

Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ciencias Naturales
Facultad de Ingeniería
Facultad de Psicología
Facultad de Filosofía
Facultad de Química
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA ZONA DE RIESGO DE INUNDACIÓN, EN LA CUENCA BAJA ARROYO XHOSDA, SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta
José Luis Miranda Jiménez

Dirigido por:
M. en I. Pablo Talamantes Contreras

Co-dirigido por:
Dra. Tiziana Bisantino

**Campus UAQ-Aeropuerto
Santiago de Querétaro, Qro, Octubre 2011**



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Facultad de Ingeniería
Facultad de Psicología
Facultad de Filosofía
Facultad de Química
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA ZONA DE RIESGO DE INUNDACIÓN,
EN LA CUENCA BAJA ARROYO XHOSDA, SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO.**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta:

José Luis Miranda Jiménez

Dirigido por:

M. en I. Pablo Talamantes Contreras

Co-Dirigido por:

Dra. Tiziana Bisantino

SINODALES

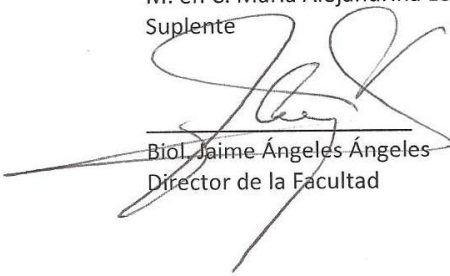
M. en I. Pablo Talamantes Contreras
Presidente

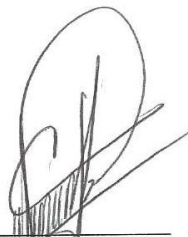
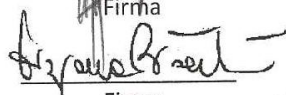

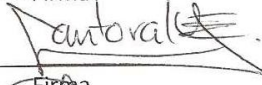
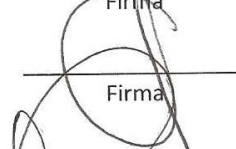
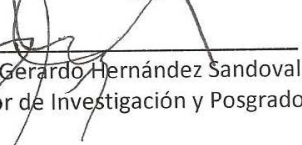
Dra. Tiziana Bisantino
Secretario

Dr. Raúl Francisco Pineda López
Vocal

Dr. Enrique Arturo Cantoral Uriza
Suplente

M. en C. María Alejandrina Leticia Montes León
Suplente


Biól. Jaime Ángeles Ángeles
Director de la Facultad


Firma

Firma

Firma

Firma

Firma

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Investigación y Posgrado

Campus Aeropuerto - UAQ
Querétaro, Qro.
Octubre 2011
México

RESUMEN

En la actualidad los daños y afectaciones tanto al medio natural, como a la infraestructura socioeconómica han aumentado a consecuencia de la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos, poco se ha trabajado para mitigar, controlar y/o prevenir estos daños, tal es el caso de Cuenca Arroyo Xhosda, la cual históricamente ha sufrido los perjuicios de estos fenómenos (Protección Civil Municipal 2009). Razón por lo cual, se analizó Cuenca Arroyo Xhosda, para identificar y analizar el riesgo de inundación, e identificar las áreas de mayor riesgo donde proponer acciones para controlar y/o mitigar las inundaciones y sus daños en general. Para junio 10 y septiembre 19 de 2010, lluvias extraordinarias ocasionaron inundaciones en Cuenca Arroyo Xhosda, particularmente la del 19 de septiembre afectó la infraestructura urbana: 20 localidades, pérdida total del Hospital General de San Juan del Río y 10 mil damnificados, consecuencia del rompimiento del Bordo Benito Juárez. Para la identificación y análisis del riesgo de inundación, se implementó el uso de Sistemas de Información Geográfica, SIG, particularmente de ArcMap de ArcGIS y software Flo-2D, herramientas de análisis espacial que permiten generar procesos y cartografía detallada del riesgo de inundación, mediante información geoespacial, datos bibliográficos y de campo. Como resultados tenemos la identificación y evaluación del riesgo de inundación en Cuenca Baja Arroyo Xhosda; la simulación del comportamiento de agua de lluvia extrema en Cuenca Arroyo Xhosda, la cual corresponde a la reconstrucción de la inundación presentada el 19 de septiembre de 2010; mapa de riesgo de inundación actual y con crecimiento urbano a 25 años de Cuenca Baja Arroyo Xhosda; así como propuestas de ingeniería hidráulica e ingeniería naturalística, obras propuestas con visión de manejo integral de cuencas, las cuales ayudarán a mitigar y responder adecuadamente ante la ocurrencia de inundaciones; para finalizar, se contempla difundir a la comunidad y instituciones gubernamentales los beneficios sociales, económicos y ambientales de la prevención de inundaciones, a través del presente documento.

(Palabras clave: **cuenca, inundación, peligro, vulnerabilidad, riesgo y SIG**)

SUMMARY

At present the damage and can affect the natural environment, socio-economic infrastructure as a result have increased the occurrence of hydro-meteorological phenomena, little work has been done to mitigate, control and / or prevent this damage, as in the case of Basin Creek Xhosda, which historically has suffered damage of these phenomena (Municipal Civil Protection 2009). Reason why it was analyzed Xhosda Arroyo Basin, to identify and analyze the flood risk and identify high risk areas where they propose actions to control and / or mitigate flooding and damage in general. By June 10 and September 19, 2010, extraordinary rains caused floods in Xhosda Arroyo Basin, particularly that of September 19 affected the urban infrastructure: 20 locations, total loss of the Hospital General de San Juan del Rio and 10 000 homeless as a consequence of the break Board of Benito Juarez. For the identification and flood risk analysis, was implemented using Geographic Information Systems, GIS, especially ArcGIS ArcMap and Flo-2D software, spatial analysis tools and processes that can generate detailed mapping of flood risk through geospatial information and bibliographic data field. As a result we have the identification and assessment of flood risk in Arroyo Xhosda Lower Basin, the simulation of extreme rainfall Xhosda Arroyo Basin, which corresponds to the reconstruction of the flood filed on September 19, 2010; map current flood risk and urban growth 25 years of Arroyo Xhosda Lower Basin, as well as proposals for hydraulic engineering and engineering naturalistic, visionary works proposed integrated watershed management, which will help to mitigate and respond appropriately to the occurrence of floods , to conclude, is seen to spread to the community and government institutions the social, economic and environmental aspects of flood prevention, through this document.

(Keywords: **watershed, flood hazard, vulnerability, risk and GIS**)

Con amor, admiración y respeto, agradezco especialmente a mis padres “Tomás y Martina”:

por su amor, su apoyo incondicional y por la confianza que siempre depositaron en mí,
por todos los sacrificios presentados, los cuales permitieron la culminación de mis estudios de
posgrado, que para mí han sido y serán siempre la mejor de las herencias.

Y sabiendo que jamás existirá una forma de agradecer toda una vida de lucha,

sacrificio y esfuerzo constante,

solo quiero que sientan que el objetivo logrado también es suyo.

Y que la fuerza que me ayudo a conseguirlo fue su incondicional apoyo,

su forma de luchar fue mi ideal, su sacrificio mi aliento

y su esfuerzo constante la fuerza de mi voluntad.

Un agradecimiento muy especial para el **M. en I. Pablo Talamantes Contreras**, quién además de ser mi profesor y director de tesis, me demostró su apoyo y amistad, gracias pablo por contribuir en gran medida para el desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación.

Dr. Raúl Francisco Pineda López,

muchas gracias por todo su apoyo, amistad y conocimientos transmitidos durante mis estudios de posgrado.

Dr. Enrique Arturo Cantoral Uriza y M. en C. María Alejandrina Leticia Montes León, gracias por apoyar desinteresada y muy acertadamente en el desarrollar y culminación del proyecto de investigación.

Dra. Tiziana Bisantino y Prof. Francesco Gentile, gracias por el apoyo brindado durante mi pasantía y por los conocimientos transmitidos, estos fueron de mucha utilidad en el desarrollo de la presente investigación.

Al **sínodo que precisa mi evaluación profesional**, gracias por enriquecer mis conocimientos.

A la **Universidad Autónoma de Querétaro, UAQ**, especialmente para los profesores de la **Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, MAGIC**, gracias por coadyuvar de manera importante en mi formación profesional y por su enorme compromiso para la formación de investigadores.

Agradezco al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT**, por el apoyo brindado para la realización de mis estudios de posgrado y la pasantía de especialización post-universitaria en el extranjero.

Agradezco al **Instituto Italo-Latino Americano, IILA**, por el apoyo brindado para la realización de una pasantía de especialización post-universitaria en el extranjero.

Agradezco a la Empresa **AQUASOFT**, por colaborar para realizar Modulo Aplicado V, del Plan de Estudios del Programa de Posgrado, donde aprendí procesos hidráulicos, que desarrolle para complementar la tesis.

Agradezco a la **Empresa SIIG Ingeniería y Consultoría**, por colaborar en la estancia de investigación, donde aprendí procesos SIG, que desarrolle para complementar la tesis.

Agradezco al **Departamento de Ciencias Agro-Ambientales y Territoriales**, de la Universidad de Estudios de Bari, Italia, por todas sus atenciones mostradas durante mi pasantía de especialización post-universitaria.

A todas aquellas **personas** que han contribuido con el aporte de sus conocimientos y enseñanzas para el fortalecimiento de la presente investigación y de mi formación profesional.

A “Dios”: por brindarme una segunda oportunidad de existencia
y por cada uno de los momentos que me ha permitido vivir.

A mis sobrinos Chris, Tomy, Mundo, Perita, Lupita, Yaneli y a mis ahijadas Vale y Vane, por ser ustedes algo muy valioso para mí, por quienes siempre luchare para sembrar en ustedes el espíritu de la educación, quiero que siempre tengan en cuenta que la educación, siempre será la primordial estrategia para su superación personal y profesional.

A mis hermanos “Arturo, Esperanza e Israel”:
por su compañía, por el apoyo que siempre me han demostrado y por qué se que siempre puedo contar con ellos..

A la “Familia Miranda Reyes”: gracias por su cariño, guía y apoyo,
este presente simboliza mi gratitud, por toda la responsable e invaluable ayuda que siempre me han brindado.

A la “Familia Camacho Miranda”: gracias por la amistad y confianza que me han demostrado.

A mis amigos “Bebeleches, Tío Bobus, Camome, Torito, Rusito”:
por su confianza, lealtad y amistad que siempre me han demostrado.

A mi amigo Juanito “Gangin”: a quién aun recuerdo con alegría por esas nuestras aventuras y vivencias,
una vez más recuerdo y te agradezco tu consejo de seguir mis estudios.

A mis compañeros de generación: Alejandro Rafael, Ariel, Elda, Judith, Eduardo, Juan, María Elena, Nydia Margarita,
Liliana, Leticia, Luis Enrique, Luis Felipe y Ricardo, gracias por su gran apoyo durante mi estancia estudiantil.

A mi hermano, familiares, amigos y vecinos, que día a día viajan por las carreteras del país, ustedes Ingenieros en
Navegación Terrestre son un ejemplo de responsabilidad y superación, gracias por permitirme conocer un poco de su
trabajo, el cual respeto y bendigo siempre..

