APGE98	EJIDO SAN DIEGO DE ALCALA	2 400	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,58	-105,57
72	06CHI128130/24GMGE99	EJIDO SAN MIGUEL, GPO. SAN JERONIMO, REFUGIO FRANCO RODRIGUEZ	1 825	PECUARIO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,87	-105,89
73	06CHI133700/24AMGE99	EL RECODO DE ROSALES S.P.R. DE R.L.	420 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,53	-105,70
74	06CHI128430/24AMD12	EL TRABAJO ES LA FORTALEZA DE LA NACION, S.P.R. DE R.L.	200 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,49	-105,68
75	2CHH101101/24APGR94	ELIGGSEDEN NAVA TERRAZAS	68 796	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,80	-105,93

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

76	2CHH103996/24AMGE94	EMILIO HERMOSILLO ARMENDARIZ Y ARTURO VARGAS GOMEZ	406 800	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,80	-105,84
77	2CHI112863/24AMGR97	ENRIQUE ELIAS VALDEZ	300 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,65	-105,99
78	06CHI101126/24AMDL10	ENRIQUE MEDINA GARCIA	60 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,79	-105,93
79	2CHH104309/24AMGE94	ENRIQUE Y ERNESTO ACOSTA MARTINEZ	296 400	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,88	-105,90
80	06CHI112826/24AMDL07	ESTELA JIJON GRAJEDA, SOLEDAD HERRERA LOPEZ Y MARIA TERESA HERNANDEZ HERRERA	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,47	-105,65
81	2CHI111023/24IMGE97	ESTHER MUÑOZ DE JARAMILLO	500	MULTIPLE	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,89
82	06CHI137440/24AMGE03	ESTHER MUÑOZ MACIAS	36 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,87
83	06CHI103912/24AMDL07	ESTHER SAAVEDRA HERMOSILLO	54 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,91

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

84	06CHI150049/24AMDL13	ESTHER SAAVEDRA HERMOSILLO	110 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,85	-105,90
85	06CHI121408/34AMGE98	FEDERICO PANDO ESPARZA	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,79	-105,77
86	06CHI121409/24AMGE98	FEDERICO PANDO ESPARZA	24 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,79	-105,77
87	06CHI150034/24AMDL12	FERNANDO SAENZ COLMENERO Y FABIOLA VALVERDE MARTINEZ	48 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,91
88	2CHH102004/24APGR94	FILIBERTO FIGUEROA QUIROZ.	24 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,80	-105,93
89	2CHI112829/24AMGR97	FILIBERTO HERMOSILLO RUBIO	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,85	-105,86
90	06CHI133356/24AMGE99	FRANCISCO ARMANDO GOMEZ ARZATE	480 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,86	-105,83
91	06CHI140080/24AMDL11	FRANCISCO ESPINO DE LA O Y/O MARIA, CRISTINA BORUNDA DE ESPINO	100 800	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,87	-105,88

Continúa en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

92	2CHI101104/24AMGE95	GRACIELA BARRIENTOS ALANIZ	360 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,82	-105,80
93	2CHI103478/24AMGE95	GRACIELA BARRIENTOS ALANIZ	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,80	-105,82
94	2CHI101102/24IMGE95	GRANJAS DEL BOSQUE, A.C.	227 241	MULTIPLE	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,94
95	2CHI109366/24AMGR97	GRUPO "EL GIRASOL"	299 500	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,82	-105,83
96	06CHI101122/24AMDL10	GRUPO DE ENMEDIO EJIDO EMILIANO ZAPATA	395 488	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,81	-105,81
97	06CHI137262/24AMGE03	GRUPO DE TRABAJO EL TORDILLO	300 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,72	-105,70
98	06CHI138225/24AMGE04	GRUPO DE TRABAJO POZO NUM. 5 EJIDO EMILIANO ZAPATA	288 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,77	-105,79
99	2CHH100169/24AMGR94	GRUPO EL BOSQUE EJIDO ALDAMA	402 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,80	-105,94
100	06CHI140576/24AMDL12	GRUPO EL RANCHITO	269 688	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,78	-105,82

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

101	06CHI137724/24AMGE04	GRUPO LAS CUATRO MILPAS EJIDO ALDAMA	360 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,79	-105,96
102	2CHI110291/24CPGE97	GRUPO LOS TEMPORALES	1 000	DOMESTICO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,65	-105,59
103	06CHI139766/24AMDL11	GUILLERMO ARMANDO ARMENDARIZ OJEDA	144 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,89
104	06CHI150038/24AMDL13	HECTOR HUGO PEREZ GARZA	252 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,55	-105,69
105	2CHI102195/24AMGR95	HERIBERTO HERNANDEZ CHACON	48 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,82	-105,86
106	06CHI150084/24AMDL13	HUGO ANTONIO RAMOS MACIAS	66 666	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,86	-105,84
107	06CHI136652/24AMGE02	HUGO PATRICIO MONROY GARZA	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,62	-105,68
108	2CHI112833/24AMGR97	HUGO PATRICIO MONROY GARZA	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,88	-105,91
109	2CHH100116/24AMGR94	HUMBERTO ORTIZ REYES.	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,58	-105,70
110	2CHI112241/24CMGE97	INSTITUTO DE ECOLOGÍA A.C.	2 000	DOMESTICO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,85	-105,88

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

111	2CHI113063/24AMGR97	ISIDRO RUBIO CASTILLO	80 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,82	-105,84
112	2CHH102117/24IPGR94	ISIDRO VALENZUELA CONTRERAS	15 000	MULTIPLE	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,78	-106,94
113	06CHI128975/24AMGE99	ISRAEL VIZCARRA SALGUEIRO	210 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,91	-105,86
114	06CHI139095/24AMDL13	ISRAEL VIZCARRA SALGUEIRO	210 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,90	-105,86
115	06CHI140210/24CMDL11	JACINTO GOMEZ PASILLAS	4 800	DOMESTICO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,85	-105,92
116	06CHI135234/24AMGE00	JAIME ALBERTO JUSTO RUVALCABA	32 968	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,85	-105,91
117	2CHI112550/24AMGR97	JAIME HUMBERTO DAVILA TRUJILLO	28 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,90
118	2CHI109528/24HMGE96	JESUS EDMUNDO SAENZ CANO	25 000	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,68	-106,10
119	2CHI112837/24AMGR97	JESUS FLORES GARCIA	300 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,90	-105,90
120	06CHI103493/24AMGE00	JESUS JOSE RUIZ FERNANDEZ	155 520	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,86	-105,89
121	06CHI130621/24AMGE99	JESUS MANUEL ARVIZO TENA Y BENJAMIN SOLANO GUTIERREZ	200 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,54	-105,65

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

122	2CHI101125/24AMGE95	JESUS MELENDEZ DAVILA	300 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,79	-106,00
123	06CHI104524/24AMDL10	JESUS PAYAN PEREZ	71 872	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,87
124	2CHH103382/24AMGE94	JESUS PORRAS RUBIO	252 600	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,80	-105,84
125-1	06CHI137302/24AMDL07	JORGE LUIS CUESTA MANJARREZ	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,87	-105,89
125-2	06CHI137302/24AMDL07	JORGE LUIS CUESTA MANJARREZ	360 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,86	-105,88
125-3	06CHI137302/24AMDL07	JORGE LUIS CUESTA MANJARREZ	359 424	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,86	-105,87
126	06CHI137401/24AMDL11	JORGE LUIS CUESTA MANJARREZ	180 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,86	-105,88
127	06CHI137403/24AMGE03	JORGE LUIS CUESTA MANJARREZ	80 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,85	-105,90

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

128	06CHI136623/24AMGE02	JORGE LUIS CUESTAS MANJARREZ, MARCELA PRIETO GARCIA	150 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,85	-105,94
129	06CHI130165/24AMDL07	JOSE ENRIQUE PRECOMA ZAGO	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,52	-105,67
130	06CHI150054/24IMDL12	JOSE GUILLERMO RAMOS RAMIREZ	2 710	MULTIPLE	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,52	-105,67
131	06CHI139091/24APGE06	JOSE JUAN LEYVA ACOSTA, JUAN JOSE LEYVA ACOSTA Y OLAYA LEYVA ACOSTA	36 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,59	-105,58
132	06CHI137316/24AMGE03	JOSE ROSARIO RUIZ MARTINEZ	150 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,71	-105,72
133	06CHI137318/24AMGE03	JOSE ROSARIO RUIZ MARTINEZ	150 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,70	-105,74
134	06CHI139838/24AMDL09	JOSE SOSA GALINDO	108 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,90	-104,89
135	06CHI121190/24AMGE98	JOSE VELAZQUEZ MUÑOZ	200 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,91	-105,85
136	2CHI112828/24AMGR97	JUAN IZAGUIRRE NUÑEZ	360 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,96	-105,94

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

137-1	06CHI137897/24HMGE04	JUNTA MUNICIPAL DE AGUA Y SANEAMIENTO DE ALDAMA	883 000	PUBLICO URBANO	0835 - TABALAOPA-ALDAMA	28,81	-105,94
137-2	06CHI137897/24HMGE04	JUNTA MUNICIPAL DE AGUA Y SANEAMIENTO DE ALDAMA	1 766 016	PUBLICO URBANO	0835 - TABALAOPA-ALDAMA	28,81	-105,94
137-3	06CHI137897/24HMGE04	JUNTA MUNICIPAL DE AGUA Y SANEAMIENTO DE ALDAMA	218 000	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,91
137-4	06CHI137897/24HMGE04	JUNTA MUNICIPAL DE AGUA Y SANEAMIENTO DE ALDAMA	1 246 000	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,86	-105,94
138	2CHH105337/24AMGE95	JUSTINIANO JAQUEZ MARQUEZ	360 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,80	-105,85
139	06CHI112835/24AMDLO7	LAURA MARGARITA AYUB TOUCHE DE MESTA	420 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,85	-105,91
140	06CHI112838/24AMDLO7	LAURA MARGARITA AYUB TOUCHE DE MESTA	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,86	-105,91

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

141	2CHH102022/24AMGR94	LEONEL RODRIGO GUTIERREZ GUTIERREZ JOSE LUIS GUTIERREZ ESTRDA	378 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,75	-106,00
142	06CHI139801/24CPDL09	LIBRADO VILLEGAS GONZALEZ	1 000	DOMESTICO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,99	-105,98
143	06CHI120228/24APGE99	LUCIO MACIAS RIVERA	18 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,81	-105,96
144	06CHI102021/24AMDLO7	LUIS EDUARDO RUIZ SANCHEZ BERMUDEZ	96 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,61	-105,58
145	2CHH100168/24AMGR94	LUIS HUMBERTO RIVAS RUBIO	300 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,82	-105,85
146	2CHH102051/24AMGR94	LUIS ONTIVEROS MEDINA	210 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,79	-105,82
147	2CHI112836/24AMGR97	MA. SODELVA FLORES VELAZQUEZ	288 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,90	-105,93
148	06CHI137919/24AMGE06	MANUEL ALEJANDRO ARBALLO MALA- XECHEVARRIA	126 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,88

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

149	06CHI107745/24AMDL07	MANUEL BARRAZA GARCIA	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,75	-105,79
150	06CHI137099/24AMGE03	MANUEL DE JESUS ENRIQUEZ LICEA	360 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,61	-105,68
151	2CHH102038/24APGR94	MANUEL MENDOZA RAMOS	24 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,78	-105,94
152	2CHH103020/24IMGE94	MARIA DE LA LUZ RAMOS DE GRANADOS.	1 500	MULTIPLE	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,89
153	06CHI137036/24AMGE04	MARIA DE LA LUZ RAMOS GONZALEZ Y JAVIER GRANADOS RAMOS	51 600	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,90
154	06CHI135607/24AMGE00	MARIA DEL CARMEN MESTA SOULE	320 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,75	-105,76
155	06CHI135610/24AMGE00	MARIA DEL REFUGIO NAVARRETE FLORES	54 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,85	-105,87
156	06CHI120979/24AMGE98	MARIA LOURDES RUIZ PIÑON	244 182	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,77	-105,82