Abraham Corral, Aldo Villanueva, Andrea Pichardo, Andrés Camacho, Armando Gutiérrez, Antonio Fransozo, Antonio
de Jesús, Carlos Camacho, Carlos A. Rivera, Cesar Camacho, Cesar F. Morales, Cesar Pardo, Coco Romero, Daniel
Valdez, Lilia G. Baños, Edgar Camacho, Eduardo Vilchis, Efraín Esquivel, Enrique Camacho, Erika Camacho, Esteban
Miranda, Felipe Rivera, Fabián Camacho, Fabián Rosales, Francisco Camacho, Francisco Vilchis, Gamaliel, Haydee,
Heidy, Israel Corral, Jesús Barush, Juan J. Villanueva, José L. Coyoli, Javier Rosales, Jorge Camacho, Julio Camacho,
Jonathan Vilchis, Jaime Rivera, Katia Di Pede, Lorena Iliana, Lorena Kocelli, Lorella Rutigliano, Luis Camacho, Jose L.
Garduño, Maximiliano M., Mario Rosales, Miguel Vilchis, Mirsha Danae, Miriam Rivas, Marisela Camacho, Marco A.
Camacho, Marilu Segura, Olegario Estrada, Omar Camacho, Omar Jiménez, Oscar Villanueva, Pascual Camacho, Rogelio
Rivera, Saúl Isai, Sindy Elizabeth, Simona, Stacy Miranda, Víctor Corral, Xenón Espinoza y los que se me pasaron: a
todos ustedes gracias por su amistad.

A todos aquellos seres pasantes, que en una u otra forma,
han convivido conmigo durante mi existencia, enriqueciéndola con su sensibilidad y sus vivencias.

INDICE

	Página
Resumen	i
Summary	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Índice	vi
Índice de cuadros	x
Índice de figuras	xii
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS	5
ESTRUCTURA DEL TRABAJO	6
METODOLOGÍA	8
Capítulo	
I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	10
1.1. Cuenca Hidrográfica y Gestión de Cuencas	11
1.2. Manejo Integral de Cuencas	14
1.3. Agua e Inundaciones	16
1.4. Inundaciones en Cuenca Arroyo Xhosda	25
1.5. Riesgo y Vulnerabilidad	26
1.6. Sistemas de Información Geográfica SIG	28
II. DIAGNÓSTICO FÍSICO-GEOGRÁFICO	30
2.1. Ubicación	31
2.2. Geología	33
2.3. Edafología	35
2.4. Uso de Suelo y Vegetación	37
2.5. Hidrología Superficial	40
2.6. Morfometría	41
2.6.1. Curva Hipsométrica	46
2.6.2. Perfil del Cauce Principal	47
2.6.3. Drenaje de Cuenca	48
2.6.4. Unidades de Escurrimiento	49
2.7. Pronóstico del Proceso Erosivo	54

2.7.1.	Factor R	55
2.7.2.	Factor K	56
2.7.3.	Factor LS	58
2.7.4.	Factor C	60
2.7.5.	Erosión Potencial	62
2.7.6.	Erosión Actual	64
2.7.7.	Pendiente en Grados	66
2.7.8.	Pendiente en Porcentaje	67
2.7.1.	Factor R	55
2.8.	Clima	69
2.8.1.	Climogramas	72
2.9.	Balance Hídrico	78
2.9.1.	Precipitación Media Anual	80
2.9.2.	Temperatura Media Anual	82
2.9.3.	Evaporación Anual	84
2.9.4.	Evapotranspiración	86
2.9.5.	Capacidad de Almacenamiento de Humedad del Suelo, SW	89
2.9.6.	Humedad del Suelo, SM	91
2.9.7.	Lamina Total Disponible para Escurrimiento, TA	93
2.9.8.	Escurrimiento, Q	95
2.9.9.	Infiltración, I	97
2.10.	Periodos de Retorno	99
2.10.1.	Hidrógramas	109
2.11.	Mesas de Concertación y Reuniones	111
III.	DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	113
3.1.	Recorridos en Cuenca Arroyo Xhosda	114
3.1.1.	Cuenca Baja	116
3.1.2.	Cuenca Alta	137
3.1.3.	Cuenca Media	150
3.2.	Infraestructura Hidráulica en Cuenca Arroyo Xhosda	159
3.2.1.	Bordos de Control de Avenidas	159
3.2.2.	Bordos El Sitio y San Miguel Arcángel	160
3.2.3.	Bordo Paso de Mata	163
3.2.4.	Bordo Benito Juárez	166
3.2.5.	Canal de Avenida Central	169
3.3.	Problemática en Cuenca Arroyo Xhosda	170
3.4.	Causas de las Inundaciones Recientes	180

IV.	IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA INUNDABLE	186
4.1.	Software FLO-2D	187
4.2.	Descripción del Modelo	189
4.3.	Simulación de la Inundación	190
4.3.1.	Generación de Datos Morfológicos	190
4.3.2.	Imagen de Satélite	193
4.3.3.	Coeficiente de Manning	194
4.3.4.	Periodos de Retorno Específicos a 50 Años	195
4.3.5.	Hidrógramas con Periodo de Retorno Específico a 50 Años	198
4.3.6.	Secciones Arroyo Xhosda	200
4.3.7.	Secciones Dren Benito Juárez y La Floresta	204
4.3.8.	Área Inundable	205
V.	IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA ZONA DE RIESGO	206
5.1.	Exposición	207
5.2.	Identificación del Peligro	208
5.3.	Identificación de la Vulnerabilidad	210
5.3.1.	Vulnerabilidad Física	210
5.3.2.	Ponderación de la Vulnerabilidad Física	211
5.3.3.	Vulnerabilidad Hídrica	212
5.3.4.	Ponderación de la Vulnerabilidad Hídrica	212
5.3.5.	Vulnerabilidad Social	214
5.3.6.	Ponderación de la Vulnerabilidad Social	216
5.3.7.	Vulnerabilidad Integral	210
5.4.	Identificación del Riesgo	219
5.4.1.	Matriz de Ponderación del Riesgo	220
5.5.	Análisis del Riesgo	221
5.6.	Simulación con Crecimiento Urbano a 25 años	223
5.6.1.	Coeficiente de Manning con Crecimiento Urbano a 25 Años	223
5.6.2.	Área Inundable con Crecimiento Urbano a 25 Años	224
5.6.3.	Peligro de Inundación con Crecimiento Urbano a 25 Años	225
5.6.4.	Vulnerabilidad Física con Crecimiento Urbano a 25 Años	226
5.6.5.	Vulnerabilidad Hídrica con Crecimiento Urbano a 25 Años	227

5.6.6.	Vulnerabilidad Social con Crecimiento Urbano a 25 Años	228
5.6.7.	Vulnerabilidad Integral con Crecimiento Urbano a 25 Años	229
5.6.8.	Riesgo de Inundación Considerando un Crecimiento Urbano a 25 Años	230
5.7.	Simulación con Crecimiento Urbano a 25 años considerando obras propuestas	232
5.7.1.	Área Inundable con Crecimiento Urbano a 25 años considerando obras propuestas	232
5.7.2.	Peligro de Inundación con Crecimiento Urbano a 25 años considerando obras propuestas	233
5.7.3.	Vulnerabilidad Física con Crecimiento Urbano a 25 años considerando obras propuestas	234
5.7.4.	Vulnerabilidad Hídrica con Crecimiento Urbano a 25 años considerando obras propuestas	235
5.7.5.	Vulnerabilidad Social con Crecimiento Urbano a 25 años considerando obras propuestas	236
5.7.6.	Vulnerabilidad Integral con Crecimiento Urbano a 25 años considerando obras propuestas	237
5.7.7.	Riesgo de Inundación con Crecimiento Urbano a 25 años considerando obras propuestas	238
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	240
6.1.	Conclusiones	241
6.2.	Recomendaciones	243
6.2.1.	Propuesta General de Obras	244
6.2.2.	Propuesta de Obras de Ingeniería Naturalística	245
6.2.3.	Propuesta de Obras de Ingeniería Hidráulica	250
	BIBLIOGRAFÍA	251

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
2.1.	Uso de suelo y vegetación Cuenca Arroyo Xhosda	37
2.2.	Morfometría Cuenca Arroyo Xhosda	42
2.3.	Formas de una cuenca	43
2.4.	Rangos de pendientes medias de una cuenca	45
2.5.	Unidades de escurrimiento Cuenca Arroyo Xhosda	49
2.6.	Valores de Factor C según uso de suelo y vegetación	61
2.7.	Riesgo de erosión Cuenca Arroyo Xhosda	63
2.8.	Erosión actual Cuenca Arroyo Xhosda	65
2.9.	Pendiente en grados	67
2.10.	Pendiente en porcentaje	67
2.11.	Estaciones meteorológicas Cuenca Arroyo Xhosda	70
2.12.	Precipitación media anual Cuenca Arroyo Xhosda	80
2.13.	Temperatura media anual Cuenca Arroyo Xhosda	82
2.14.	Evaporación anual Cuenca Arroyo Xhosda	84
2.15.	Días de sol para los 20° de Latitud Norte	87
2.16.	Evapotranspiración Cuenca Arroyo Xhosda	88
2.17.	Capacidad de almacenamiento de humedad del suelo de acuerdo a la cobertura y textura	89
2.18.	Capacidad de almacenamiento de humedad del suelo Cuenca Arroyo Xhosda	90
2.19.	Humedad del suelo Cuenca Arroyo Xhosda	92
2.20.	Lamina total disponible para escurrimiento Cuenca Arroyo Xhosda	94
2.21.	Exceso de humedad del suelo Cuenca Arroyo Xhosda	94
2.22.	Escurrimiento superficial Cuenca Arroyo Xhosda	95
2.23.	Infiltración Cuenca Arroyo Xhosda	98
2.24.	Periodos de retorno Cerró Gordo	101
2.25.	Periodos de retorno Dren Benito Juárez y La Floresta	104
2.26.	Periodos de retorno Arroyo Xhosda	108
4.1.	Periodo de retorno a 50 años Cerró Gordo Cuenca Arroyo Xhosda	195
4.2.	Periodo de retorno a 50 años Dren Benito Juárez y La Floresta Cuenca Arroyo Xhosda	196
4.3.	Periodo de retorno a 50 años Arroyo Xhosda Cuenca Arroyo Xhosda	197

Cuadro		Página
5.1.	Peligro de inundación, considerando la altura del tirante de inundación	209
5.2.	Ponderación por método de SAATI según uso de suelo y vegetación	211
5.3.	Ponderación por método de SAATI según precipitación media anual	212
5.4.	Ponderación por método de SAATI según total de habitantes por AGEB	216
5.5.	Matriz de ponderación del riesgo	220
5.6.	Población total por área según el riesgo	222
5.7.	Población total por área según el riesgo al año 2036	231
5.8.	Población total por área según el riesgo al año 2036 Considerando obras propuestas	239

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.1. Diagrama de cuenca hidrográfica	11
1.2. Cuenca hidrográfica	12
1.3. Escombros del campamento inundado el 11 de junio de 2010, en Arkansas, USA.	18
1.4. Las intensas lluvias de 2010 provocan inundaciones en Toscana, Italia.	19
1.5. Treinta centímetros de agua en algunas localidades a consecuencia de las inundaciones de 2009, en Maranhao, Brazil	19
1.6. En 2010 y 2011, las fuertes lluvias ocasionaron inundaciones en Australia	20
1.7. El jueves 1 de julio de 2010, la tormenta “Alex” ha dejado un desaparecido, así como inundaciones en calles y la crecida del Río Santa Catarina en el Área Metropolitana de Monterrey.	21
1.8. Para septiembre de 2010, alrededor de 21 mil personas se encuentran damnificadas en Tlacotalpan, Veracruz, por el desbordamiento de los Ríos Papaloapan, San Juan y Tesechoacán.	22
1.9. Para en 10 de febrero de 2010, ya al menos 2 mil viviendas permanecen bajo las aguas negras del Río de la Compañía a una semana, sin que pueda ser reparada la ruptura del canal	22

Figura	Página
2.1. Ubicación Cuenca Arroyo Xhosda	31
2.2. Geología Cuenca Arroyo Xhosda	34
2.3. Edafología Cuenca Arroyo Xhosda	35
2.4. Uso de suelo y vegetación Cuenca Arroyo Xhosda	38
2.5. Hidrología superficial Cuenca Arroyo Xhosda	40
2.6. Edad de una cuenca según su curva hipsométrica	46
2.7. Curva hipsométrica Cuenca Arroyo Xhosda	46
2.8. Longitud del cauce principal Cuenca Arroyo Xhosda	47
2.9. Escurrimiento superficial Cuenca Arroyo Xhosda	48
2.10. Unidades de escurrimiento en Google Earth Cuenca Arroyo Xhosda	49
2.11. Unidades de escurrimiento Cuenca Arroyo Xhosda	50
2.12. Curvas hipsométricas de unidades de escurrimiento Cuenca Arroyo Xhosda	53
2.13. Factor R Cuenca Arroyo Xhosda	55
2.14. Factor K Cuenca Arroyo Xhosda	56
2.15. Factor LS Cuenca Arroyo Xhosda	58
2.16. Factor C Cuenca Arroyo Xhosda	60
2.17. Riesgo de erosión Cuenca Arroyo Xhosda	63
2.18. Erosión actual Cuenca Arroyo Xhosda	64
2.19. Pendiente en grados Arroyo Xhosda	66

Figura	Página
2.20. Pendiente en porcentaje Cuenca Arroyo Xhosda	68
2.21. Clima Cuenca Arroyo Xhosda	69
2.22. Estaciones meteorológicas Cuenca Arroyo Xhosda	71
2.23. Climograma Estación La Llave, San Juan del Río, Querétaro	72
2.24. Climograma Estación Palmillas, San Juan del Río, Querétaro	73
2.25. Climograma Estación Presa Centenario, Tequisquiapan, Querétaro	73
2.26. Climograma Estación Presa Constitución, San Juan del Río, Querétaro	74
2.27. Climograma Estación Presa Paso de Tablas, Tequisquiapan, Querétaro	74
2.28. Climograma Estación San Juan del Río, San Juan del Río, Querétaro	75
2.29. Climograma Estación San Pablo, Amealco, Querétaro	75
2.30. Climograma Estación Chapantongo, Chapantongo, Hidalgo	76
2.31. Climograma Estación Huichapan, Huichapan, Hidalgo	76
2.32. Climograma Estación Presa Madero, Huichapan, Hidalgo	77
2.33. Precipitación media anual Cuenca Arroyo Xhosda	81
2.34. Temperatura media anual Cuenca Arroyo Xhosda	83

Figura	Página
2.35. Evaporación anual Cuenca Arroyo Xhosda	84
2.36. Evapotranspiración potencial Cuenca Arroyo Xhosda	88
2.37. Capacidad de almacenamiento de humedad del suelo Cuenca Arroyo Xhosda	90
2.38. Humedad del suelo Cuenca Arroyo Xhosda	92
2.39. Exceso de humedad del suelo Cuenca Arroyo Xhosda	94
2.40. Escurrimiento superficial Cuenca Arroyo Xhosda	96
2.41. Infiltración Cuenca Arroyo Xhosda	98
2.42. Hidrógrama Cerró Gordo	109
2.43. Hidrógrama Dren Benito Juárez y La Floresta	110
2.44. Hidrógrama Arroyo Xhosda	110
2.45. Mesa de concertación con representantes municipales y población	111
2.46. Reunión con representantes municipales y población	112
3.1. Partes de una cuenca	114
3.2. Zonas de una cuenca	115
3.3. Vista de la cuenca del arroyo Banthí, de oriente a poniente	118
3.4. Vista de la cuenca del arroyo Banthí, de oriente a poniente	118

Figura	Página
3.5. Vista de la cobertura vegetal en las cercanías de la localidad El Sitio	119
3.6. Vista de la cobertura vegetal en las cercanías de la localidad El Sitio	119
3.7. Vista general del grado de conservación de la cuenca en la localidad El Sitio	120
3.8. Vista general del grado de conservación de la cuenca en la localidad El Sitio	120
3.9. Vista general de la localidad El Sitio, donde se aprecian principalmente zonas de matorral y pastizales	121
3.10. Vista general de la localidad El Sitio, donde se aprecian principalmente zonas de matorral y pastizales	121
3.11. Vista de uno de los arroyos aportadores al río Banthí, en la localidad El Sitio	122
3.12. Vista de uno de los arroyos aportadores al río Banthí, en la localidad El Sitio	122
3.13. Confinamientos de pastoreo tecnificado, que permite un buen nivel de conservación de los suelos en la cuenca	123
3.14. Confinamientos de pastoreo tecnificado, que permite un buen nivel de conservación de los suelos en la cuenca	123
3.15. Vista general de un bordo de abrevadero, que cumple con funciones de retención de azolve, aunque puede representar un punto de riesgo en caso de rompimiento de la estructura	124
3.16. Vista general de un bordo de abrevadero, que cumple con funciones de retención de azolve, aunque puede representar un punto de riesgo en caso de rompimiento de la estructura	124

Figura	Página
3.17. Vista de un paso vehicular, en donde actualmente se observan encharcamientos	125
3.18. Vista de un paso vehicular, en donde actualmente se observan encharcamientos	125
3.19. Carretera que delimita la cuenca de aportación del arroyo Banthí, en las cercanías de San Miguel Arcángel	127
3.20. Carretera que delimita la cuenca de aportación del arroyo Banthí, en las cercanías de San Miguel Arcángel	127
3.21. Vista general de la cobertura vegetal de la zona de estudio en San Miguel Arcángel	128
3.22. Vista general de la cobertura vegetal de la zona de estudio en San Miguel Arcángel	128
3.23. Cuerpo de agua localizado en la comunidad Puerta de Palmillas	129
3.24. Cuerpo de agua localizado en la comunidad Puerta de Palmillas	129
3.25. Vista del vertedor de demasías del cuerpo de agua en Puerta de Palmillas, localizado por la margen derecha y que descarga directamente a viviendas	130
3.26. Vista del vertedor de demasías del cuerpo de agua en Puerta de Palmillas, localizado por la margen derecha y que descarga directamente a viviendas	130
3.27. Vista de puente vehicular sobre el dren Banthí, en la localidad Paso de Mata	131
3.28. Aguas abajo de la ubicación del puente antes descrito, vista de cruce férreo, de mayor amplitud de área hidráulica	131

Figura	Página
3.29. Vista de cuerpo de agua localizado en Paso de Mata, dentro de zona urbana	132
3.30. Vista de cuerpo de agua localizado en Paso de Mata, dentro de zona urbana	132
3.31. Vista de segundo cuerpo de agua localizado en Paso de Mata	133
3.32. Vista de segundo cuerpo de agua localizado en Paso de Mata	133
3.33. Vista general de vertedor por margen derecha, que ha sido sobrelevado, poniendo en riesgo la seguridad de la estructura	134
3.34. Vista de la forma en que el cauce se conduce por las calles	134
3.35. Vista de la forma en que el cauce se conduce por las calles	135
3.36. Invasión de la zona federal con construcciones de los vecinos de la localidad	135
3.37. Vista de la infraestructura existente en la zona de paso del escurrimiento	136
3.38. Vista del vaso regulador en Visthá, en el cruce con la carretera a La Llave	138
3.39. Vista del vaso regulador en Visthá, en el cruce con la carretera a La Llave	139
3.40. Vista del puente en su parte superior, se observa al fondo el vaso regulador	139
3.41. Vista comparativa general del bordo en San Pedro Ahuacatlán, invadido por asentamientos e infraestructura, ante un evento de inundación del vaso	140

Figura	Página
3.42. Vista comparativa general del bordo en San Pedro Ahuacatlán, invadido por asentamientos e infraestructura, ante un evento de inundación del vaso	140
3.43. Vista de los asentamientos humanos e infraestructura urbana que delimitan el contorno del bordo en San Pedro Ahuacatlán	141
3.44. Vista de los asentamientos humanos e infraestructura urbana que delimitan el contorno del bordo en San Pedro Ahuacatlán	141
3.45. Instalaciones del centro educativo ubicado en la zona de influencia del vaso regulador	142
3.46. Instalaciones del centro educativo ubicado en la zona de influencia del vaso regulador	142
3.47. Vista del acceso del arroyo Xhosda, por los campos de cultivo y que cruza la carretera a La Llave por una alcantarilla	143
3.48. Vista del acceso del arroyo Xhosda, por los campos de cultivo y que cruza la carretera a La Llave por una alcantarilla	143
3.49. Vista de la forma en que los escurrimientos se conducen por los campos de cultivo de la localidad Visthá, antes de unirse al río San Juan	144
3.50. Vista del cruce del arroyo Xhosda, en su intersección con la carretera a Tequisquiapan	145
3.51. Vista del cruce del arroyo Xhosda, en su intersección con la carretera a Tequisquiapan	145
3.52. Zona del vaso de un bordo antiguo que se encuentra actualmente empleado en uso agrícola, en Santa Cruz Nieto	146

Figura	Página
3.53. Zona del vaso de un bordo antiguo que se encuentra actualmente empleado en uso agrícola, en Santa Cruz Nieto	146
3.54. Zona de la cuenca en Santa Cruz Escandón, donde se observa uso agrícola y que corresponde a la zona donde se localiza el parteaguas de la cuenca	147
3.55. Zona de la cuenca en Santa Cruz Escandón, donde se observa uso agrícola y que corresponde a la zona donde se localiza el parteaguas de la cuenca	147
3.56. Vista de la confluencia de los drenes Floresta y Banthí	148
3.57. Vista de la confluencia de los drenes Floresta y Banthí	148
3.58. Vista general de los vestigios de la estructura de almacenamiento en el dren Banthí y dren La Floresta	149
3.59. Bordo en la Localidad Rancho de Enmedio	151
3.60. Vista Aguas Arriba del Embalse del Bordo de Rancho de Enmedio	151
3.61. Alcantarilla aguas abajo del bordo	152
3.62. Trayecto del dren existente de la colonia Las Palomas, localidad Rancho de Enmedio	153
3.63. Recorrido que sigue el escurrimiento en la colonia Granjas Banthí	154
3.64. Vista Aguas abajo de la Alcantarilla de la Colonia Granjas Banthí, que atraviesa el Camino a Cerro Gordo	155

Figura	Página
3.65. Vista aguas debajo de la alcantarilla de la figura 14 al fondo zona de inundación que funciona como vaso regulador	156
3.66. Recorrido del arroyo Xhosda desde el bordo antiguo hasta cruce con Camino a Santa Cruz Escandón	157
3.67. Cauce actual del Arroyo Xhosda, el arroyo cauce se distribuye entre las parcelas. La zona arbolada es la cortina del bordo	158
3.68. Vista en planta de la localización de los cuerpos de agua ubicados en Cuenca Arroyo Xhosda	159
3.69. Vista en planta de la localización de los cuerpos de agua ubicados cerca de la localidad El Sitio y La Torna	160
3.70. Vista general de la cortina del bordo localizado en El Sitio y que muestra la forma en que están conformados los cuerpos de agua de la zona	161
3.71. Vista hacia aguas abajo del bordo localizado en La Torna, aguas abajo de las vías del tren	162
3.72. Cuerpos de agua existentes en la localidad Paso de Mata	163
3.73. Vista general del bordo que se encuentra en la Calle Río Grande	164
3.74. Vista del vertedor existente por la margen izquierda del bordo	164
3.75. Vista de la compuerta alojada en el vertedor (en margen izquierda) que permite desfogar el bordo	165
3.76. Vista general de la cuenca de aportación del bordo Benito Juárez	167