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

157	06CHI136568/24AMGE02	MARIO EFRAIN ACOSTA LICON ELSA NATIVIDAD GONZALEZ GONZALEZ, CARMEN AURORA ACOSTA LICON, MARIA DEL CARMEN AGUIRRE GOMEZ DEL CAMPO, GUILLERMO BALTAZAR ACOSTA LICON	180 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,82
-----	----------------------	--	---------	----------	-------------------------	-------	---------

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

158	06CHI136567/24AMGE02	MARIO EFRAIN ACOSTA LICON, ELSA NATIVIDAD GONZALEZ GONZALEZ, CARMEN AURORA ACOSTA LICON, MARIA DEL CARMEN AGUIRRE GOMEZ DEL CAMPO, GUILLERMO BALTAZAR ACOSTA LICON	180 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,82
159	06CHI135930/24AMGE01	MARIO MARTIN ACOSTA GONZALEZ	180 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,82	-105,82
160	06CHI150055/24AMDL12	MARTHA CAROLINA ROMO MONSON	360 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,67	-105,74
161	06CHI150056/24AMDL12	MARTHA CAROLINA ROMO MONSON	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,67	-105,73
162	06CHI150040/24AMDL13	MARTHA ELENA GARZA FLOTTE	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,54	-105,69

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

163	2CHI108116/24APGR96	MARTIN RODRIGO ENRIQUEZ NEVAREZ	16 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,79	-105,94
164	06CHI138605/24AMGE05	MIGUEL ERNESTO PORRAS MENDOZA	60 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,73	-105,96
165	06CHI138606/24AMGE05	MIGUEL ERNESTO PORRAS MENDOZA	60 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,81	-105,96
166	06CHI150082/24AMDL13	MIGUEL FERNANDO CHAVEZ LUJAN	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,67	-105,78
167	06CHI109893/24CPDL07	MIGUEL RUBIO CASTILLO	1 000	DOMESTICO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,82	-105,93
168	2CHI103998/24AMGE95	MIGUEL RUBIO MARQUEZ	288 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,82	-105,85
169	2CHI109445/24AMGR97	MIGUEL RUBIO MARQUEZ Y SOCIO	160 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,82	-105,84
170	06CHI129430/24ALGE99	MINERVA VENEGAS DOMINGUEZ	22 480	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,90
171	06CHI139112/24AMGE06	N.C.P.E. SONOCHIHUA	300 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,61	-105,66
172	06CHI139113/24AMGE06	N.C.P.E. SONOCHIHUA	300 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,62	-105,66
173	06CHI139174/24AMGE06	N.C.P.E. SONOCHIHUA	300 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,61	-105,65

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

174	06CHI136982/24AMDL11	NOGALERAS DE MEXICO S. DE R.L. DE C.V.	209 952	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,86
175	06CHI136983/24AMDL11	NOGALERAS DE MEXICO S. DE R.L. DE C.V.	269 222	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,87
176	06CHI103428/24AMDL10	OSCAR ALEJANDRO ROMERO FERNANDEZ	354 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,75	-105,76
177	2CHH102020/24CPGR94	OTILIA SANCHEZ BERMUDEZ DE RUIZ.	720	DOMESTICO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,60	-105,59
178	2CHI112674/24AMGR97	OYESIMA SOCIEDAD DE PRODUCCION RURAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA DE CAPITAL VARIABLE	200 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,61	-105,59

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

179	2CHI112675/24AMGR97	OYESIMA, SOCIEDAD DE PRODUCCION RURAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA DE CAPITAL VARIABLE	200 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,61	-105,60
180	2CHI112676/24AMGR97	OYESIMA, SOCIEDAD DE PRODUCCION RURAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA DE CAPITAL VARIABLE	200 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,61	-105,58
181	2CHI112677/24AMGR97	OYESIMA, SOCIEDAD DE PRODUCCION RURAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA DE CAPITAL VARIABLE	200 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,61	-105,59

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

182	06CHI137070/24AMGE03	PABLO RIVERA AGUIRRE	160 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,95	-105,94
183	06CHI139743/24AMDL11	PEDRO PORRAS RUBIO	194 400	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,79	-105,84
184	06CHI115716/24HMGE98	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA (LOC. EL JEROMIN)	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,88	-105,77
185	06CHI115715/24HMGE98	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA (LOC. EL MIMBRE DE ARRIBA)	15 250	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,82	-106,04
186	06CHI115721/24HPGE98	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA (LOC. EL MOLINO)	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,82	-105,92
187	06CHI115739/24HPGE98	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA (LOC. IGNACIO ALLENDE)	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,60	-105,68

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

188	06CHI115738/24HMGE98	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA (LOC. LA BOMBA)	3 375	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,85	-105,79
189	06CHI115740/24HMGE98	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA (LOC. LA SOLEDAD)	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,89
190	06CHI115718/24HPGE98	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA (LOC. POTRERO DEL LLANO)	8 875	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,78	-105,48
191	06CHI115719/24HPGE98	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA (LOC. SAN FRANCISCO)	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,22	-105,40
192	06CHI115720/24HMGE98	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA (LOC. SANTA ANA)	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,81	-105,93
193	06CHI127175/24HPGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: BELLA VISTA	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,25	-105,47

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

194	06CHI127174/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: EL ATASCADERO	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,86	-105,30
195	06CHI127161/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: EL LLANO DEL ALAMO	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,46	-105,60
196	06CHI127181/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: EL MILAGRO	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,03	-105,91
197	06CHI127162/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: EL NAVEGANTE	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,80	-106,01
198	06CHI127164/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: EL PULPITO	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,99	-105,06
199	06CHI127155/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: EL SOCORRO	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,92	-105,89

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

200	06CHI127156/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: EL TORREÑO CUATRO	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,05	-105,74
201	06CHI127159/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: EL UNO	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,09	-105,52
202	06CHI127177/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: ESTACION COLONIAS	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,22	-105,45
203	06CHI127179/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: GRANJA ARSATE	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,82	-105,89
204	06CHI127178/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: LA GLORIA	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,87	-105,91
205	06CHI127173/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: LA VIRGEN DOS	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,07	-105,61

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

206	06CHI127160/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: LAS VARAS	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,81	-105,78
207	06CHI127182/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: NIETO	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,94	-105,47
208	06CHI127163/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: RANCHO BELLAVISTA	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,29
209	06CHI127165/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: RANCHO EL PASO DE LOS COCHES	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,67	-105,71
210	06CHI127166/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: RANCHO LOS GEMELOS	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,58	-105,70

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

211	06CHI127167/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: RANCHO LOS PANDOS	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,16	-105,38
212	06CHI127168/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: RANCHO SAN JOSE	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,07	-105,66
213	06CHI127169/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: SAN JUAN DE LA CIENEGA	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,69	-105,76
214	06CHI127170/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: SAN PABLO	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,33	-105,83
215	06CHI127171/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: SANTA RITA	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,26	-105,56

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

216	06CHI127157/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: TRES MARIAS	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,80	-105,76
217	06CHI127158/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE ALDAMA, LOC.: TRES MARIAS	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	29,08	-105,58
218	06CHI129785/24HPGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE AQUILES SERDAN, LOC.: COLONIA EUGENIO PRADO	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,54	-105,67
219	06CHI129782/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE AQUILES SERDAN, LOC.: COLONIA TEOFILO BORUNDA	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,52	-105,68
220	06CHI129789/24HPGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE AQUILES SERDAN, LOC.: EL ALAMO	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,59	-105,66

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

221	06CHI129783/24HMGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE AQUILES SERDAN, LOC.: EL PAPALOTE	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,65	-105,58
222	06CHI129787/24HPGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE AQUILES SERDAN, LOC.: EL QUIPURITO	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,62	-105,87
223	06CHI129786/24HPGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE AQUILES SERDAN, LOC.: LA AGUJITA	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,55	-105,68
224	06CHI129790/24HPGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE AQUILES SERDAN, LOC.: LAS LECHUZAS	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,55	-105,64
225	06CHI129788/24HPGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE AQUILES SERDAN, LOC.: LAS MARIPOSAS	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,58	-105,64

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

226	06CHI129781/24HLGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE AQUILES SERDAN, LOC.: LOS ACEBUCHES	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,54	-105,67
227	06CHI129825/24HPGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE AQUILES SERDAN, LOC.: MARIA ISABEL (PALO BLANCO)	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,56	-105,62
228	06CHI129784/24HPGE99	PRESIDENCIA MUNICIPAL DE AQUILES SERDAN, LOC.: PEDRO CONTRERAS	2 625	PUBLICO URBANO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,56	-105,66
229	06CHI101135/24AMGE00	RAFAEL FERNANDO GARCIA TERRAZAS	150 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,93	-105,95
230	2CHI101123/24AMGE94	RAFAEL GARCIA TERRAZAS	90 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,93	-105,92
231	2CHI109444/24AMGR97	RAFAEL RIVAS MUJICA Y SOCIOS	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,84
232	2CHI107776/24AMGR95	RAUL ONTIVEROS GARRACIA	84 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,80	-105,95

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

233	2CHI112832/24AMGR97	RAUL PALMA OROZCO	80 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,90
234	2CHH101053/24GMGE94	REYNALDO ANTONIO SANCHEZ LOPAU	3 888	PECUARIO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,97	-105,97
235	2CHI101052/24GMGE94	REYNALDO ANTONIO SANCHEZ LOPAU	3 240	PECUARIO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,98	-106,01
236	2CHI101100/24GMGE95	REYNALDO ANTONIO SANCHEZ LOPAU	2 592	PECUARIO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,98	-106,01
237	2CHI111182/24IMGE97	REYNALDO ANTONIO SANCHEZ LOPAU	1 800	MULTIPLE	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,87	-105,78
238	2CHI111183/24IMGE97	REYNALDO ANTONIO SANCHEZ LOPAU	1 800	MULTIPLE	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,88	-105,74
239	06CHI136879/24AMGE02	RICARDO ARMENDARIZ TERRAZAS	101 340	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,90
240	06CHI107437/24AMDL11	RODOLFO GUTIERREZ QUINTANA Y SOCIOS	348 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,80	-105,81

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

241	06CHI140701/24GMDL12	RODOLFO PACHECO MORALES	5 000	PECUARIO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,78
242	06CHI140702/24GMDL12	RODOLFO PACHECO MORALES	7 000	PECUARIO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,87	-105,70
243	06CHI140703/24GMDL12	RODOLFO PACHECO MORALES	5 000	PECUARIO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,87	-105,71
244	06CHI139771/24AMD11	ROGELIO ARMANDO BERMUDEZ QUIÑONEZ	216 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,74	-105,77
245	06CHI138001/24AMGE04	ROQUE RUBIO MARQUEZ	138 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,85
246	06CHI135633/24AMD11	ROSA MARIA GARDEA VILLA	2 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,97	-105,47
247	06CHI137697/24AMGE04	ROSA VELIA VAZQUEZ BERNAL	6 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,91
248	06CHI133061/34AMGE00	ROSARIO JUSTO RUVALCABA	48 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,85	-105,90
249	06CHI131557/24AMGE99	S.P.R. DE R.I. COL. TEOFILO BORUNDA	200 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,49	-105,68