Figura	Página
3.77. Vista de la abertura generada en el bordo Juárez en la temporada de lluvias de Septiembre de 2010	167
3.78. Vista del vertedor de excedencias localizado por la margen derecha del bordo Juárez	168
3.79. Vista del dren que baja por calle Zacatecas y el cual cuenta con altas pendientes lo que ocasiona erosión y arrastre de material sólido hacia aguas abajo	168
3.80. Vista del dren de concreto localizado en la Avenida Constitución	169
3.81. Bordo de regulación, parte alta de la cuenca	170
3.82. Panorámica, cuenca natural y urbana	170
3.83. Vista cobertura vegetal, San Miguel Arcángel	171
3.84. Bordo de regulación, Paso de Mata, presenta alteración en capacidad	172
3.85. Población asentada en salida del bordo	172
3.86. Puente que no corresponde a la capacidad hidráulica del arroyo	173
3.87. Paso de vías de ferrocarril, estructura realizada mediante estudio hidrológico	173
3.88. Bordo Rancho de Enmedio	174
3.89. Escurrimientos a Bordo Rancho de Enmedio	174
3.90. Puente vehicular, de acuerdo al comportamiento de los escurrimientos de agua	175
3.91. Puente vehicular, de acuerdo al comportamiento de los escurrimientos de agua	175
3.92. Porción del dren sin mantenimiento	176

Figura	Página
3.93. Vialidades empedradas en cuenca alta, que ayudan al comportamiento del escurrimiento	176
3.94. Venta de lotes en Bordo San Pedro	177
3.95. Zona habitacional, dentro de Bordo San Pedro	177
3.96. Imagen de satélite, Bordo Benito Juárez	178
3.97. Imagen de satélite, bordos existentes y vestigios de bordos no utilizados	179
3.98. Afectaciones a cobertura vegetal cuenca alta-media	181
3.99. Afectaciones a vías férreas cuenca alta-media	181
3.100. Afectaciones a alcantarillas cuenca alta-media	182
3.101. Afectaciones a infraestructura educativa cuenca baja	182
3.102. Rompimiento del Bordo Benito Juárez cuenca baja	183
3.103. Afectaciones a dren cuenca baja	183
3.104. Inundación y afectación del Hospital General cuenca baja	184
3.105. Afectación a cauce y cobertura vegetal cuenca baja	184
3.106. Inundación y afectación a zonas habitacionales cuenca baja	185
3.107. Inundación y afectación a zonas habitacionales cuenca baja	185

Figura	Página
4.1. Componentes del modelo FLO-2D	188
4.2. Delimitación por zonas de Cuenca Arroyo Xhosda	191
4.3. Modelo digital de elevación Cuenca Baja Arroyo Xhosda	191
4.4. Gradicula GDS Cuenca Baja Arroyo Xhosda	192
4.5. Gradicula GDS, Sección natural Cuenca Baja Arroyo Xhosda	192
4.6. Imagen de satélite Cuenca Baja Arroyo Xhosda	193
4.7. Coeficiente de manning Cuenca Baja Arroyo Xhosda	194
4.8. Hidrógrama Cerro Gordo Cuenca Baja Arroyo Xhosda	198
4.9. Hidrógrama Dren Benito Juárez y La Floresta Cuenca Baja Arroyo Xhosda	199
4.10. Hidrógrama Arroyo Xhosda Cuenca Baja Arroyo Xhosda	199
4.11. Perfil de sección natural 39 Cuenca Baja Arroyo Xhosda	201
4.12. Perfil numérico de sección natural 39 Cuenca Baja Arroyo Xhosda	201
4.13. Perfil de sección natural 58 Cuenca Baja Arroyo Xhosda	202
4.14. Perfil numérico de sección natural 58 Cuenca Baja Arroyo Xhosda	202
4.15. Perfil de sección natural 84 Cuenca Baja Arroyo Xhosda	203

Figura	Página
4.16. Perfil numérico de sección natural 84 Cuenca Baja Arroyo Xhosda	203
4.17. Secciones Dren Benito Juárez y La Floresta Cuenca Baja Arroyo Xhosda	204
4.18. Área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda	205
5.1. Exposición de bienes dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda	207
5.2. Peligro de inundación dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda	209
5.3. Vulnerabilidad física a inundación dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda	211
5.4. Vulnerabilidad hídrica a inundación dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda	213
5.5. Grado de marginación municipal, Querétaro	216
5.6. Vulnerabilidad social a inundación dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda	217
5.7. Vulnerabilidad integral a inundación dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda	218
5.8. Riesgo de inundación dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda	221
5.9. Coeficiente de manning a 25 años Cuenca Baja Arroyo Xhosda	223
5.10. Área inundable a 25 años Cuenca Baja Arroyo Xhosda	224
5.11. Peligro de inundación a 25 años dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda	225

Figura	Página
5.12. Vulnerabilidad física a inundación a 25 años dentro del área inundable a 25 años Cuenca Baja Arroyo Xhosda	226
5.13. Vulnerabilidad hídrica a inundación a 25 años dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda	227
5.14. Vulnerabilidad social a inundación a 25 años dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda	228
5.15. Vulnerabilidad integral a inundación a 25 años dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda	229
5.16. Riesgo de inundación a 25 años dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda	230
5.17. Área inundable a 25 años con obras propuestas Cuenca Baja Arroyo Xhosda	232
5.18. Peligro de inundación a 25 años dentro del área inundable con obras propuestas Cuenca Baja Arroyo Xhosda	233
5.19. Vulnerabilidad física a inundación a 25 años dentro del área inundable con obras propuestas Cuenca Baja Arroyo Xhosda	234
5.20. Vulnerabilidad hídrica a inundación a 25 años dentro del área inundable con obras propuestas Cuenca Baja Arroyo Xhosda	235
5.21. Vulnerabilidad social a inundación a 25 años dentro del área inundable con obras propuestas Cuenca Baja Arroyo Xhosda	236
5.22. Vulnerabilidad integral a inundación a 25 años dentro del área inundable con obras propuestas Cuenca Baja Arroyo Xhosda	237
5.23. Riesgo de inundación a 25 años dentro del área inundable con obras propuestas Cuenca Baja Arroyo Xhosda	238

6.1. Propuesta general de obras para regulación de escurrimiento en Cuenca Arroyo Xhosda	244
6.2. Propuesta de obras de ingeniería naturalística para regulación de escurrimiento en Cuenca Arroyo Xhosda	246
6.3. Construcción de presa filtrante de tronco y roca acomodada, obra de ingeniería naturalística	247
6.4. Presa filtrante de tronco y roca acomodada, obra de ingeniería naturalística	247
6.5. Presa filtrante estable de tronco y roca acomodada, obra de ingeniería naturalística	248
6.6. Presa estable de roca acomodada, obra de ingeniería naturalística	248
6.7. Presa estable de gavión de roca acomodada, obra de ingeniería naturalística	249
6.8. Propuesta de obras de ingeniería hidráulica para regulación de escurrimiento en Cuenca Arroyo Xhosda	250



INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas son las unidades terrestres que mejor expresan las relaciones funcionales entre procesos físico-biológicos y climáticos con los productivos y sociales, su gestión integrada, pretende evitar y solucionar los conflictos relacionados con el excesivo y mal uso de los recursos naturales dentro del ámbito geográfico de una cuenca hidrológica, tanto en su zona de cabecera, como de transición y salida, se encuentre ésta en su medio rural y/o urbano. Por otra parte debe considerarse la participación de diversos actores, entre los que destacan las comunidades y su población, organizaciones comunales, iniciativa privada, instituciones gubernamentales y centros de educación e investigación.

Los habitantes de la cuenca, su entorno productivo y sus necesidades de conservación de agua, suelo y vegetación, son el motivo de la gestión integrada de cuencas, para lo cual se requiere de una base científica para la toma de decisiones de los proyectos con visión a corto, mediano y largo plazo.

De acuerdo al uso de suelo y vegetación, la Cuenca Arroyo Xhosda, del Municipio de San Juan del Río, Querétaro, posee un gran patrimonio natural, ya que el 50% de su superficie, se encuentra considerada como componente natural, asimismo es considerada como una zona de gran impulso económico-social, vista en la actualidad como uno de los centros industriales más representativos del Estado de Querétaro. Esto se debe a la gran variedad de áreas recreativas, paisajes e infraestructura con que cuenta el lugar. En esta zona se ha generado una situación territorial compleja debido al impacto ecológico, a causa de las actividades industriales y el desarrollo urbano desmesurado.

Durante los últimos años se ha puesto de manifiesto que la falta de un análisis certero, sobre las implicaciones territoriales, ambientales y turísticas que conforman las decisiones políticas y la ausencia de una planificación sistemática del territorio para garantizar su calidad, son las razones que explican la problemática social, económica y ambiental de Querétaro (Bravo 2003).



En la actualidad los daños y afectaciones tanto al medio natural, como a la infraestructura socioeconómica, han aumentado a consecuencia de la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos, como avenidas, inundaciones y sequías, entre otros (Pineda 2009). Sin embargo, poco se ha trabajado para mitigar, controlar y/o prevenir estos daños, como es el caso de la Cuenca Arroyo Xhosda, que históricamente ha sufrido los perjuicios de estos fenómenos, y donde es de gran importancia considerar la vulnerabilidad social, económica y ambiental, particularmente en relación a las inundaciones.

En este sentido, la finalidad de implementar el software Flo-2D y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que son la base esencial para la toma de decisiones en la localización de infraestructura, queremos que sea lo que posibilite generar un espacio seguro, que brinde certeza a la población, y que además, esta sea capaz de responder adecuadamente ante la ocurrencia de una inundación. Asimismo, que las autoridades municipales y estatales logren conocer las ventajas sociales, económicas y ambientales, de la prevención de fenómenos hidrometeorológicos, y así se generen acciones estratégicas para prevenir y/o mitigar los desastres por inundación.

Por estas razones se pretenden analizar los riesgos ligados a fenómenos hidrometeorológicos, particularmente por inundaciones, para lo cual en gran parte se utilizarán sistemas de información geográfica (SIG) y el software Flo-2D, los cuales implementaremos como herramientas de análisis en la Cuenca Arroyo Xhosda. Con ello se elaborará un mapa de riesgos por inundaciones, el cual permitirá identificar las áreas más vulnerables, en la cuales proponer la construcción de infraestructura adecuada para controlar y/o mitigar las inundaciones y sus daños en general.



ANTECEDENTES

Por su elevada actividad sísmica y volcánica, además por encontrarse en forma franca sobre la trayectoria normal de los huracanes que se originan tanto en el Océano Pacífico como en el Atlántico, México es considerado como uno de los países con mayor propensión a la manifestación de amenazas de origen natural.

Aunado a lo anterior, se han incrementado los niveles de riesgo por la combinación con amenazas de origen antrópico, asociados con la transformación del medio natural y la conformación de asentamientos sobre terrenos de poca aptitud (SEDESOL y COREMI 2004).

Como consecuencia del alto grado de incidencia de los fenómenos naturales, en el país cada año ocurren un importante número de desastres de distinta magnitud y con niveles de pérdida y daños diferenciados. Hasta este momento, la mayoría de las estrategias instrumentadas han omitido el énfasis que se debe asignar a las acciones de prevención y mitigación así como a la evaluación de la vulnerabilidad de la población, enfocándose básicamente a perfilar acciones reactivas ante una situación de desastre (SEDESOL y COREMI 2004).

Los procesos meteorológicos (tormentas tropicales, ciclones, trombas) causan erosión y arrastre de grandes volúmenes de sedimentos aguas abajo en las cuencas hidrológicas. En general causan grandes pérdidas de suelos, pérdidas de masividad de las cuencas hidrológicas, y generalmente éstas pérdidas van asociadas a las pérdidas económicas y lamentablemente con frecuencia de vidas humanas (Meritano y Arenas 2009).

Sin embargo, estos fenómenos meteorológicos no se pueden evitar ya que forman parte de los procesos que se producen dentro de la dinámica atmosférica, pero si se pueden llegar a prevenir y mitigar las catástrofes que originan.



El ser humano tiende a urbanizar espacios que son ocupados por el agua como las llanuras aluviales, que por naturaleza son zonas inundables y esto trae como consecuencia que los desastres se magnifiquen. Es importante considerar este tipo de peligros al ordenar un territorio, porque van a influir en el uso y vocación del suelo, y por las implicaciones que tienen en las actividades socioeconómicas que se localizan selectivamente sobre los espacios ribereños.



OBJETIVO GENERAL

Identificar y evaluar el riesgo de inundación en la Cuenca baja Arroyo Xhosda, como estrategia para su prevención.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer el comportamiento del agua de lluvia en Cuenca Arroyo Xhosda, mediante la implementación del software Flo-2D.
- Elaborar el mapa de riesgo de inundación de la Cuenca Baja Arroyo Xhosda, mediante la implementación de un SIG.
- Generar propuestas que ayuden a mitigar el riesgo de inundación, con un enfoque de cuencas.



ESTRUCTURA DEL TRABAJO

El presente trabajo de investigación se compone de VI capítulos y un apartado introductorio en el que se enuncian una introducción, antecedentes, objetivos generales y específicos, así como la metodología. Los capítulos se encuentran estructurados de la siguiente forma:

Capítulo I: Marco Teórico Conceptual; este capítulo comprende la revisión de literatura y describe algunos conceptos de interés para el seguimiento de este estudio; también algunos antecedentes de inundaciones en diferentes países del mundo y las presentadas en Cuenca Arroyo Xhosda; así como los sistemas computacionales implementados para el procesamiento de la información.

Capítulo II Diagnóstico Físico-Geográfico; el capítulo presenta una caracterización física integral de Cuenca Arroyo Xhosda, así como la información y los procesos empleados para la elaboración del diagnóstico territorial de la cuenca. Por otro lado el capítulo describe mesas de concertación y reuniones realizadas, donde se conto con la participación de representantes municipales, asociaciones y población local, esto para conocer su participación dentro del área de estudio.

Capítulo III Diagnóstico Estructural; este capítulo describe los recorridos realizados en Cuenca Arroyo Xhosda, con los cuales se observo el estado actual de la infraestructura hidráulica existente, y se logró identificar parte de la problemática y las causas de las inundaciones recientes.

Capítulo IV Identificación del Área Inundable; el capítulo muestra como resultado final la identificación del área inundable dentro de Cuenca Arroyo Xhosda, describe el modelo empleado, así como la información requerida y los procedimientos realizados para obtenerla.



Capítulo V Identificación y Análisis de la Zona de Riesgo; el capítulo presenta como resultado final el mapa de riesgo de inundación de la Cuenca Baja Arroyo Xhosda, así como los procesos realizados y la información requerida para la obtención del mapa final.

Capítulo VI Conclusiones y Recomendaciones; finalmente este capítulo muestra las conclusiones a las que se llegó en durante la investigación y describe las recomendaciones en virtud del análisis de los resultados obtenidos.



METODOLOGÍA

La presente investigación se realizó en la Cuenca Arroyo Xhosda, la cual pertenece a la Cuenca del Río Laja, cuenta con una extensión territorial de 108.49 km², y se extiende dentro de la porción este del Municipio de San Juan del Río al suroeste del Estado de Querétaro.

La identificación del peligro de inundación, también contempla la implementación del Método Histórico, el cual consiste en la recopilación de antecedentes históricos de sucesos derivados por fenómenos naturales, en este caso inundaciones. Por este método es posible ubicar cartográficamente los sitios de incidencia de las inundaciones y sus efectos; asimismo, una vez identificados los lugares será posible categorizar los sitios históricamente más afectados y establecer prioridades en el diseño de planes de atención, estimar los montos de las pérdidas y diseñar medidas preventivas de seguridad (ONU, 1997).

Para la identificación de la vulnerabilidad, se implementó el método de ponderación de las jerarquías analíticas propuesto por Saati, el cual utiliza una matriz de doble entrada, donde los factores van colocados en las filas y columnas de esta, la acción permite realizar una comparación de un factor con respecto a cada uno de los otros y utilizando juicios de valor se le asigna a cada variable un coeficiente numérico (Mena et al., 2006); las variables a utilizar son de tipo físico, hídrico y social, los valores de ponderación de cada variable se asignan y los resultados se suman generando una escala de valores, el valor se manipula en un SIG y se crean los escenarios de vulnerabilidad física, hídrica y social, con lo que se obtuvo la vulnerabilidad integral.

La identificación del riesgo de inundación contempla la implementación de programas computacionales, particularmente ArcMap de ArcGIS y Flo-2D, herramientas de análisis espacial que permiten generar procesos y cartografía detallada del riesgo por inundación, mediante información geoespacial, datos bibliográficos y de campo. Aquí se



interpolaron manualmente en SIG las coberturas de peligro y vulnerabilidad; posteriormente se realizó el análisis del riesgo por inundación.

Para esto se comenzó con la preparación de cartografía base e información digital, requerimientos necesarios de procesamiento para el software FLO-2D y el Sistema de Información Geográfica (SIG), información que se obtuvo de coberturas digitales de INEGI, levantamientos de información como resultado de recorridos en el área de estudio, lo que posteriormente se validó y procesó en gabinete.

Mediante recorridos en campo, cartografía temática, información estadística y estudios realizados en la región, se elaborarán los diagnósticos físico, hídrico y estructural, los cuales permiten conocer la situación actual de la cuenca, así como sus características y elementos principales. Continuamos con la implementación de software Flo-2D, donde se cargó la información obtenida en campo y procesada en gabinete, con lo cual se generaron los escenarios de lluvias extraordinarias, y así observar el comportamiento de ésta en el territorio, para conocer por dónde va a ir el agua según la intensidad de la lluvia, donde se va a estancar, cuándo y en cuánto tiempo va a desaparecer e infiltrarse. Posteriormente con la información que detallan los escenarios, se generará el mapa de peligro, vulnerabilidad y riesgo de inundación, los cuales muestran los escenarios más vulnerables y el riesgo que presentan a estos eventos hidrometeorológicos.

Finalmente con la identificación de las áreas de riesgo de inundación, se generarán propuestas y/o acciones estratégicas para mitigar, controlar y/o prevenir las inundaciones y sus daños, acciones que permitirán responder adecuadamente ante la presencia de estos fenómenos, con lo cual podemos afirmar que la propuesta puede ayudar a la organización y la toma de decisiones estratégicas dentro de la cuenca.



CAPÍTULO I.

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

1.1. CUENCA HIDROGRÁFICA Y GESTIÓN DE CUENCAS

Una **cuenca hidrográfica** es la porción de territorio drenada por un único sistema de drenaje natural, delimitada topográficamente en donde los escurrimientos de agua confluyen hacia un mismo punto, el cual puede desembocar en un lago interior, en el mar u océano (WWF 2007 en INE, 2008). Debido a esta característica, las cuencas hidrográficas son unidades naturales para el manejo de los recursos naturales y en particular del agua, asimismo esta puede subdividirse en subcuencas, microcuencas e unidades de escurrimiento, las cuales forman parte del mismo sistema hídrico de la cuenca.



Figura 1.1. Diagrama de cuenca hidrográfica.

Las cuencas hidrográficas se conciben como un sistema natural dinámico compuesto de elementos tanto biológicos, físicos y antrópicos, relacionados entre sí, y considerados como un conjunto único en permanente cambio (Saltay 1975 en INE, 2008), también es una unidad físico-biológica y socio-política, donde se pueden llevar a cabo

tareas de conservación, planificación, ordenación, lo cual nos permite concientizar sobre su conservación y uso adecuado de sus recursos naturales (FAO, 1992).

Gestión a nivel cuenca: Esta se sustenta en la conjugación de dos grupos de acciones complementarias: las cuales corresponden principalmente a las formas de utilizar los recursos naturales localizados dentro de una cuenca; en primer instancia grupo de acciones orientadas al aprovechamiento adecuado de sus recursos naturales (usarlos, transformarlos, consumirlos), con fines de fomentar al crecimiento social y económico de la población; por la otra, un conjunto de acciones orientadas a manejarlos (conservarlos, recuperarlos, protegerlos) con el fin de tratar de asegurar una sustentabilidad del ambiente y el equilibrio ecológico (Dourojeanni, 1998).



Figura 1.2. Cuenca hidrográfica.

Podemos agregar además que estos dos grupos de acciones deben de ejecutarse con la participación de los diversos actores, entre los que deben destacar la población, el gobierno y los centros de educación e investigación, todo esto con la finalidad de incrementar y fortalecer el fomento al desarrollo social, educativo, cultural y económico de la población lugareña, esto es visto como las grandes ventajas competitivas, que generan así



intereses conjuntos de desarrollo sustentable y algo de mucha importancia que incrementan la proyección hacia el equilibrio ambiental.

Gestión Integrada de los Recursos Hídricos: Proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra, los recursos relacionados con éstos y el ambiente, con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. Dicha gestión está íntimamente vinculada con el desarrollo sustentable. Para la aplicación de esta Ley en relación con este concepto se consideran primordialmente agua y bosque (Art. 3. Fracción XXIX de la Ley de Aguas Nacionales, 2004).

De aquí, que él no concientizar sobre esto, el no llevar acabo de manera adecuada y consiente estas acciones, traerá consigo deterioros ambientales y sociales de gran impacto, los cuales afectarán de manera irreversible la estructura y funcionamiento de la cuenca como corredor ecológico, algunos de los riesgos de este deterioro podrán ser la contaminación de los mantos acuíferos, la disminución del agua, erosión y pérdida de suelos, así como la migración y pérdida de especies de flora y fauna distintiva del lugar, todo esto visto como las grandes desventajas del manejo inadecuado y del uso irracional de los recursos naturales de una cuenca hidrográfica.

La función de una cuenca hidrográfica es de gran importancia ecológica y ambiental, esto por la importancia que posee sobre la captación del agua, captación de bióxido de carbono y producción de oxígeno, el cual es esencial para la vida dentro de su territorio, por lo que se refiere a la captación del agua, la cual mediante la infiltración enriquece los mantos acuíferos y con la evaporación alimenta a la atmósfera lo que es de importancia dentro del ciclo del agua, asimismo el agua captada por las corrientes de la cuenca hidrográfica, también una parte es aprovechada por la vegetación y fauna del lugar, y la otra parte es utilizada en las actividades domesticas de la población, con fines de desarrollo social y económico.



Además de ser de gran importancia económica, ya que haciendo uso adecuado de sus recursos naturales, se pueden llevar algún tipo de proyectos con lo cual generar excedentes económicos, que brinden beneficios importantes a la población del lugar, mejorando así su calidad de vida.

1.2. MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS

Es un proceso interactivo de decisiones sobre los usos y las modificaciones de los recursos naturales dentro de una cuenca. Este provee la oportunidad de hacer un balance entre los diferentes usos que se le pueden dar a los recursos naturales y los impactos que éstos tienen en el largo plazo para la sustentabilidad de los recursos. Implica la formulación y el desarrollo de actividades que involucran a los recursos naturales y humanos de la cuenca. De ahí que en este proceso se requiera la aplicación de las ciencias sociales y naturales. Asimismo, conlleva la participación de la población en los procesos de planificación, concertación y toma de decisiones. Por lo tanto, el concepto integral implica el desarrollo de capacidades locales que faciliten la participación. El fin de los planes de manejo integral es el de conducir al desarrollo de la cuenca a partir de un uso sustentable de los recursos naturales (Cotler 2007 en INE, 2008).

El manejo integrado de cuencas es el conjunto de acciones para proteger o restaurar los recursos naturales necesarios para un desarrollo sustentable. En el manejo integrado de cuencas, el agua tiene un papel muy importante ya que está relacionada, de una u otra manera, con otros recursos (suelos, flora y fauna), y es indispensable para la vida de la población, así como para el bienestar económico de una región (WWF, 2008).



El manejo integral de cuencas involucra y/o considera lo siguiente (Dourojeanni et al., 2002):

Manejo: evitar y solucionar conflictos de uso de recursos entre seres humanos y de éstos con su entorno y buscar acuerdos.