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

250	2CHH103989/24AMGE94	S.P.R. DE R.L. SANTA ELENA DE LA LAGUNA	296 400	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,76	-105,77
251	2CHH100191/24AMGR94	SALVADOR SOLIS GOMEZ Y RODOLFO PACHECO ARZATA	252 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,81	-105,87
252	06CHI114227/24AMDL12	SANDRA VENZOR PARRA	160 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,88
253	2CHH102120/24AMGR95	SECTOR 1, EJIDO EMILIANO ZAPATA	288 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,78	-107,79
254	06CHI152566/24AMDL13	SERGIO TERAN ORTEGA	340 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,46	-105,68
255	06CHI137710/24AMGE04	SOCIEDAD DE PRODUCCION RURAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA " SANTA ELENA DE LA LAGUNA " S.P. R. DE R.L.	300 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,93	-105,94

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

256	06CHI140790/24AMDL13	SOCORRO HUMBERTO ORTIZ REYES Y/O TEODORO ORTIZ REYES	288 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,55	-105,70
257	06CHI140433/24AMDL11	SOLIO AVILEZ MERAZ	162 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,61	-105,67
258	06CHI137929/24AMGE04	SUCESION A BIENES DE CIRIACO PABLO ROJAS SALDUA	35 739	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,90
259	2CHI112549/24AMGR97	TAYDE JULISSA, JULIO CESAR Y JOSE JULIO GAMEROS CAMPOS	16 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,83	-105,91
260	06CHI137999/24CMGE04	TEODORO ORTIZ REYES	300	DOMESTICO	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,55	-107,08
261	2CHH100165/24AMGR94	TOMAS HUMBERTO BERMUDEZ QUIÑONES Y HNOS.	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,75	-105,77
262	06CHI114180/24AMGE01	UNIDAD DE RIEGO EL DUENDE	300 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,85	-105,82
263-1	2CHI107842/24AMGR95	UNIDAD DE RIEGO LOS MANZANOS	120 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,43	-105,66

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

263-2	2CHI107842/24AMGR95	UNIDAD DE RIEGO LOS MANZANOS	240 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,44	-105,66
264	2CHI107909/24AMGR95	UNIDAD DE RIEGO VIÑA NUEVA (LABOR PRINCIPAL)	60 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,91
265-1	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	52 201 000	AGRICOLA	RÍO BRAVO		
265-2	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	89 740	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,50	-105,56
265-3	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	103 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,20	-105,39

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-4	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	89 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,17	-105,37
265-5	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	89 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,18	-105,40
265-6	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	108 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,21	-105,39
265-7	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	89 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,20	-105,40
265-8	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	89 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,21	-105,41

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-9	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	88 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,26	-105,40
265-10	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	46 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,29	-105,42
265-11	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,27	-105,41
265-12	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	88 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,25	-105,42
265-13	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	88 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,26	-105,43

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-14	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	88 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,28	-105,39
265-15	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	88 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,18	-105,42
265-16	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	88 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,18	-105,45
265-17	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	88 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,19	-105,47
265-18	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	46 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,16	-105,67

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-19	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	88 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,14	-105,65
265-20	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,48	-105,61
265-21	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	116 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,23	-105,53
265-22	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,23	-105,52
265-23	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,23	-105,62

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-24	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,25	-105,53
265-25	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,25	-105,52
265-26	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	88 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,26	-105,53
265-27	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	88 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,29	-105,54
265-28	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	46 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,25	-105,51

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-29	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	46 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,24	-105,51
265-30	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	46 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,24	-105,51
265-31	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	46 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,24	-105,52
265-32	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	116 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,53	-105,54
265-33	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	74 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,38	-105,54

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-34	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,38	-105,56
265-35	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	32 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,36	-105,55
265-36	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	131 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,35	-105,54
265-37	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,38	-105,52
265-38	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	88 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,38	-105,51

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-39	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	88 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,49	-105,60
265-40	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	88 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,37	-105,50
265-41	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	53 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,38	-105,54
265-42	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	28 000	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,38	-105,53
265-43	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	85 000	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,38	-105,57

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-44	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,47	-105,59
265-45	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	42 000	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,42	-105,55
265-46	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	32 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,42	-105,50
265-47	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	32 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,42	-105,50
265-48	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	53 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,32	-105,53

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-49	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,34	-105,56
265-50	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,34	-105,56
265-51	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	53 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,33	-105,51
265-52	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	29 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,33	-105,56
265-53	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	124 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,33	-105,56

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-54	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,29	-105,55
265-55	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	116 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,32	-105,55
265-56	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	124 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,31	-105,53
265-57	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	131 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,31	-105,54
265-58	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	81 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,30	-105,52

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-59	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	159 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,29	-105,54
265-60	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,32	-105,56
265-61	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	95 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,32	-105,57
265-62	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	32 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,29	-105,53
265-63	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	131 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,31	-105,52

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-64	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,31	-105,54
265-65	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	57 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,33	-105,55
265-66	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	81 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,34	-105,57
265-67	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	46 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,35	-105,58
265-68	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	18 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,32	-105,54

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-69	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	60 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,34	-105,54
265-70	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	88 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,35	-105,53
265-71	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	131 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,44	-105,58
265-72	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	18 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,00	-105,00
265-73	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	81 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,35	-105,54

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-74	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	43 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,51	-105,62
265-75	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	50 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,51	-105,62
265-76	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	60 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,38	-105,56
265-77	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	25 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,52	-105,61
265-78	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	46 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,49	-105,60

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-79	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	46 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,48	-105,61
265-80	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	42 000	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,49	-105,61
265-81	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	42 000	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,51	-105,61
265-82	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	85 000	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,27	-105,58
265-83	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	113 250	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,51	-105,54

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-84	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	120 250	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,26	-105,51
265-85	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	85 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,49	-105,56
265-86	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	85 000	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,45	-105,61
265-87	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	113 250	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,26	-105,53
265-88	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	64 000	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,47	-105,56

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-89	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	64 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,50	-105,56
265-90	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	92 000	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,21	-105,40
265-91	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	113 250	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,45	-105,59
265-92	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	85 000	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,27	-105,50
265-93	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	85 000	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,23	-105,52

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-94	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	85 000	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,50	-105,52
265-95	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	85 000	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,47	-105,57
265-96	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	85 000	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,49	-105,51
265-97	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	85 000	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,38	-105,52
265-98	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	85 000	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,49	-105,57

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-99	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	57 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,49	-105,58
265-100	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,27	-105,49
265-101	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,26	-105,51
265-102	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,27	-105,50
265-103	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,26	-105,50

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-104	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,27	-105,50
265-105	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,50	-105,56
265-106	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	131 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,28	-105,51
265-107	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,28	-105,51
265-108	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,28	-105,51

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-109	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,32	-105,46
265-110	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,33	-105,46
265-111	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	53 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,33	-105,46
265-112	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	88 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,29	-105,51
265-113	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,28	-105,52

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-114	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,33	-105,46
265-115	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	131 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,30	-105,50
265-116	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,29	-105,52
265-117	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,31	-105,47
265-118	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	88 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,31	-105,47

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-119	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	88 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,28	-105,51
265-120	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,49	-105,59
265-121	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,34	-105,45
265-122	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,49	-105,58
265-123	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,34	-105,45

Continua en la siguiente página.

Tabla.C.1. continua de la página anterior.

265-124	06CHI400508/24ATGC10	USUARIOS INGENIERO CÉSAR OCTAVIO RAMOS VALDEZ MÓDULO 8 BACHIMBA, A.C.	102 740	AGRICOLA	0831 - MEOQUI-DELICIAS	28,35	-105,44
266	06CHI135235/24AMGE00	VICTOR YAPOR ZEPEDA	100 000	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,89
267	2CHH101120/24AMGE94	VICTOR YAPOR ZEPEDA	136 128	AGRICOLA	0836 - ALDAMA-SAN DIEGO	28,84	-105,89

D. BALANCE HÍDRICO

D.1. Balance de aguas superficiales

Es una cuantificación del agua existente dentro de una superficie de captación o cuenca, en donde las entradas son por medio de la precipitación y las salidas se componen por la escorrentía superficial, evapotranspiración, cambio en el contenido de agua del suelo y el cambio en el volumen de almacenamiento de agua en el subsuelo, tal como se representa con la [Ecuación 32](#) ([Deitch et al., 2006](#)).

$$P - R - ET \pm \Delta A \pm \Delta G = 0 \quad (32)$$

En donde P es la precipitación; R es la escorrentía superficial; ET es la evapotranspiración; ΔG es el cambio de almacenamiento del agua en el subsuelo; ΔA es el cambio en el contenido de humedad en el suelo.

D.2. Balance de aguas subterráneas

Por otra parte, la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 en el Apéndice Normativo “B”, establece que el cambio del almacenamiento del agua en el subsuelo, es igual a la diferencia entre la recarga total del acuífero (suma de entradas) y la descarga total (suma de salidas) de agua del sistema ([Ecuación 33](#))([CNA, 2002](#)).

$$R_v + E_h + R_i - B - D_m = \Delta G \quad (33)$$

Donde R_v es la recarga vertical; E_h es la recarga por flujo subterráneo horizontal; R_i corresponde a la recarga inducida; B corresponde al bombeo; D_m son las descargas por manantiales; y ΔG es el cambio de almacenamiento.

D.3. Balance hídrico integrado

Comprende los elementos tanto del sistema de aguas superficiales como subterráneo. Al integrar las ecuaciones [Ecuación 32](#) y [Ecuación 33](#) se obtiene:

$$P - R - ET \pm \Delta A + E_h + R_i - B - D_m = \Delta G \quad (34)$$

D.4. Cálculo de los elementos del balance hídrico integrado

El proceso de cálculo de los elementos del balance hídrico se realizó con apoyo del software ArcGIS de la compañía ESRI y con hojas de cálculo.

La plataforma de ArcGIS pone a disposición la herramienta *Zonal Statistics* cuya función es determinar el promedio de los valores de una serie de datos (representados en formato *raster*) que se encuentren dentro de un área previamente delimitada; que en éste caso, corresponde a la superficie que ocupan cada uno de los diferentes tipos de suelo que existen en la región de estudio. Esta división del territorio obedece a dos razones principales. La primera se relaciona directamente con el valor de la capacidad potencial de retención de humedad (A_c) que varía en relación a la textura del suelo. La segunda razón tiene que ver con la clasificación hidrológica de cada tipo de suelo existente en la región, la cual influye en la estimación del valor CN para el cálculo de la escorrentía superficial, R .

En la [Figura D.1](#) se pueden observar los valores calculados para CN correspondientes a cada uno de los diferentes tipos de suelos previamente clasificados (grupos y subgrupo edafológicos).

D.4.1. Precipitación media mensual (P)

Aplicando la herramienta *zonal statistics* al modelo digital de precipitaciones (MDP), se obtuvo la precipitación media mensual en función de la edafología y el coeficiente CN . La [Figura D.2](#) representa el mapa de valores promedio de la precipitación media anual (suma de las precipitaciones medias mensuales) para cada tipo de suelo y la [Tabla D.1](#) muestra los valores calculados.

D.4.2. Escorrentía superficial (R)

El método de pérdidas del *SCS* fue aplicado para el cálculo directo de la escorrentía superficial, R , ([Ecuación 5](#)). En caso de que P no satisfaga la condición de ser mayor que $0,2S$, la escorrentía no se generará; es decir que $R = 0$.

La representación de la distribución espacial de R , se puede apreciar en la [Figura D.3](#).