Integral: en el ámbito rural y urbano, la cuenca alta, media y baja, y todos los actores y disciplinas.

Cuenca: en el ámbito geográfico del recurso más móvil e importante: el agua.

Por otra parte, el manejo integral de cuencas requiere la comprensión sistémica de las interacciones entre el medio biofísico, los modos de apropiación del territorio (considerando economía, tecnología, organización social) y las instituciones existentes. Los nuevos enfoques utilizados para el manejo de cuencas consideran por un lado, todas las actividades generadoras de contaminantes (fuentes puntuales y difusas) presentes en la cuenca y por el otro, incluye a los actores que los representan y cuyos objetivos, incentivos y necesidades son identificados. En ese sentido, el manejo de cuencas busca la integración de los actores involucrados en una sola problemática, en lugar de atender varios problemas sectoriales dispersos. La implementación de un manejo integral de cuencas requiere la concurrencia, la cooperación y la colaboración de diversas instituciones bajo una visión común (Cotler, 2007).

Los problemas asociados al mal manejo de una cuenca hidrológica (Dourojeanni et al., 2002), son los riesgos naturales (inundaciones, aluviones y deslizamientos de tierra), depredación del potencial productivo (desertificación, erosión, incendios forestales, sobrepastoreo y sobreexplotación agrícola) y conflictos en el uso de suelo (contaminación, eutroficación y aumento de demanda de recursos).



1.3. AGUA E INUNDACIONES

Cerca de 3/4 partes de la superficie de la Tierra está cubierta de agua. El agua, uno de los recursos más importantes de la naturaleza y el elemento más usado en el planeta, cae del cielo en forma de lluvia y fluye por la superficie de la tierra creando arroyos, ríos y lagunas.

El agua, en constante movimiento, fluye de acuerdo a la topografía por donde se desliza, de esta manera, el agua viaja siguiendo la trayectoria que le marcan los suelos, los declives, las quebradas y hondonadas, formando lo que llamamos una cuenca hidrográfica; el agua es el recurso natural más valioso de un país por los beneficios que obtiene de ella, como puede ser de tipo social y económico, pero su mala gestión y una planificación deficiente de la utilización de la Tierra da lugar a que un número de personas cada vez mayor sufran las consecuencias de las inundaciones y de las sequías (Sistema Nacional de Protección Civil de México SINAPROC, 1993).

Las cuencas son áreas naturales que recolectan y almacenan el agua que utilizamos para el consumo humano y animal, para los sistemas de riego agrícola, para dotar de agua a las ciudades y hasta para producir la energía eléctrica que ilumina nuestros hogares. Por eso, la preservación de las cuencas hidrográficas es un factor importantísimo para el desarrollo integral de nuestra vida.

El funcionamiento de una cuenca se basa en los principios del ciclo del agua y sus relaciones con suelos y aguas. Por eso, hablar de cuenca hidrográfica es hablar del comportamiento del agua. En la naturaleza existen dos fuentes de agua hacia la atmósfera: la evaporación de superficies de agua, como son los mares, ríos y lagos; y la evaporación de suelos cubiertos con vegetación, en este último caso, la evaporación de agua del suelo y la transpiración de las plantas envían simultáneamente el vapor de agua hacia la atmósfera; una vez en la atmósfera, el vapor regresa a la tierra en forma de lluvias, lluvias que varían en intensidad de acuerdo al lugar y época del año, alimentan la red de drenajes de la cuenca. Aún cuando no siempre llueve por igual sobre toda la extensión de la cuenca,



observamos que el cauce principal presenta variaciones que son el reflejo de las lluvias ocurridas en las subcuencas.

En las zonas lluviosas, el bosque es la formación vegetal que ofrece mejor defensa del suelo contra la erosión, ya que las hojas de los árboles detienen el impacto de las gotas de lluvia y ayudan a almacenar temporalmente el agua, regulando los caudales de los ríos. A esta intercepción de la lluvia por la capa vegetal, le sigue un proceso de infiltración del agua hacia dentro del suelo. Este proceso de infiltración forma las corrientes o ríos subterráneos, que ayudan a mantener la humedad del suelo y proveen de agua a los ríos superficiales durante el verano.

Sin embargo, no toda el agua de lluvia se filtra hacia el subsuelo, pues llegado cierto momento la tierra se satura de agua, dando paso a la escorrentía, el agua fluye por la superficie de la tierra hacia los cauces de los ríos, aumentando su volumen a medida que llega el agua de las partes más lejanas. Si en la cuenca no existe vegetación suficiente para frenar la velocidad de las aguas de escorrentía, la fuerza del agua tiende a provocar desbordamientos e inundaciones en los ríos y procesos de erosión que destruyen los suelos agrícolas de la zona. El ciclo del agua termina donde empezó, es decir, con la transpiración de agua por las plantas que habitan los bosques y la evaporación del agua del suelo y de los ríos que forman la cuenca hidrográfica.

Los daños producidos por inundaciones tienen inmensos costos sociales, económicos y ambientales. Si bien es muy difícil eliminarlos totalmente, es posible minimizarlos mediante programas, proyectos y actividades que apunten a reducir la vulnerabilidad ambiental, social, así como la vulnerabilidad de la infraestructura económica y social (OEA-ECHO, 2002).

Las inundaciones se conocen como desastres naturales, pero las actividades humanas han contribuido al aumento en las muertes y daños. El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) afirma que “una inundación se produce cuando el gasto de las avenidas generadas en una cuenca supera la capacidad del cauce. Cuando esto

sucede, el exceso de agua escurre fuera de su cauce sin control hacia las partes bajas” (CENAPRED, 1994).

El Sistema Nacional de Protección Civil, SINAPROC establece que la definición oficial de inundación es “un aumento del nivel normal del cauce. Es demasiado fácil concluir de esta definición que una inundación no es un acontecimiento normal si no algo muy insólito. Conviene pues recalcar que no es así. Es normal que los ríos se desborden de vez en cuando, se salgan de madre y continúen el proceso natural de erosión de sus cuencas, depositando sedimentos en las llanuras de inundación” (SINAPROC, 1993).

Es de importancia comentar que en los últimos 2 años las lluvias extremas originaron grandes inundaciones en todo el mundo, provocando inundaciones en Arkansas, USA; Toscana en Italia; Maranhao en Brazil y en Australia, generando daños a infraestructura social y económica en decenas de viviendas, negocios, paralizando el tránsito en ciudades y autopistas, mas de 50 localidades aisladas, 300, 000 damnificados, 100, 000 evacuados y al menos 200 muertes.



Figura 1.3. Escombros del campamento inundado el 11 de junio de 2010, en Arkansas, USA. (CNN US & CANADA, junio 12 2010, en: <http://www.bbc.co.uk/news/10297917>).



Figura 1.4. Las intensas lluvias de 2010 provocan inundaciones en Toscana, Italia. (Azteca noticias, noviembre 02 de 2010, en: <http://www.aztecanoticias.com.mx/notas/internacional/27212/inundaciones-dejan-3-muertos-en-italia>).



Figura 1.5. Treinta centímetros de agua en algunas localidades a consecuencia de las inundaciones de 2009, en Maranhao, Brazil. (BBC MUNDO, mayo 7 2009, en: http://www.bbc.co.uk/mundo/america_latina/2009/05/090507_0745_brasil_socorro_inundaciones_wbm.shtml).



Figura 1.6. En 2010 y 2011, las fuertes lluvias ocasionaron inundaciones en Australia. (CNN MÉXICO, enero 05 de 2011, en: <http://www.cnn.mx/mundo/2011/01/05/el-fenomeno-la-nina-alimento-las-inundaciones-de-australia>).

México no se escapa a las adversidades de las lluvias, las cuales en 2010 ocasionaron inundaciones en el Municipio de Monterrey en Nuevo León, Tlacotalpan en Veracruz y Chalco en el Estado de México, donde los fenómenos hidrometeorológicos propiciaron el riesgo por inundación, y ocasionaron devastaciones en la infraestructura urbana y en el entorno ambiental, como se aprecia en las siguientes imágenes.



Figura 1.7. El jueves 1 de julio de 2010, la tormenta 'Alex' ha dejado un desaparecido, así como inundaciones en calles y la crecida del Río Santa Catarina en el Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León. (ahorasi.com, mayo 17 de 2011, en: <http://ahorasi.mycapture.com/mycapture/enlarge.asp?image=30373917&event=1034274&CategoryID=49217>).



Figura 1.8. Para septiembre de 2010, alrededor de 21 mil personas se encuentran damnificadas en Tlacotalpan, Veracruz, por el desbordamiento de los Ríos Papaloapan, San Juan y Tesechoacán. (Noticieros TELEvisa, septiembre 03 de 2010, en: <http://www.2.esmas.com/noticierostelevisa/mexico/estados/201353/reportan-21-mil-damnificados-inundaciones-tlacotalpan>).



Figura 1.9. Para el 10 de febrero de 2010, ya al menos 2 mil viviendas permanecen bajo las aguas negras del Río de La Compañía a una semana, sin que pueda ser reparada la ruptura del canal. (EL UNIVERSAL.mx, septiembre 13 de 2010, en: <http://www.eluniversaltv.com.mx/detalle.php?d=17287>).



Las inundaciones son, hasta el momento, el principal riesgo de origen natural en las ciudades del país. Cada inundación catastrófica pone a una ciudad prácticamente al borde del colapso, calles y avenidas anegadas, corte de tránsito, sótanos inundados, pérdida de mercaderías en comercios, paralización de actividades productivas, y otros. Ante cada inundación y ante el reclamo social consiguiente, los organismos de gestión con competencia en el tema proponen soluciones definitivas, como la construcción de obras de ingeniería capaces de aumentar la velocidad de escurrimiento de los conductos principales del sistema pluvial. Se conoce como zonas inundables, las que son anegadas durante eventos extraordinarios, por ejemplo en ciclones, tormentas tropicales, trombas, nevadas intensas, granizadas, crecientes poco frecuentes o avalanchas. Las zonas inundables se clasifican de acuerdo con las causas que generan las inundaciones y estas causas son las siguientes, las cuales pueden presentarse en forma individual y colectiva (Meritano y Arenas, 2009).

1. Saturación de agua (anegamiento) por lluvias intensas sobre áreas planas.
2. Saturación de agua por baja porosidad en el drenaje superficial.
3. Desbordamiento de corrientes naturales.
4. Desbordamiento de ciénegas.
5. Avalanchas producidas por erupción volcánica, sismos, deslizamientos de tierra (pendiente a bajo) en general y que forman diques o presas naturales, causando cambios en los cursos de agua superficial.
6. Obstáculos al flujo por la construcción de obras civiles: puentes, espolones y obras de encauzamiento, viviendas en los cauces y represamientos por explotación de material aluvial.
7. Sedimentación extraordinaria sobre los cauces de ríos y arroyos.



Es difícil cuantificar los daños que genera un desastre natural, ya que generalmente sus consecuencias pueden prolongarse por muchos años después de que se han producido. Un ejemplo de lo anterior, puede ser la pérdida de suelos cultivables y de masas forestales en una cuenca hidrológica de segundo orden (por ejemplo: los daños del ciclón Katrina en los Estados de Chiapas y Oaxaca, México, durante el año de 2005). A esto hay que sumarle la irreparable pérdida de vidas humanas y económicas directamente ocasionadas por el fenómeno (Meritano y Arenas, 2009).