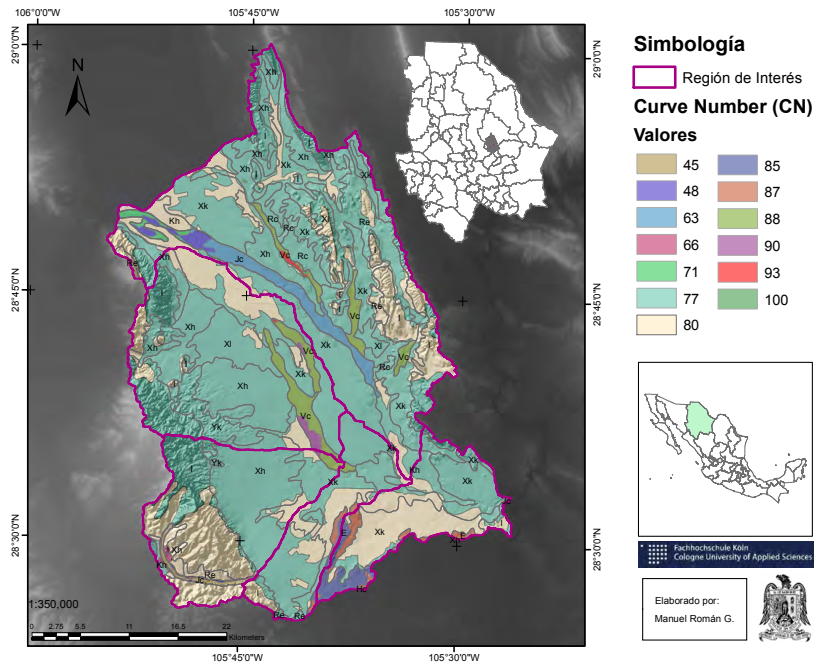


Figura D.1.: Distribución espacial de *CN* en función a la edafología.
 Datos: INEGI, Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), 2013.
 INIFAP-CONABIO, Edafología, Escalas 1:250 000 – 1:1 000 000, 1995.

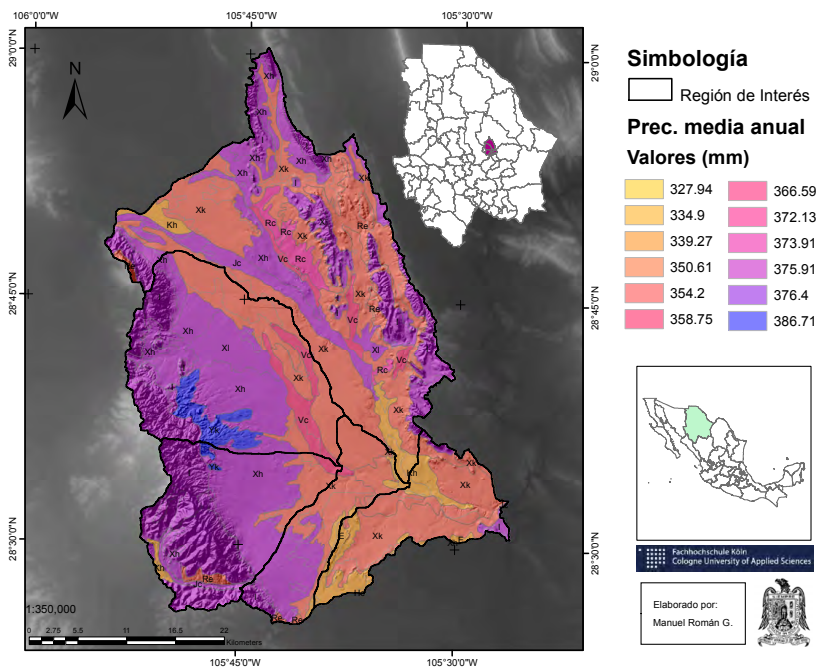


Figura D.2.: Valor de la precipitación media anual en función a la edafología y *CN*.
 Datos: INEGI, Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), 2013.
 INIFAP-CONABIO, Edafología, Escalas 1:250 000 – 1:1 000 000, 1995.

Tabla D.1.: Valores de la precipitación media anual.

ID	Nombre	Area (km ²)	Precipitación media anual (mm)		
			mínima	máxima	promedio
1	W60	679,54	314,50	398,33	361,53
2	W70	395,04	342,26	399,75	382,24
3	W80	268,46	342,12	399,98	379,59
4	W90	145,32	314,40	373,97	346,95
5	W100	171,62	292,16	348,62	313,98

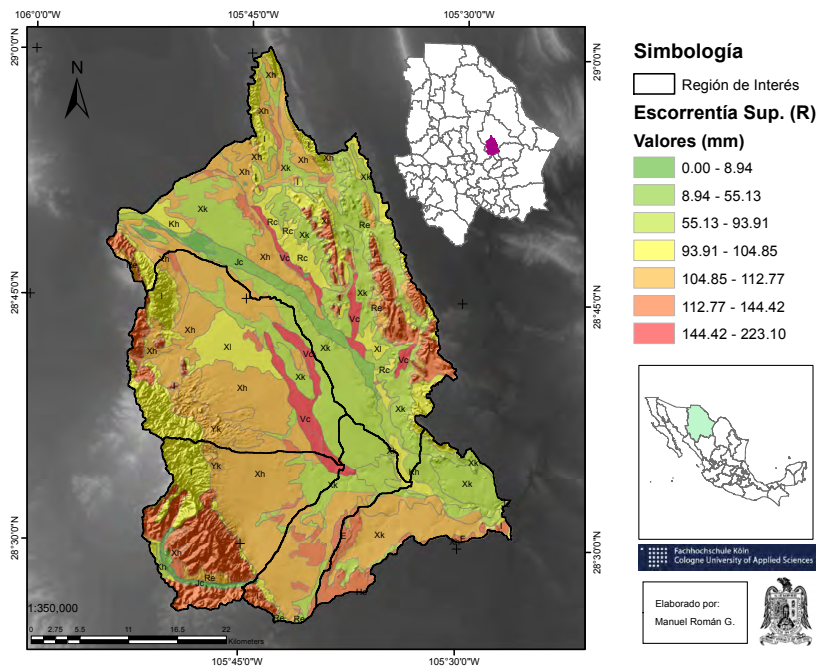


Figura D.3.: Distribución espacial de R en función a la edafología.

Datos: INEGI, Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), 2013.

INIFAP-CONABIO, Edafología, Escalas 1:250 000 – 1:1 000 000, 1995.

D.4.3. Evapotranspiración

La evapotranspiración es la cantidad de agua que se pierde por medio de transpiración de las plantas y la evaporación del contenido de humedad existente en el suelo. Teniendo esto en cuenta, la evaporación potencial (*ETP*) se define como la cantidad teórica que puede evaporarse si y solo si existiera la suficiente agua y energía que requiere el proceso.

D.4.3.1. Evapotranspiración potencial (*ETP*)

Thornthwaite (1948) desarrolló un procedimiento en donde la *ETP* se calcula con base a la temperatura media mensual, y posteriormente es afectada por un factor de corrección determinado con base a la duración astronómica del día (horas de luz de acuerdo a la latitud) y el número de días del mes (Almorox Alonso, 2010).

En la región de estudio se cuenta con los datos de ocho estaciones meteorológicas (*EMA*) en estado actual de servicio que se muestran en la [Tabla D.2](#)

Una vez que se dispone de los datos de temperatura media mensual, se identifican aquellos meses en donde se registraron temperaturas mayores a los 26.5°C (marcadas con **) ya que el método considera que la *ETP* se vuelve independiente del valor del índice de calor anual. En estos casos, primero se determina la *ETP* diaria sin ajustar directamente desde los valores de la [Tabla D.3](#) y posteriormente se multiplican por el factor de corrección, *L*, para cada mes en la latitud a la cual se encuentra instalada la *EMA*.

Para aquellos valores que se encuentran por debajo de los 26.5°C, el cálculo de la *ETP* ajustada se realiza con las siguientes ecuaciones:

$$e = 16L (10tm/I)^a \quad (35)$$

En donde *e* es la *ETP* ajustada; *L* es el factor de corrección del número de días (*N_di*) y la duración astronómica del día (*N_i*, horas de sol); *tm* es la temperatura media mensual; *I* es el índice de calor anual; y *a* es un parámetro que se encuentra en función de *I*, de tal forma que:

$$a = 0,000000675I^3 - 0,00000771I^2 + 0,01792I + 0,49239 \quad (36)$$

A su vez, el índice de calor anual, *I*, se determina como la sumatoria de los índices de calor mensuales, *i* ([Ecuación 37](#))

Tabla D.2.: Valores de temperatura media mensual.

ID	NOMBRE	MUNICIPIO	LAT.	LONG.	ALTITUD	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)											
						ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
8049	LUIS L. LEON	ALDAMA	28,98*	-105,31	1 080	10,2	12,8	16,4	20,7	24,9	28,7**	28,3**	27,1**	24,8	20,2	14,7	10,8
8056	PRESA EL REJON (DGE)	CHIHUAHUA	28,61*	-106,12	1 464	9	10,8	14,3	18,2	21,9	25,3	24,4	23,2	21,2	17,4	12,3	9,7
8085	LA BOQUILLA	SAN FRANCISCO DE CONCHOS	27,54*	-105,41	1 323	11,5	13,6	16,9	21	25,2	27,9**	26,9**	26,1	24,1	20,4	15,2	11,8
8092	LAS BURRAS	JULIMES	28,52*	-105,43	1 093	10,1	12,4	16	20,3	24,2	28**	27,8**	26,7**	24,5	19,9	14,1	10,5
8113	PRESA CHIHUAHUA (SMN)	CHIHUAHUA	28,57*	-106,17	1 532	9,1	11	14,2	18,4	22,4	25,4	24,2	23,4	21,4	18,1	13,4	10,2
8147	UNIVERSIDAD	CHIHUAHUA	28,71*	-105,99	1 350	10,2	12,2	15	18,8	22,4	26	25,4	24,1	22,1	18,1	12,9	10,2
8162	CAMARGO (DGE)	CAMARGO	27,70*	-105,18	1 250	10,1	12,8	16,4	20,5	24,4	27,1**	26,4	25,6	23,7	19,6	14,8	11,1
8185	PRESA CHIHUAHUA (DGE)	CHIHUAHUA	28,58*	-106,17	1 548	9,5	11	14,2	18,4	22,3	25,4	24,2	23,4	21,4	18,2	13,4	10,4

*Se debe calcular el valor de L (índice de iluminación mensual en unidades de 12 hrs.) con base a la latitud (Tabla 2.1).

**Para temperatura media mensual mayor a 26,50°C se extraen los valores de la ETP diaria sin corregir (Tabla 2.2).

Datos: SMN, CONAGUA (2014).

Tabla D.3.: Valores de ETP diaria sin corregir para temperaturas mayores a 26,5°C.

Fuente: [Almorox Alonso \(2010\)](#)

tm (°C)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
26						4,5	4,5	4,6	4,6	4,6
27	4,6	4,7	4,7	4,7	4,8	4,8	4,8	4,8	4,9	4,9
28	4,9	5,0	5,0	5,0	5,0	5,1	5,1	5,1	5,1	5,2
29	5,2	5,2	5,2	5,2	5,3	5,3	5,3	5,3	5,4	5,4
30	5,4	5,4	5,4	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,6	5,6
31	5,6	5,6	5,6	5,6	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,8
32	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,9	5,9	5,9	5,9
33	5,9	5,9	5,9	5,9	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
34	6,0	6,0	6,0	6,0	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
35	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
36	6,1	6,1	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
37	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
38	6,2									

Tabla D.4.: Valores del factor de corrección del número de días del mes (Nd_i) y la duración astronómica del día (N_i).

Fuente: [Almorox Alonso \(2010\)](#).

LAT. N (°)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
27	0,92	0,88	1,03	1,07	1,16	1,15	1,18	1,13	1,02	0,99	0,9	0,9
28	0,91	0,88	1,03	1,07	1,16	1,16	1,18	1,13	1,02	0,98	0,9	0,9
29	0,91	0,87	1,03	1,07	1,17	1,16	1,19	1,13	1,03	0,98	0,9	0,89
30	0,9	0,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,2	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
35	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
36	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84
37	0,86	0,84	1,03	1,1	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	0,97	0,85	0,83
38	0,85	0,84	1,03	1,1	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83
39	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	0,96	0,84	0,82
40	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81
41	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,8
42	0,82	0,83	1,03	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19	1,04	0,95	0,82	0,79
43	0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,2	1,04	0,95	0,81	0,77
44	0,81	0,82	1,02	1,13	1,27	1,29	1,3	1,2	1,04	0,95	0,8	0,76

$$I = \Sigma i_j ; j = 1, \dots, 12 \text{ donde } i_j = (tm_j/5)^{1,514} \quad (37)$$

Por último, los valores del factor de corrección se extraen de la [Tabla D.4](#), que corresponde a los valores para coordenadas entre los 27° y 44° de latitud norte.

La [Tabla D.5](#) se observa el cálculo de la *ETP* para cada *EMA* de acuerdo a la metodología de Thorthwaite (1948).

D.4.3.2. Evapotranspiración actual (*ETA*)

Corresponde a la cantidad de agua que realmente se evapora desde la matriz del suelo en conjunto con el agua que transpiran las plantas. En aquellos casos en donde existe poca disponibilidad de agua, la evapotranspiración real o actual (*ETA*) puede ser menor a la *ETP*.

Para determinar la *ETA* es necesario conocer la *ETP*, la precipitación efectiva ($P_{EFEC} = P - R$) y la variación de la cantidad de humedad actual en el suelo (*A*), de este modo se presenta dos posibles casos:

$$Si \quad (P_{EFEC} \pm \Delta A) \geq ETP \quad \text{entonces}; \quad ETA = ETP \quad (38)$$

$$Si \quad (P_{EFEC} \pm \Delta A) < ETP \quad \text{entonces}; \quad ETA = P_{EFEC} \pm \Delta A \quad (39)$$

Por su parte, la ecuación para calcular la cantidad de humedad actual en el suelo es:

$$A = A_c e^{-\frac{L}{A_c}} \quad (40)$$

Donde *L* es la pérdida potencial de humedad que se define como la suma acumulada de la diferencia entre la P_{EFEC} , la *ETP* y la capacidad de retención de humedad del suelo (A_c). Si se emplean subíndices para diferenciar los meses que componen los periodos secos y húmedos se tiene que ([Dourado-Neto et al., 2010](#)):

$$Si \quad (P_{EFEC-i} - ETP) < 0 \quad \text{entonces}; \quad L = L_{i-1} - (P_{EFEC-i} - ETP) \quad (41)$$

$$y \quad A = A_c e^{-\frac{L}{A_c}} \quad (42)$$

Tabla D.5.: Cálculo de la *ETP* por *EMA* (método de Thorthwaite, 1948).

				TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)												
ID	LAT	LONG	ALT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
8049	28,98	-105,31	1 080	10,2	12,8	16,4	20,7	24,9	28,7	28,3	27,1	24,8	20,2	14,7	10,8	
índice de calor mensual "i"				2,94	4,15	6,04	8,59	11,37	14,09	13,80	12,92	11,30	8,28	5,12	3,21	
$I = \sum i_j$				101,81					5,1	5	4,7	valores de Tabla D.3 (mm/día)				
valor de "a"				2,23					30	31	31	días del mes				
<i>EPT</i> sin ajustar "e"				16,07	26,66	46,33	77,87	117,56	153,00	155,00	145,70	116,51	73,74	36,30	18,25	
<i>EPT</i> ajustado e_{Th}				14,62	23,20	47,72	83,32	137,52	177,48	184,42	164,64	119,98	72,26	32,67	16,25	

				TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)												
ID	LAT	LONG	ALT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
8056	28,61	-106,12	1 464	9	10,8	14,3	18,2	21,9	25,3	24,4	23,2	21,2	17,4	12,3	9,7	
índice de calor mensual "i"				2,43	3,21	4,91	7,07	9,36	11,64	11,02	10,21	8,91	6,61	3,91	2,73	
$I = \sum i_j$				82,01							valores de Tabla D.3 (mm/día)					
valor de "a"				1,82							días del mes					
<i>EPT</i> sin ajustar "e"				18,94	26,38	43,91	68,04	95,21	123,74	115,86	105,72	89,76	62,71	33,40	21,70	
<i>EPT</i> ajustado e_{Th}				17,24	23,05	45,23	72,80	111,03	143,53	137,43	119,46	92,10	61,45	30,06	19,40	

				TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)												
ID	LAT	LONG	ALT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
8085	27,54	-105,41	1 323	11,5	13,6	16,9	21	25,2	27,9	26,9	26,1	24,1	20,4	15,2	11,8	
índice de calor mensual "i"				3,53	4,55	6,32	8,78	11,57	13,50	12,78	12,21	10,82	8,41	5,38	3,67	
$I = \sum i_j$				101,51					4,9	4,6	valores de Tabla D.3 (mm/día)					
valor de "a"				2,22					30	31	días del mes					
<i>EPT</i> sin ajustar "e"				21,11	30,65	49,69	80,53	120,77	147,00	142,60	130,57	109,37	75,50	39,25	22,36	
<i>EPT</i> ajustado e_{Th}				19,31	26,98	51,18	86,16	140,10	169,85	168,27	147,55	111,55	74,34	35,33	20,12	

				TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)												
ID	LAT	LONG	ALT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
8092	28,52	-105,43	1 093	10,1	12,4	16	20,3	24,2	28	27,8	26,7	24,5	19,9	14,1	10,5	
índice de calor mensual "i"				2,90	3,96	5,82	8,34	10,89	13,58	13,43	12,63	11,09	8,10	4,80	3,07	
$I = \sum i_j$				98,60					4,9	4,9	4,6	valores de Tabla D.3 (mm/día)				
valor de "a"				2,16					30	31	31	días del mes				
<i>EPT</i> sin ajustar "e"				16,85	26,23	45,45	75,95	110,95	147,00	151,90	142,60	113,94	72,76	34,60	18,32	
<i>EPT</i> ajustado e_{Th}				15,33	22,95	46,82	81,26	129,27	170,52	180,02	161,14	116,80	71,30	31,14	16,40	

				TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)												
ID	LAT	LONG	ALT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
8113	28,57	-106,17	1 532	9,1	11	14,2	18,4	22,4	25,4	24,2	23,4	21,4	18,1	13,4	10,2	
índice de calor mensual "i"				2,48	3,30	4,86	7,19	9,68	11,71	10,89	10,35	9,04	7,01	4,45	2,94	
$I = \sum i_j$				83,89							valores de Tabla D.3 (mm/día)					
valor de "a"				1,85							días del mes					
<i>EPT</i> sin ajustar "e"				18,60	26,43	42,40	68,50	98,61	124,44	113,78	106,91	90,61	66,45	38,08	22,98	
<i>EPT</i> ajustado e_{Th}				16,93	23,10	43,67	73,30	114,94	144,35	134,91	120,81	92,94	65,12	34,27	20,55	

				TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)												
ID	LAT	LONG	ALT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
8147	28,71	-105,99	1 350	10,2	12,2	15	18,8	22,4	26	25,4	24,1	22,1	18,1	12,9	10,2	
índice de calor mensual "i"				2,94	3,86	5,28	7,43	9,68	12,13	11,71	10,82	9,49	7,01	4,20	2,94	
$I = \sum i_j$				87,50							valores de Tabla D.3 (mm/día)					
valor de "a"				1,92							días del mes					
<i>EPT</i> sin ajustar "e"				21,49	30,31	45,09	69,60	97,47	129,81	124,11	112,19	94,98	64,70	33,74	21,49	
<i>EPT</i> ajustado e_{Th}				19,55	26,46	46,45	74,47	113,75	150,58	147,33	126,77	97,55	63,41	30,37	19,19	

				TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)												
ID	LAT	LONG	ALT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
8162	27,70	-105,18	1 250	10,1	12,8	16,4	20,5	24,4	27,1	26,4	25,6	23,7	19,6	14,8	11,1	
índice de calor mensual "i"				2,90	4,15	6,04	8,47	11,02	12,92	12,42	11,85	10,55	7,91	5,17	3,34	
$I = \sum i_j$				96,74					4,7	valores de Tabla D.3 (mm/día)						
valor de "a"				2,12					30	días del mes						
<i>EPT</i> sin ajustar "e"				17,53	28,93	48,87	78,36	113,27	141,00	133,81	125,38	106,50	71,26	39,33	21,40	
<i>EPT</i> ajustado e_{Th}				16,00	25,46	50,34	83,84	131,39	163,14	157,90	141,68	108,63	70,05	35,40	19,26	

				TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)												
ID	LAT	LONG	ALT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
8185	28,58	-106,17	1 548	9,50	11	14,2	18,4	22,3	25,4	24,2	23,4	21,4	18,2	13,4	10,4	
índice de calor mensual "i"				2,64	3,30	4,86	7,19	9,62	11,71	10,89	10,35	9,04	7,07	4,45	3,03	
$I = \sum i_j$				84,14							valores de Tabla D.3 (mm/día)					
valor de "a"				1,86							días del mes					
<i>EPT</i> sin ajustar "e"				20,05	26,32	42,27	68,39	97,71	124,42	113,73	106,85	90,52	67,01	37,96	23,71	
<i>EPT</i> ajustado e_{Th}				18,24	23,00	43,54	73,17	113,92	144,33	134,86	120,74	92,86	65,67	34,16	21,20	

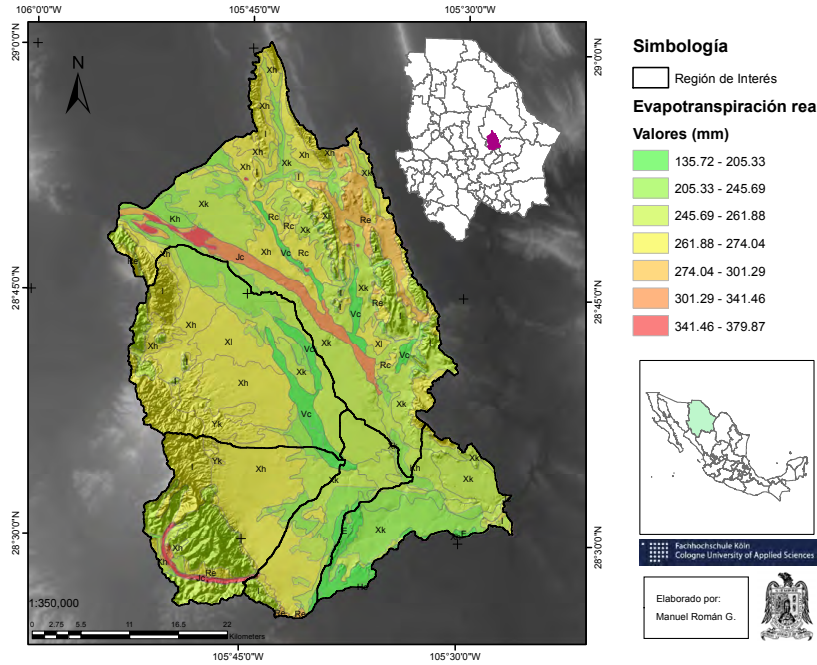


Figura D.4.: Valor promedio de la ETA en función a la edafología.
 Datos: INEGI, Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), 2013.
 INIFAP-CONABIO, Edafología, Escalas 1:250 000 – 1:1 000 000,1995.

$$Si (P_{EFEC-i} - ETP) \geq 0 \text{ entonces; } L = -A_c \ln \left(\frac{A_i}{A_c} \right) \quad (43)$$

$$y \quad A_i = A_{i-1} + (P_{EFEC-i} - ETP) \quad (44)$$

Si $A_i > A_c$ entonces :

$$A_i = A_c \quad (45)$$

El cálculo de L y A comienzan en el último mes de la temporada húmeda (mes de agosto) en donde se observa que ETP es mayor a la P_{EFEC} , lo cual significa que el total del agua que logra infiltrarse en el terreno se pierde al final del mes; por lo tanto el valor de L para el mes de agosto es igual a $P_{EFEC} - ETP$.