1.4. INUNDACIONES EN CUENCA ARROYO XHOSDA

Históricamente, Cuenca Arroyo Xhosda, ha sufrido los perjuicios de estos fenómenos hidrometeorológicos, como precipitaciones extraordinarias, inundaciones y sequías, (Protección Civil Municipal, 2009). No obstante, se afirma que las actividades antropogénicas pueden incrementar estos eventos de riesgo. Históricamente, los principales riesgos que ha sufrido la Cuenca Arroyo Xhosda (Protección Civil Municipal, 2009), son:

I. Meteorológicos (precipitaciones extraordinarias, inundaciones y sequías).

Existen además otros elementos de peligro, como las alteraciones causadas principalmente por las actividades antropogénicas, y que pueden incrementar ciertos eventos de peligro como los ya mencionados. Sin embargo la finalidad de la presente investigación, es analizar a detalle los fenómenos meteorológicos, particularmente las inundaciones.

Podemos mencionar que en la Cuenca Arroyo Xhosda de San Juan del Río, ha sido modificado el cauce del arroyo, lo que incrementa su vulnerabilidad a eventos extraordinarios y procesos de riesgo, que si bien son incipientes, deben ser tomados en cuenta en términos de una estrategia de prevención que permita incrementar la calidad de vida de los habitantes de la subcuenca.

Para junio 10 y septiembre 19 de 2010, se presentaron lluvias extremas, las cuales ocasionaron inundaciones, en lo particular la de 19 afectó la infraestructura urbana: principalmente 20 localidades, pérdida total del Hospital General y 10 mil damnificados, consecuencia del rompimiento del bordo Benito Juárez (Presidencia Municipal, 2010).



1.5. RIESGO Y VULNERABILIDAD

Para la definición del riesgo se toma en cuenta la presentada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENAPRED; en la cual se entiende como la función de tres factores: la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino, es decir el peligro, la vulnerabilidad y el valor de los bienes expuestos (CENAPRED, 2004). Esta definición se expresa en la ecuación:

$$Riesgo = f(Peligro, Vulnerabilidad, Exposición)$$

$$R = f(P, V, E)$$

Donde:

El **peligro** se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo de tiempo y en un sitio dado; este se encuentra directamente relacionado con el área inundable y con los bienes expuestos que se encuentran dentro de esta.

La **vulnerabilidad** se define como la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador, es decir el grado de pérdidas esperadas (CENAPRED, 2004); considerando variables sociales, hídricas y físicas, es posible obtener una vulnerabilidad integral.

La **vulnerabilidad social** es consecuencia directa del empobrecimiento, el incremento demográfico y de la urbanización acelerada sin planeación. La vulnerabilidad social asociada a los desastres naturales; se define como “el conjunto de características sociales y económicas de la población que limita la capacidad de desarrollo de la sociedad; en conjunto con la capacidad de prevención y respuesta de la misma frente a un fenómeno y la percepción local del riesgo de la población” (CENAPRED, 2006).



La **vulnerabilidad hídrica** se encuentra relacionada con los parámetros hídricos de la cuenca, principalmente se considera la precipitación y la infraestructura hidráulica existente, la cual si no se encuentra construida considerando un estudio hidrológico o es insuficiente, aumenta el grado de vulnerabilidad hídrica.

La **vulnerabilidad física** considera parámetros físicos del territorio, principalmente se emplea el uso de suelo y vegetación, ya que la cobertura vegetal ayuda a impedir los procesos de erosión y por tanto coadyuva a minimizar la vulnerabilidad territorial.

La **exposición o grado de exposición** se refiere a los bienes que se encuentran expuestos a sufrir daños por la ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad.

Ahora bien, para mitigar y/o prevenir los desastres latentes provocados por una inundación, se requiere de estudios específicos, los cuales arrojen propuestas estratégicas para minimizar y/o mitigar los impactos, cuya finalidad es la identificación de las áreas más vulnerables, para crear escenarios menos riesgosos y más seguros, para esto es posible que la inversión requerida durante la valoración no sea rentable económicamente, sin embargo los beneficios proyectados en el estudio previo, crearan las condiciones y acciones requeridas para prevenirle riesgo y las pérdidas generadas por las inundaciones.



1.6. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA SIG

SIG, se define como un sistema computarizado diseñado para almacenar, manipular, analizar y representar información dentro de un contexto geográfico (US EPA 2007 en INE, 2008). FLO-2D, es un modelo hidráulico bidimensional implementado para simular inundaciones, basado en una malla cartesiana de diferencias finitas. Es además, una herramienta útil para delinear zonas de amenazas por inundaciones, regular llanuras inundables o diseñar obras de mitigación de inundaciones de agua o lodos (O'Brien, Jorgensen 2009).

Actualmente la Cuenca Arroyo Xhosda, no cuenta con un estudio detallado de riesgos por inundación y prevención, mediante el uso de nuevas tecnologías para el análisis de información geográfica, por lo que se pretende la realización de un escenario de apoyo a la decisión espacial para la prevención y mitigación de riesgos por inundaciones, basado en la implementación del software Flo-2D y un Sistema de Información Geográfica, SIG, que permitirá plantear y mejorar la toma de decisiones, en la gestión, prevención y mitigación de riesgos por inundaciones, y los daños ocasionados por estos fenómenos.

Con la implementación de las tecnologías de información, Flo-2D y sistemas de información geográfica, se tendrán escenarios más acertados de vulnerabilidad, y mediante el mapa de riesgo de inundación identificaremos las zonas más vulnerables, en las cuales fomentar estrategias e infraestructura adecuada para la prevención y mitigación de los daños ocasionados por inundaciones, mejorando así la seguridad de la población, así como el desarrollo urbano y económico en la Cuenca baja Arroyo Xhosda.

Ahora bien la implementación del software Flo-2D, también nos permite diseñar escenarios de lluvias abundantes con fines de alertamiento, que permiten saber por dónde irá el agua en una lluvia copiosa, identificar el área afectada, la en la cual realizar acciones para prevenir el desbordamiento de ríos o arroyos.



Para identificar los peligros por inundación, también contempla la implementación del Método Histórico, el cual consiste en la recopilación de antecedentes históricos de sucesos derivados por fenómenos naturales, en este caso inundaciones. Por este método es posible ubicar cartográficamente los sitios de incidencia de las inundaciones y sus efectos; asimismo, una vez identificados los lugares será posible categorizar los sitios históricamente más afectados y establecer prioridades en el diseño de planes de atención, estimar los montos de las pérdidas y diseñar medidas preventivas de seguridad (ONU, 1997).

Para identificar la vulnerabilidad se implementó un método de ponderación, específicamente el método de las jerarquías analíticas propuesto por Saati, el cual utiliza una matriz de doble entrada, donde los factores van colocados en las filas y columnas de esta, la acción permite realizar una comparación de un factor con respecto a cada uno de los otros y utilizando juicios de valor se le asigna a cada variable un coeficiente numérico (Mena et al., 2006); las variables a utilizar son de tipo natural, social, económico e hidráulicas, los valores de ponderación de cada variable se asignan y los resultados se suman generando una escala de valores, el valor se manipula en un SIG y se crean los escenarios de vulnerabilidad natural, social e hidráulica.

El análisis y la identificación del riesgo por inundación, contemplan la implementación de programas computacionales, particularmente ArcMap de ArcGIS y Flo-2D, herramientas de análisis espacial que permiten generar procesos y cartografía detallada del riesgo por inundación, mediante información geoespacial, datos bibliográficos y de campo.



CAPÍTULO II.

DIAGNÓSTICO FÍSICO-GEOGRÁFICO

2. DIAGNÓSTICO FÍSICO-GEOGRÁFICO

Las características físicas de una cuenca influyen en su comportamiento hidrológico y en su equilibrio ecológico, ya que mientras más conservadas se encuentren sus coberturas, ayudan a su equilibrio y a su capacidad de respuesta como sistema natural.

2.1. UBICACIÓN

La Cuenca Arroyo Xhosda se localiza al este del Municipio de San Juan del Río y en la porción suroeste del Estado de Querétaro, entre las coordenadas extremas 2°26',108 y 2°24',143 de latitud norte; y 397,042 y 413,475 de longitud oeste, pertenece a la Cuenca del Río Laja y colinda al Norte-Noreste-Noroeste, Sur-Sureste-Suroeste y Este con el Municipio de San Juan del Río; y al oeste con el Estado de Hidalgo, y cuenta con una extensión territorial de 108.49 kilómetros cuadrados.

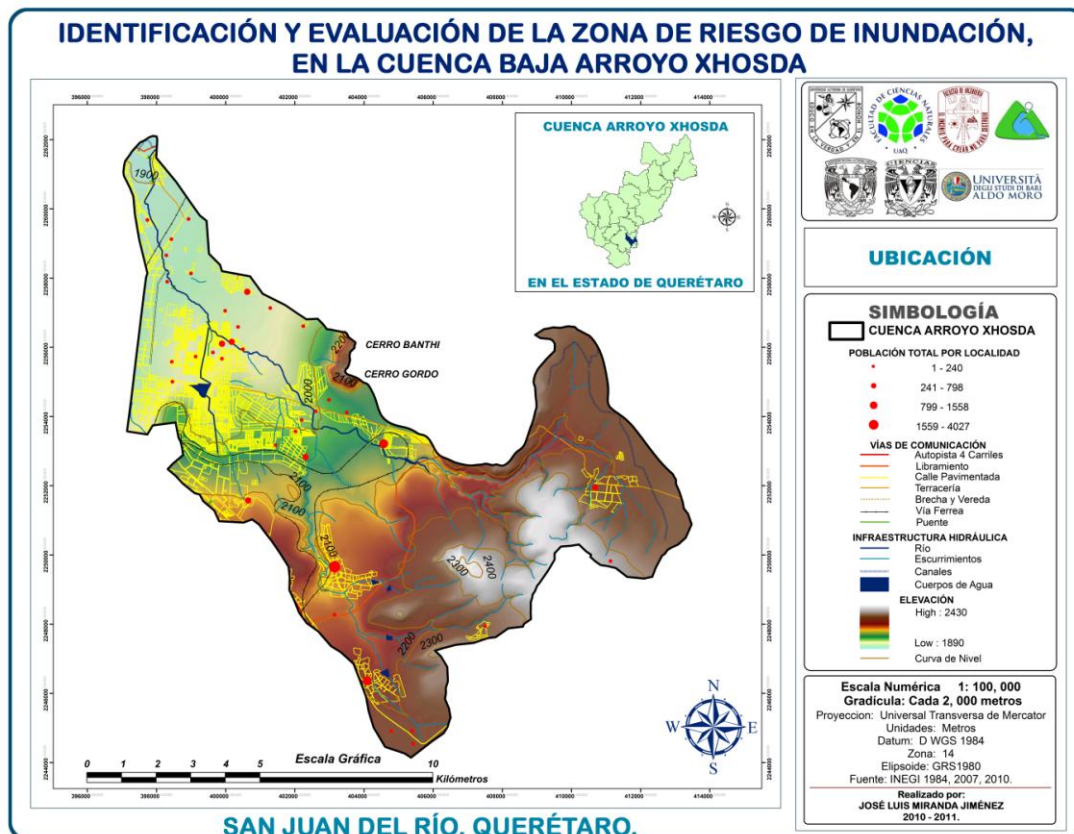


Figura 2.1. Ubicación Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.



El relieve se caracteriza por las diferencias de altitud en las elevaciones, la extensión de las mesetas y los lomeríos, así como la profundidad de las barrancas. La Región posee una morfología accidentada, donde la topografía y las condiciones del relieve han originado variadas estructuras geomorfológicas, como es el caso de las barrancas localizadas en el Municipio. En la superficie existen zonas con diversas altitudes, que oscilan entre los 1, 890 msnm, hasta los 2, 430 msnm, y una altura media de 2, 160 msnm.



2.2. GEOLOGÍA

El Municipio de San Juan del Río forma parte de la provincia del Eje Neovolcánico transversal, el cual está constituido litológicamente por rocas volcánicas del Terciario y del Cuaternario de diversos tipos y texturas, como es el caso de las brechas volcánicas y basaltos. Las rocas ígneas extrusivas ácidas, pertenecen al Terciario Superior. La extensión de suelo aluvial y residual se forma en el periodo del Cuaternario.