Los valores promedio de la ETA media anual que son resultado de la tercera iteración de acuerdo al procedimiento del método propuesto por Thorthwaite y Mather (1995) (Dourado-Neto et al., 2010), son representados en la Figura D.4 en función de la edafología y el valor CN para la región de estudio.

Tabla D.6.: Cálculo de recarga por flujo subterráneo horizontal.

Fuente: CONAGUA (2008).

CELDA	W (m)	dh (m)	dl (m)	(dh/dl)	T (m^2/s)	CAUDAL Q (m^3/s)	Vol. ($hm^3/año$)
E1	4190	10	705	0,0142	0,0033	0,196	6,19
E2	2761	10	614	0,0163	0,0033	0,148	4,68
E3	4450	10	1001	0,0100	0,0033	0,147	4,63
E4	4085	10	2167	0,0046	0,0033	0,062	1,96
E5	5235	10	2817	0,0035	0,0033	0,061	1,93
E6	3939	10	1960	0,0051	0,0033	0,066	2,09
E7	6133	10	2006	0,0050	0,0033	0,101	3,18
E8	8704	10	2113	0,0047	0,0033	0,136	4,29
E9	6629	10	2388	0,0042	0,0033	0,092	2,89
E10	6577	10	1766	0,0057	0,0033	0,123	3,88
E11	5970	10	644	0,0155	0,0033	0,306	9,65
						Σ	45,36

D.4.4. Recargas por flujo horizontal subterráneo

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es el estudio para la *Determinación de la disponibilidad de agua subterránea en el acuífero 0836 Aldama – San Diego, en el estado de Chihuahua* (CONAGUA, 2008), menciona que una porción del volumen de agua que precipita en las partes altas de la sierra, logra infiltrarse por las fracturas que existen en las rocas para posteriormente formar parte de la recarga del acuífero. El flujo subterráneo horizontal ocurre por la diferencia de elevaciones del nivel freático evidenciando que el ingreso principal es desde la parte NW de la región.

A partir de ésta información, CONAGUA establece 11 celdas de flujo (Figura D.5) en donde se determina el volumen de agua que circula en el subsuelo por medio de la Ley de Darcy y la ecuación de transmisividad. Los principales factores para determinar éste proceso son la transmisividad del acuífero (T), la longitud de la sección transversal a través de la cual ocurre el flujo (W), y el gradiente hidráulico (dh/dl).

La transmisividad, T, fue determinada a partir de 6 pruebas de bombeo de larga duración donde los valores obtenidos durante las etapas de abatimiento y recuperación varían entre $14m^2/día$ a $3\ 196\ m^2/día$; resultando en un valor promedio de $840\ m^2/día$.

Los valores correspondientes a longitud de la sección transversal y el gradiente hidráulico se determinaron a partir del mapa correspondiente a las elevaciones del nivel freático (Figura D.5). El gradiente hidráulico es igual a la división entre la diferencia y la distancia horizontal de las equipotenciales (elevaciones del nivel freático).

En la Tabla D.6 se observan los datos para el cálculo del volumen de flujo de agua subterránea de cada una de las celdas.

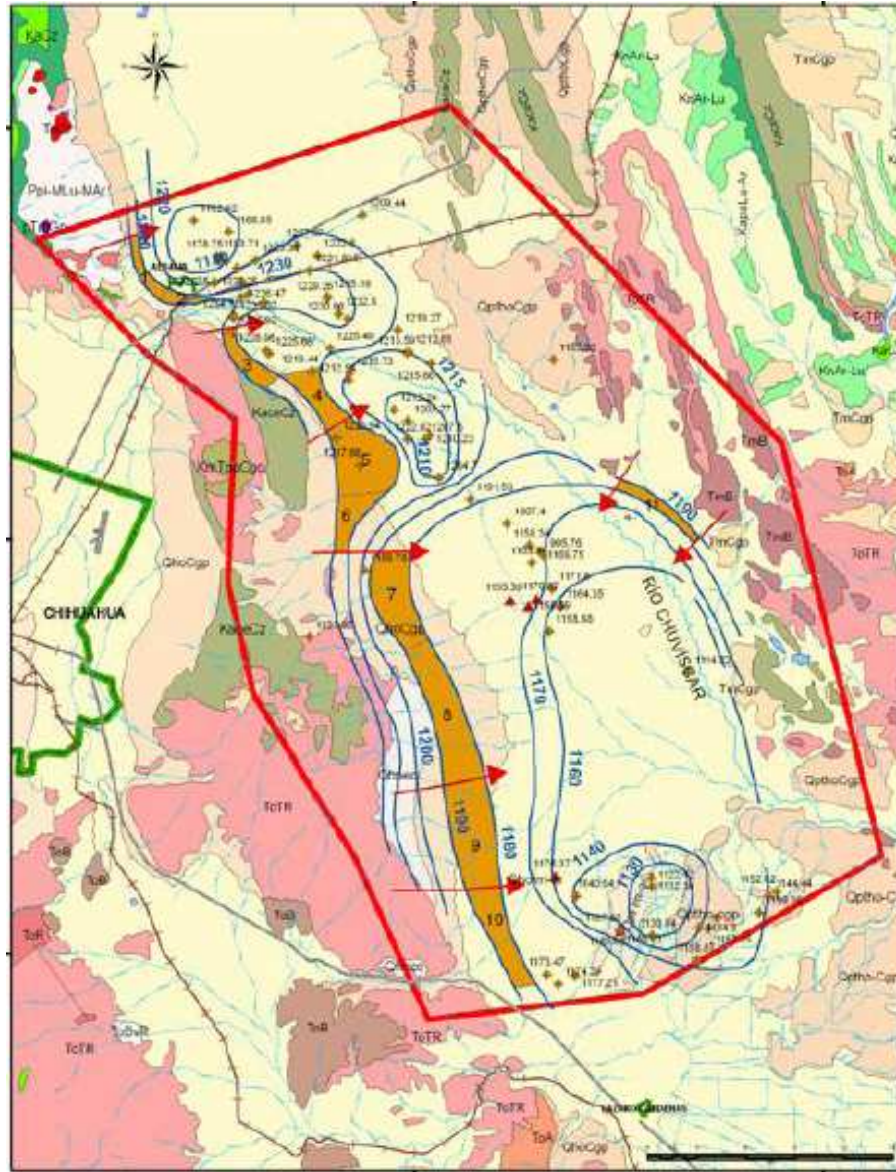


Figura D.5.: Celdas de flujo horizontal y elevaciones del nivel freático.

Fuente: CONAGUA (2008).

D.4.5. Recarga inducida

Este tipo de recarga es por causa del agua de riego que se extrae directamente del acuífero y que al no ser aprovechada retorna al sistema por medio de infiltración. La cantidad de agua que se extrae se determinó con base a los datos del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA) con registros inscritos hasta el 31 de diciembre de 2014.

Para determinar la recarga inducida, se considera de manera práctica que éste es aproximadamente el 20% del volumen de agua empleada en los sistemas de riego. El REPDA registra un total de $40,25 \text{ hm}^3/\text{año}$ destinados para la agricultura, por lo tanto la recarga inducida es de $8,05 \text{ hm}^3/\text{año}$.

D.4.6. Extracción por bombeo

El REPDA tiene registrados un total de 276 aprovechamientos de los cuales 201 (73%) son para el sector agrícola, 8 (3%) para el sector pecuario, 12 (4%) son aprovechamientos para usos múltiples, 7 (3%) corresponden a uso doméstico y 48 (17%) se destinan para uso público urbano.

El total del volumen de agua que se extrae es igual a $42,18 \text{ hm}^3/\text{año}$, destinándose $40,25 \text{ hm}^3$ para agricultura, $0,03 \text{ hm}^3$ para el sector pecuario, $0,26 \text{ hm}^3$ es para uso múltiple, $0,01 \text{ hm}^3$ para uso doméstico y finalmente $1,63 \text{ hm}^3$ para público urbano.

D.5. Solución de la ecuación de balance

Al transcribir los componentes de los sistemas de aguas superficiales y subterráneas en la ecuación general de balance se obtiene:

$$R_v + E_h + R_i - B - D_M = \Delta G; \quad \text{siendo} \quad R_v = P_{EFEC} - ETA \quad (46)$$

Donde R_v es la recarga vertical; E_h recarga por flujo subterráneo horizontal; R_i recarga inducida; B representa el agua del subsuelo que es bombeada para consumo; D_m es la descarga por manantiales; P es la precipitación; R es la escorrentía superficial; ETA es la evapotranspiración actual; y finalmente ΔG es el cambio en el almacenamiento de agua en subsuelo.

El cálculo de las recargas verticales se resume en la [Tabla D.7](#) donde se hace notar que existe un constante déficit de agua provocado sobre todo por las altas tasas de evapotranspiración que no logran ser compensadas por la cantidad total de agua precipitada. La cantidad total de agua

Tabla D.7.: Balance hídrico superficial (tabla resumida).

SUELO	AREA (km ²)	Ac (mm)	P (mm)	R (mm)	P_{EFEC} (mm)	ETP (mm)	A (mm)	ΔA (mm)	ETA (mm)	ΔG (mm)	ΔG (hm ³)
E	33,64	104,00	1 004,70	418,40	586,30	2 983,26	0,00	0,00	586,30	0,00	0,00
Hc	0,04	508,00	655,89	172,48	483,40	2005,14	194,37	-24,17	507,57	-24,17	-0,48
I	324,03	17,00	1 1217,21	3296,39	7 920,83	28 442,24	0,00	0,00	7 920,83	0,00	0,00
Jc	54,95	259,00	3 011,22	309,11	2 702,11	7 559,38	48,60	-9,45	2 711,57	-9,45	-64,54
Kh	50,02	136,00	2 374,87	597,74	1 777,13	6 921,86	0,01	0,00	1 777,13	0,00	-0,02
Rc	25,57	207,00	2 566,10	636,69	1 929,41	6 714,51	3,26	-0,80	1 930,21	-0,80	-2,24
Re	69,71	612,00	3 187,77	872,15	2 315,62	8 790,76	2 528,22	-250,46	2 566,08	-250,46	-1 932,06
Vc	55,34	241,00	4 304,99	2 127,86	2 177,12	11 609,79	7,96	-1,79	2 178,92	-1,79	-6,47
Xh	353,18	306,00	10 149,53	2 874,23	7 275,30	25 523,87	259,42	-46,28	7 321,58	-46,28	-582,07
Xk	581,68	268,00	8 765,27	2 370,39	6 394,88	24 412,80	60,29	-12,56	6 407,44	-12,56	-281,01
Xl	73,11	164,00	2 232,77	675,85	1 556,93	5 707,70	0,19	-0,06	1 556,98	-0,06	-0,75
Yk	35,12	199,00	1 160,14	357,01	803,13	2 793,12	1,05	-0,26	803,39	-0,26	-3,34
Σ										-2 872,98	
PROMEDIO 1951-2010										-47,88	

que logra infiltrarse en el terreno (P_{EFECT}) es de 35 922,15 mm mientras que la cantidad total de agua que se pierde por evapotranspiración actual (ETA) es 36 267,98 mm, lo cual se traduce en una pérdida total de 345,83 mm (**47,88 hm³/año** en promedio dentro del periodo entre 1951-2010).

En la [Tabla D.8](#) se pueden observar los valores de los componentes del balance hídrico superficial para cada una de las áreas que resultan de la división de la región de estudio con base a la edafología.

Finalmente los valores de las recargas (R_v , E_h , R_i) y descargas (B , D_m) se sustituyen en la ecuación de balance hídrico y se resuelve para ΔG :

$$\Delta G = R_v + E_h + R_i - B - D_m = -47,88 + 45,36 + 8,05 - 42,18 - 1,5$$

$$\Delta G = -36,65 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Tabla D.8.: Balance hídrico superficial.

ID	SUELO	AREA (km ²)	CN	S (mm)	I _a (mm)	A _c (mm)	P (mm)	R (mm)	P _{EFEC} (mm)	ETP (mm)	A (mm)	ΔA (mm)	ETA (mm)	ΔG (mm)	ΔG (hm ³)
0	E	19,53	85	44,82	8,96	104,00	334,90	129,57	205,33	994,42	0,00	0,00	205,33	0,00	0,00
1	E	12,22	87	37,95	7,59	104,00	334,90	144,42	190,48	994,42	0,00	0,00	190,48	0,00	0,00
2	E	1,88	87	37,95	7,59	104,00	334,90	144,42	190,48	994,42	0,00	0,00	190,48	0,00	0,00
3	Hc	0,00	77	75,87	15,17	508,00	327,94	78,57	249,37	1002,57	101,31	-12,51	261,88	-12,51	-0,03
4	Hc	0,04	80	63,50	12,70	508,00	327,94	93,91	234,03	1002,57	93,06	-11,66	245,69	-11,66	-0,46
5	I	0,39	66	130,85	26,17	17,00	373,91	54,26	319,65	948,07	0,00	0,00	319,65	0,00	0,00
6	I	0,30	66	130,85	26,17	17,00	373,91	54,26	319,65	948,07	0,00	0,00	319,65	0,00	0,00
7	I	25,80	77	75,87	15,17	17,00	373,91	104,85	269,05	948,07	0,00	0,00	269,05	0,00	0,00
8	I	28,27	77	75,87	15,17	17,00	373,91	104,85	269,05	948,07	0,00	0,00	269,05	0,00	0,00
9	I	2,58	77	75,87	15,17	17,00	373,91	104,85	269,05	948,07	0,00	0,00	269,05	0,00	0,00
10	I	0,80	77	75,87	15,17	17,00	373,91	104,85	269,05	948,07	0,00	0,00	269,05	0,00	0,00
11	I	28,88	77	75,87	15,17	17,00	373,91	104,85	269,05	948,07	0,00	0,00	269,05	0,00	0,00
12	I	0,82	77	75,87	15,17	17,00	373,91	104,85	269,05	948,07	0,00	0,00	269,05	0,00	0,00
13	I	2,09	77	75,87	15,17	17,00	373,91	104,85	269,05	948,07	0,00	0,00	269,05	0,00	0,00
14	I	0,01	77	75,87	15,17	17,00	373,91	104,85	269,05	948,07	0,00	0,00	269,05	0,00	0,00
15	I	1,28	77	75,87	15,17	17,00	373,91	104,85	269,05	948,07	0,00	0,00	269,05	0,00	0,00
16	I	1,08	77	75,87	15,17	17,00	373,91	104,85	269,05	948,07	0,00	0,00	269,05	0,00	0,00
17	I	72,96	77	75,87	15,17	17,00	373,91	104,85	269,05	948,07	0,00	0,00	269,05	0,00	0,00
18	I	0,10	77	75,87	15,17	17,00	373,91	104,85	269,05	948,07	0,00	0,00	269,05	0,00	0,00
19	I	2,06	77	75,87	15,17	17,00	373,91	104,85	269,05	948,07	0,00	0,00	269,05	0,00	0,00
20	I	2,44	77	75,87	15,17	17,00	373,91	104,85	269,05	948,07	0,00	0,00	269,05	0,00	0,00
21	I	0,02	80	63,50	12,70	17,00	373,91	122,85	251,05	948,07	0,00	0,00	251,05	0,00	0,00

Continúa en la siguiente página.

Tabla.D.8. continua de la página anterior.

22	I	22,25	80	63,50	12,70	17,00	373,91	122,85	251,05	948,07	0,00	0,00	251,05	0,00	0,00
23	I	0,32	80	63,50	12,70	17,00	373,91	122,85	251,05	948,07	0,00	0,00	251,05	0,00	0,00
24	I	0,15	80	63,50	12,70	17,00	373,91	122,85	251,05	948,07	0,00	0,00	251,05	0,00	0,00
25	I	14,31	80	63,50	12,70	17,00	373,91	122,85	251,05	948,07	0,00	0,00	251,05	0,00	0,00
26	I	3,34	80	63,50	12,70	17,00	373,91	122,85	251,05	948,07	0,00	0,00	251,05	0,00	0,00
27	I	18,48	80	63,50	12,70	17,00	373,91	122,85	251,05	948,07	0,00	0,00	251,05	0,00	0,00
28	I	0,25	80	63,50	12,70	17,00	373,91	122,85	251,05	948,07	0,00	0,00	251,05	0,00	0,00
29	I	0,66	80	63,50	12,70	17,00	373,91	122,85	251,05	948,07	0,00	0,00	251,05	0,00	0,00
30	I	0,60	80	63,50	12,70	17,00	373,91	122,85	251,05	948,07	0,00	0,00	251,05	0,00	0,00
31	I	65,42	80	63,50	12,70	17,00	373,91	122,85	251,05	948,07	0,00	0,00	251,05	0,00	0,00
32	I	0,36	80	63,50	12,70	17,00	373,91	122,85	251,05	948,07	0,00	0,00	251,05	0,00	0,00
33	I	3,02	80	63,50	12,70	17,00	373,91	122,85	251,05	948,07	0,00	0,00	251,05	0,00	0,00
34	I	24,97	80	63,50	12,70	17,00	373,91	122,85	251,05	948,07	0,00	0,00	251,05	0,00	0,00
35	Jc	5,97	45	310,44	62,09	259,00	376,40	4,87	371,53	944,92	8,39	-1,59	373,12	-1,59	-9,50
36	Jc	8,48	48	275,17	55,03	259,00	376,40	8,94	367,46	944,92	8,03	-1,53	368,99	-1,53	-12,98
37	Jc	1,13	48	275,17	55,03	259,00	376,40	8,94	367,46	944,92	8,03	-1,53	368,99	-1,53	-1,73
38	Jc	0,00	63	149,17	29,83	259,00	376,40	44,84	331,56	944,92	5,44	-1,07	332,63	-1,07	0,00
39	Jc	32,41	63	149,17	29,83	259,00	376,40	44,84	331,56	944,92	5,44	-1,07	332,63	-1,07	-34,77
40	Jc	0,17	63	149,17	29,83	259,00	376,40	44,84	331,56	944,92	5,44	-1,07	332,63	-1,07	-0,18
41	Jc	0,16	71	103,75	20,75	259,00	376,40	75,91	300,50	944,92	3,91	-0,79	301,29	-0,79	-0,12
42	Jc	6,63	71	103,75	20,75	259,00	376,40	75,91	300,50	944,92	3,91	-0,79	301,29	-0,79	-5,24
43	Kh	0,73	66	130,85	26,17	136,00	339,27	40,87	298,40	988,84	0,00	0,00	298,40	0,00	0,00
44	Kh	0,08	77	75,87	15,17	136,00	339,27	84,82	254,45	988,84	0,00	0,00	254,45	0,00	0,00
45	Kh	24,11	77	75,87	15,17	136,00	339,27	84,82	254,45	988,84	0,00	0,00	254,45	0,00	-0,01
46	Kh	2,03	77	75,87	15,17	136,00	339,27	84,82	254,45	988,84	0,00	0,00	254,45	0,00	0,00

Continúa en la siguiente página.

Tabla.D.8. continua de la página anterior.

47	Kh	9,85	80	63,50	12,70	136,00	339,27	100,81	238,46	988,84	0,00	0,00	238,46	0,00	0,00
48	Kh	12,23	80	63,50	12,70	136,00	339,27	100,81	238,46	988,84	0,00	0,00	238,46	0,00	0,00
49	Kh	0,98	80	63,50	12,70	136,00	339,27	100,81	238,46	988,84	0,00	0,00	238,46	0,00	0,00
50	Rc	7,50	77	75,87	15,17	207,00	366,59	100,25	266,34	959,22	0,35	-0,09	266,42	-0,09	-0,65
51	Rc	2,29	77	75,87	15,17	207,00	366,59	100,25	266,34	959,22	0,35	-0,09	266,42	-0,09	-0,20
52	Rc	13,50	77	75,87	15,17	207,00	366,59	100,25	266,34	959,22	0,35	-0,09	266,42	-0,09	-1,18
53	Rc	2,11	77	75,87	15,17	207,00	366,59	100,25	266,34	959,22	0,35	-0,09	266,42	-0,09	-0,18
54	Rc	0,02	80	63,50	12,70	207,00	366,59	117,85	248,74	959,22	0,28	-0,07	248,81	-0,07	0,00
55	Rc	0,12	80	63,50	12,70	207,00	366,59	117,85	248,74	959,22	0,28	-0,07	248,81	-0,07	-0,01
56	Rc	0,03	100	0,00	0,00	207,00	366,59	0,00	366,59	959,22	1,31	-0,31	366,89	-0,31	-0,01
57	Re	0,23	66	130,85	26,17	612,00	354,20	45,94	308,26	976,75	355,49	-33,20	341,46	-33,20	-7,58
58	Re	46,39	77	75,87	15,17	612,00	354,20	92,72	261,48	976,75	285,15	-28,18	289,66	-28,18	-1307,26
59	Re	0,65	77	75,87	15,17	612,00	354,20	92,72	261,48	976,75	285,15	-28,18	289,66	-28,18	-18,29
60	Re	2,02	77	75,87	15,17	612,00	354,20	92,72	261,48	976,75	285,15	-28,18	289,66	-28,18	-56,94
61	Re	8,56	80	63,50	12,70	612,00	354,20	109,61	244,59	976,75	263,46	-26,54	271,13	-26,54	-227,30
62	Re	2,75	80	63,50	12,70	612,00	354,20	109,61	244,59	976,75	263,46	-26,54	271,13	-26,54	-73,12
63	Re	4,01	80	63,50	12,70	612,00	354,20	109,61	244,59	976,75	263,46	-26,54	271,13	-26,54	-106,48
64	Re	4,92	80	63,50	12,70	612,00	354,20	109,61	244,59	976,75	263,46	-26,54	271,13	-26,54	-130,60
65	Re	0,17	80	63,50	12,70	612,00	354,20	109,61	244,59	976,75	263,46	-26,54	271,13	-26,54	-4,48
66	Vc	5,71	88	34,64	6,93	241,00	358,75	171,14	187,61	967,48	0,51	-0,12	187,73	-0,12	-0,68
67	Vc	8,51	88	34,64	6,93	241,00	358,75	171,14	187,61	967,48	0,51	-0,12	187,73	-0,12	-1,01
68	Vc	8,64	88	34,64	6,93	241,00	358,75	171,14	187,61	967,48	0,51	-0,12	187,73	-0,12	-1,02
69	Vc	21,30	88	34,64	6,93	241,00	358,75	171,14	187,61	967,48	0,51	-0,12	187,73	-0,12	-2,53
70	Vc	3,64	88	34,64	6,93	241,00	358,75	171,14	187,61	967,48	0,51	-0,12	187,73	-0,12	-0,43
71	Vc	0,85	90	28,22	5,64	241,00	358,75	189,88	168,86	967,48	0,41	-0,10	168,96	-0,10	-0,08

Continúa en la siguiente página.

Tabla.D.8. continua de la página anterior.

72	Vc	4,61	90	28,22	5,64	241,00	358,75	189,88	168,86	967,48	0,41	-0,10	168,96	-0,10	-0,45
73	Vc	1,67	93	19,12	3,82	241,00	358,75	223,10	135,65	967,48	0,28	-0,07	135,72	-0,07	-0,11
74	Vc	0,02	93	19,12	3,82	241,00	358,75	223,10	135,65	967,48	0,28	-0,07	135,72	-0,07	0,00
75	Vc	0,15	93	19,12	3,82	241,00	358,75	223,10	135,65	967,48	0,28	-0,07	135,72	-0,07	-0,01
76	Vc	0,04	93	19,12	3,82	241,00	358,75	223,10	135,65	967,48	0,28	-0,07	135,72	-0,07	0,00
77	Vc	0,19	100	0,00	0,00	241,00	358,75	0,00	358,75	967,48	3,48	-0,73	359,48	-0,73	-0,14
78	Xh	0,00	66	130,85	26,17	306,00	375,91	55,13	320,78	945,33	14,71	-2,53	323,31	-2,53	-0,01
79	Xh	1,15	66	130,85	26,17	306,00	375,91	55,13	320,78	945,33	14,71	-2,53	323,31	-2,53	-2,90
80	Xh	8,43	77	75,87	15,17	306,00	375,91	106,11	269,80	945,33	9,26	-1,67	271,46	-1,67	-14,05
81	Xh	2,69	77	75,87	15,17	306,00	375,91	106,11	269,80	945,33	9,26	-1,67	271,46	-1,67	-4,49
82	Xh	14,48	77	75,87	15,17	306,00	375,91	106,11	269,80	945,33	9,26	-1,67	271,46	-1,67	-24,14
83	Xh	5,75	77	75,87	15,17	306,00	375,91	106,11	269,80	945,33	9,26	-1,67	271,46	-1,67	-9,58
84	Xh	13,14	77	75,87	15,17	306,00	375,91	106,11	269,80	945,33	9,26	-1,67	271,46	-1,67	-21,91
85	Xh	21,78	77	75,87	15,17	306,00	375,91	106,11	269,80	945,33	9,26	-1,67	271,46	-1,67	-36,31
86	Xh	13,18	77	75,87	15,17	306,00	375,91	106,11	269,80	945,33	9,26	-1,67	271,46	-1,67	-21,98
87	Xh	8,07	77	75,87	15,17	306,00	375,91	106,11	269,80	945,33	9,26	-1,67	271,46	-1,67	-13,45
88	Xh	33,41	77	75,87	15,17	306,00	375,91	106,11	269,80	945,33	9,26	-1,67	271,46	-1,67	-55,69
89	Xh	60,76	77	75,87	15,17	306,00	375,91	106,11	269,80	945,33	9,26	-1,67	271,46	-1,67	-101,29
90	Xh	134,97	77	75,87	15,17	306,00	375,91	106,11	269,80	945,33	9,26	-1,67	271,46	-1,67	-225,01
91	Xh	0,04	77	75,87	15,17	306,00	375,91	106,11	269,80	945,33	9,26	-1,67	271,46	-1,67	-0,07
92	Xh	0,22	80	63,50	12,70	306,00	375,91	124,22	251,69	945,33	7,87	-1,44	253,13	-1,44	-0,32
93	Xh	1,37	80	63,50	12,70	306,00	375,91	124,22	251,69	945,33	7,87	-1,44	253,13	-1,44	-1,97
94	Xh	1,56	80	63,50	12,70	306,00	375,91	124,22	251,69	945,33	7,87	-1,44	253,13	-1,44	-2,25
95	Xh	1,69	80	63,50	12,70	306,00	375,91	124,22	251,69	945,33	7,87	-1,44	253,13	-1,44	-2,42
96	Xh	3,94	80	63,50	12,70	306,00	375,91	124,22	251,69	945,33	7,87	-1,44	253,13	-1,44	-5,67

Continúa en la siguiente página.

Tabla.D.8. continua de la página anterior.

97	Xh	2,42	80	63,50	12,70	306,00	375,91	124,22	251,69	945,33	7,87	-1,44	253,13	-1,44	-3,49
98	Xh	2,22	80	63,50	12,70	306,00	375,91	124,22	251,69	945,33	7,87	-1,44	253,13	-1,44	-3,19
99	Xh	0,80	80	63,50	12,70	306,00	375,91	124,22	251,69	945,33	7,87	-1,44	253,13	-1,44	-1,16
100	Xh	15,80	80	63,50	12,70	306,00	375,91	124,22	251,69	945,33	7,87	-1,44	253,13	-1,44	-22,73
101	Xh	0,05	80	63,50	12,70	306,00	375,91	124,22	251,69	945,33	7,87	-1,44	253,13	-1,44	-0,07
102	Xh	5,10	80	63,50	12,70	306,00	375,91	124,22	251,69	945,33	7,87	-1,44	253,13	-1,44	-7,33
103	Xh	0,00	80	63,50	12,70	306,00	375,91	124,22	251,69	945,33	7,87	-1,44	253,13	-1,44	0,00
104	Xh	0,15	100	0,00	0,00	306,00	375,91	0,00	375,91	945,33	24,51	-3,96	379,87	-3,96	-0,60
105	Xk	29,70	77	75,87	15,17	268,00	350,61	91,13	259,48	976,51	2,43	-0,51	259,99	-0,51	-15,06
106	Xk	45,75	77	75,87	15,17	268,00	350,61	91,13	259,48	976,51	2,43	-0,51	259,99	-0,51	-23,20
107	Xk	5,76	77	75,87	15,17	268,00	350,61	91,13	259,48	976,51	2,43	-0,51	259,99	-0,51	-2,92
108	Xk	15,57	77	75,87	15,17	268,00	350,61	91,13	259,48	976,51	2,43	-0,51	259,99	-0,51	-7,90
109	Xk	121,56	77	75,87	15,17	268,00	350,61	91,13	259,48	976,51	2,43	-0,51	259,99	-0,51	-61,65
110	Xk	27,42	77	75,87	15,17	268,00	350,61	91,13	259,48	976,51	2,43	-0,51	259,99	-0,51	-13,91
111	Xk	36,71	77	75,87	15,17	268,00	350,61	91,13	259,48	976,51	2,43	-0,51	259,99	-0,51	-18,62
112	Xk	9,83	77	75,87	15,17	268,00	350,61	91,13	259,48	976,51	2,43	-0,51	259,99	-0,51	-4,98
113	Xk	37,88	77	75,87	15,17	268,00	350,61	91,13	259,48	976,51	2,43	-0,51	259,99	-0,51	-19,21
114	Xk	4,42	77	75,87	15,17	268,00	350,61	91,13	259,48	976,51	2,43	-0,51	259,99	-0,51	-2,24
115	Xk	0,46	77	75,87	15,17	268,00	350,61	91,13	259,48	976,51	2,43	-0,51	259,99	-0,51	-0,23
116	Xk	48,55	77	75,87	15,17	268,00	350,61	91,13	259,48	976,51	2,43	-0,51	259,99	-0,51	-24,62
117	Xk	8,03	77	75,87	15,17	268,00	350,61	91,13	259,48	976,51	2,43	-0,51	259,99	-0,51	-4,07
118	Xk	10,49	80	63,50	12,70	268,00	350,61	107,79	242,82	976,51	2,05	-0,43	243,25	-0,43	-4,54
119	Xk	17,20	80	63,50	12,70	268,00	350,61	107,79	242,82	976,51	2,05	-0,43	243,25	-0,43	-7,45
120	Xk	2,18	80	63,50	12,70	268,00	350,61	107,79	242,82	976,51	2,05	-0,43	243,25	-0,43	-0,94
121	Xk	49,47	80	63,50	12,70	268,00	350,61	107,79	242,82	976,51	2,05	-0,43	243,25	-0,43	-21,42

Continúa en la siguiente página.

Tabla.D.8. continua de la página anterior.

122	Xk	3,39	80	63,50	12,70	268,00	350,61	107,79	242,82	976,51	2,05	-0,43	243,25	-0,43	-1,47
123	Xk	4,36	80	63,50	12,70	268,00	350,61	107,79	242,82	976,51	2,05	-0,43	243,25	-0,43	-1,89
124	Xk	1,52	80	63,50	12,70	268,00	350,61	107,79	242,82	976,51	2,05	-0,43	243,25	-0,43	-0,66
125	Xk	32,58	80	63,50	12,70	268,00	350,61	107,79	242,82	976,51	2,05	-0,43	243,25	-0,43	-14,11
126	Xk	0,14	80	63,50	12,70	268,00	350,61	107,79	242,82	976,51	2,05	-0,43	243,25	-0,43	-0,06
127	Xk	15,74	80	63,50	12,70	268,00	350,61	107,79	242,82	976,51	2,05	-0,43	243,25	-0,43	-6,82
128	Xk	52,85	80	63,50	12,70	268,00	350,61	107,79	242,82	976,51	2,05	-0,43	243,25	-0,43	-22,89
129	Xk	0,13	100	0,00	0,00	268,00	350,61	0,00	350,61	976,51	6,18	-1,20	351,82	-1,20	-0,15
130	Xl	15,58	77	75,87	15,17	164,00	372,13	103,69	268,44	951,28	0,04	-0,01	268,45	-0,01	-0,17
131	Xl	37,77	77	75,87	15,17	164,00	372,13	103,69	268,44	951,28	0,04	-0,01	268,45	-0,01	-0,41
132	Xl	6,64	77	75,87	15,17	164,00	372,13	103,69	268,44	951,28	0,04	-0,01	268,45	-0,01	-0,07
133	Xl	10,70	80	63,50	12,70	164,00	372,13	121,60	250,53	951,28	0,03	-0,01	250,54	-0,01	-0,09
134	Xl	2,29	80	63,50	12,70	164,00	372,13	121,60	250,53	951,28	0,03	-0,01	250,54	-0,01	-0,02
135	Xl	0,14	80	63,50	12,70	164,00	372,13	121,60	250,53	951,28	0,03	-0,01	250,54	-0,01	0,00
136	Yk	34,26	77	75,87	15,17	199,00	386,71	112,77	273,95	931,04	0,38	-0,10	274,04	-0,10	-3,26
137	Yk	0,80	77	75,87	15,17	199,00	386,71	112,77	273,95	931,04	0,38	-0,10	274,04	-0,10	-0,08
138	Yk	0,06	80	63,50	12,70	199,00	386,71	131,48	255,24	931,04	0,29	-0,07	255,31	-0,07	0,00
													Σ	-2872,98	
													PROMEDIO 1951-2010	-47,88	