En la zona de estudio se tienen diversos tipos de rocas, de los cuales el que predomina es la arenisca, que es una roca clástica de grano fino del limo (.05 mm a .005 mm), compuesta principalmente por minerales de arcilla. Este tipo de roca se localiza distribuida en toda la zona de estudio, existiendo grandes manchas al centro, sur, este y noreste. La arenisca no es apta para la agricultura, por lo cual es conveniente para el desarrollo urbano su grado de dificultad para trabajar es moderado.

En la zona nor-poniente de la cuenca se tiene la presencia de suelos residuales y aluviales, que son suelos formados por el depósito de materiales sueltos (gravas, arenas) provenientes de rocas preexistentes que han sido transportados por corrientes superficiales de agua. Este tipo de suelo también lo identificamos sobre el cauce y los márgenes del Arroyo Xhosda, al igual que en los escurrimientos perenes. Por ser suelos formados por materiales sueltos, se clasifican como no aptos para el desarrollo urbano.

En faldas de Cerro Gordo encontramos riolitas, que son rocas con predominancia de feldespatos alcalinos, cuarzo abundante y plagioclasas sódicas. Por ser rocas duras las riolitas se consideran no aptas para el desarrollo urbano.

Tenemos también la presencia de tobas ácidas en una pequeña zona al sur de la Cuenca. Las tobas son rocas ígneas extrusivas formadas de material volcánico suelto consolidado, de diferentes tamaños y composición mineralógica. Las tobas ácidas se encuentran clasificadas dentro de las rocas no aptas para el desarrollo urbano.

Otra combinación de que se identificó fue la de toba ácida con brecha volcánica, esta se localiza al este de la zona de estudio en los límites con el estado de Hidalgo.

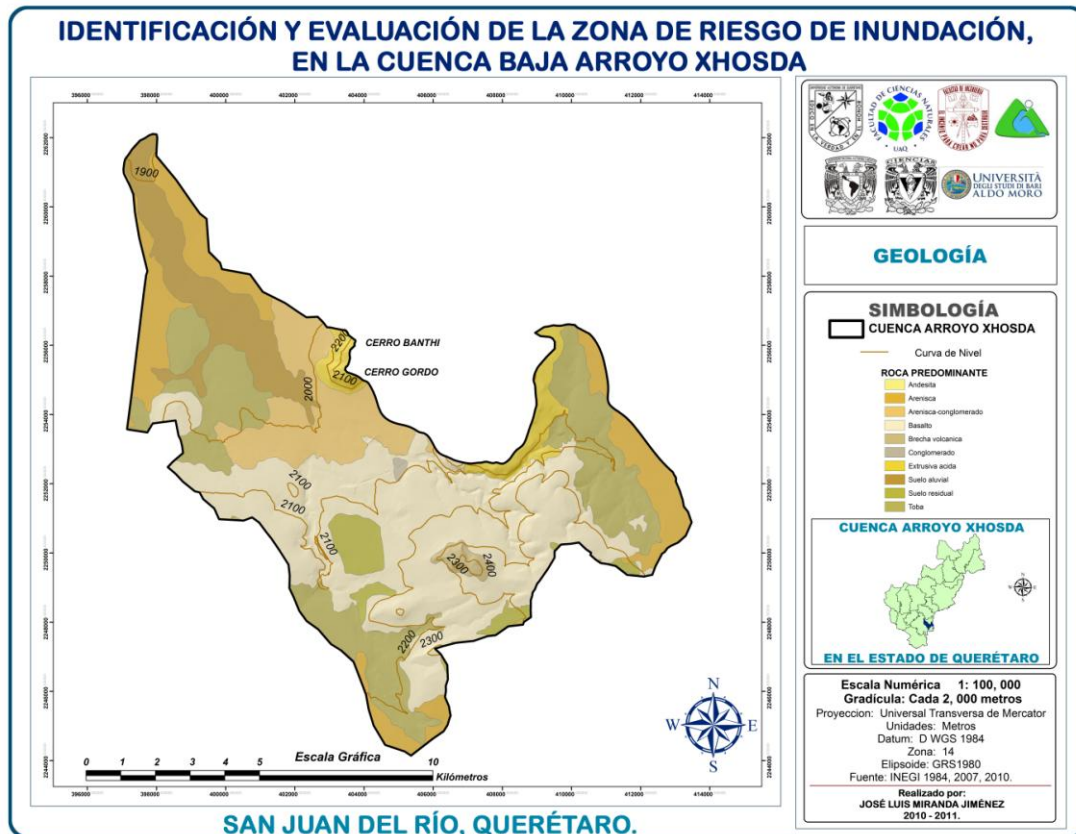


Figura 2.2. Geología Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

2.3. EDAFOLOGÍA

La composición edafológica de la Cuenca Arroyo Xhosda, se encuentra compuesta particularmente por tres tipos de suelos, los cuales son phaeozem y vertisol pélico principalmente, así como pequeñas áreas de planosol mólico.

La característica principal de los suelos phaeozem es su capa superficial oscura, rica en materia orgánica y en nutrientes. Son suelos profundos y situados en terrenos planos utilizados en agricultura de riego o temporal, con altos rendimientos; los menos profundos aquellos que se encuentran en laderas y pendientes pronunciadas, tienen bajos rendimientos y se erosionan con facilidad, pero pueden utilizarse para el pastoreo con resultados aceptables. Los subtipos de phaeozem que encontramos en la zona de estudio son el háplico y el pélico.

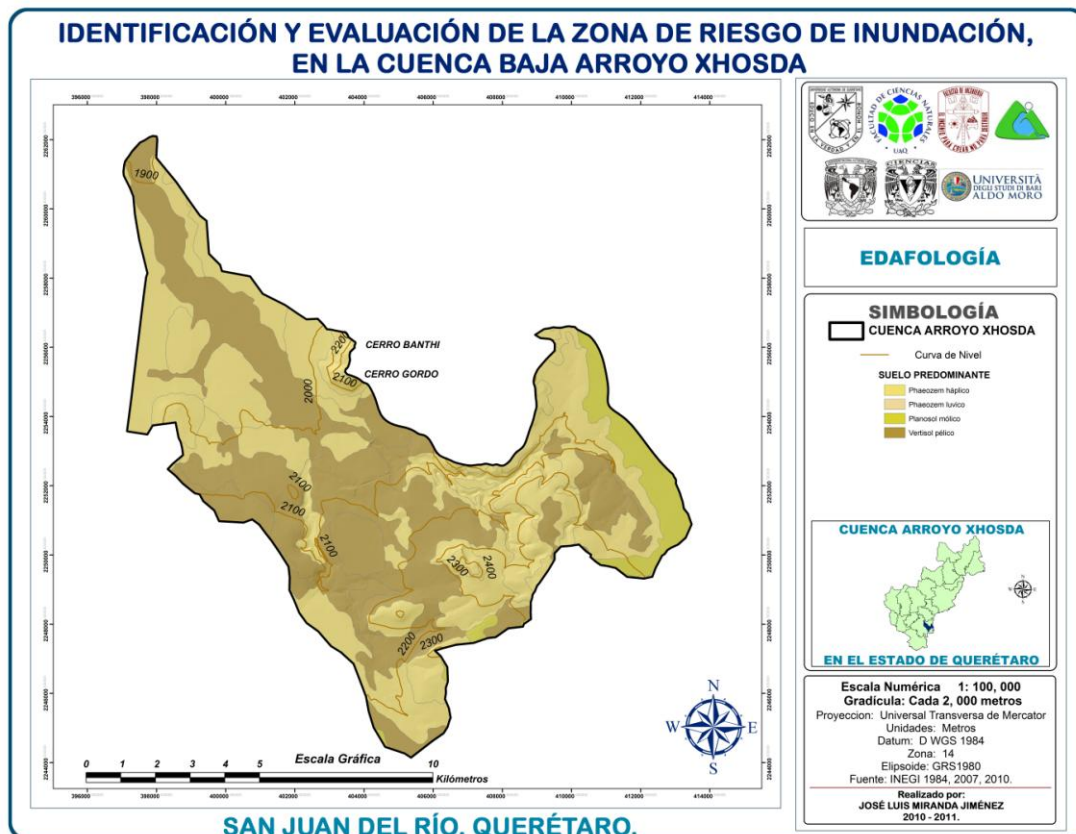


Figura 2.3. Edafología Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.



El phaeozem háplico presenta las características generales de este tipo de suelos, poseen un potente horizonte a de color oscuro, rico en humus, con una estructura bien desarrollada que descansa directamente sobre el material original y, en muy contadas ocasiones, presenta un horizonte B entre ellos, por lo que, generalmente tienen un perfil de tipo A-R o A-C, dependiendo de que la roca madre sea más o menos consolidada, sin embargo no presenta acumulaciones de carbonato de calcio dentro de los 100 cm. Este tipo de suelo tiene presencia en las partes altas y pies de monte, esto complementa la afirmación anterior, su principal característica es que se encuentran formados principalmente a partir de rocas silicatadas de origen volcánico: andesitas, traquitas, riolitas, basaltos, veritas, jumillitas, etc. y metamórfico: esquistos, cuarcitas, metabasitas, pizarras, etc., ocupan áreas montañosas, colinas y pies de monte, los cuales coinciden por su cobertura vegetal, correspondiente a matorral, el cual aporta abundantes restos orgánicos al suelo.

El vertisol pélico se caracteriza por tener aptitud para la agricultura y ganadería, cubre la mayor parte de la superficie de la cuenca, y se extiende por toda la parte central que corresponde en su mayoría a la planicie y en pocos manchones la parte alta, se caracteriza por la presencia de una capas de arcilla limosa, la cual ayuda a su susceptibilidad a la erosión. Por último en menor presencia tenemos planosol mólico, suelos profundos que provienen de rocas ígneas, este tipo de suelo presenta colores oscuros, fértiles y ricos en materia orgánica; este tipo de suelo tiene su presencia en la porción noroeste, este y suroeste de la cuenca.

2.4. USO DE SUELO Y VEGETACIÓN

La distribución y las características de la cubierta vegetal en la cuenca están determinadas por una serie de factores físicos entre los que destacan, la diversidad de formas del terreno, los materiales geológicos, suelos predominantes, así como el clima predominante. El clima predominante es el subtipo semiseco húmedo templado, el cual favorece al desarrollo del matorral crasicaule, subinerme, pastizal natural y matorral espinoso principalmente. Esta vegetación ocupa en total el 40.14 % dentro de Cuenca Arroyo Xhosda, ya que el 59.87 % del terreno está dedicado a la agricultura de riego, temporal y uso urbano.

TIPO	ÁREAS	KM ²	%
Agricultura riego	11	6.82	6.28
Agricultura temporal	36	45.41	41.86
Matorral crasicaule	2	0.12	0.11
Matorral crasicaule perturbado	2	20.57	18.96
Matorral espinoso	6	3.43	3.17
Matorral subinerme	16	11.83	10.91
Matorral subinerme perturbado	3	0.72	0.67
Pastizal inducido	8	0.94	0.87
Pastizal natural	14	5.92	5.46
Zona urbana	8	12.73	11.73
TOTAL	106	108.49	100

Cuadro 2.1. Uso de suelo y vegetación Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

El matorral crasicaule es el tipo de vegetación predominante y abarca el 19.07 % del área total de la misma. Se desarrolla a plenitud sobre suelos someros de origen ígneo y bajo condiciones de humedad muy restringidas. Se caracteriza porque presenta plantas de tallos suculentos y, aunque en muchas ocasiones estas no son las más abundantes, si son importantes debido al aspecto fisonómico que le brindan. Esta comunidad se encuentra distribuida en la parte central de la cuenca, por arriba de los 2,000 msnm de altitud; y como punto más representativo en los alrededores de la comunidad de San Miguel Arcángel.

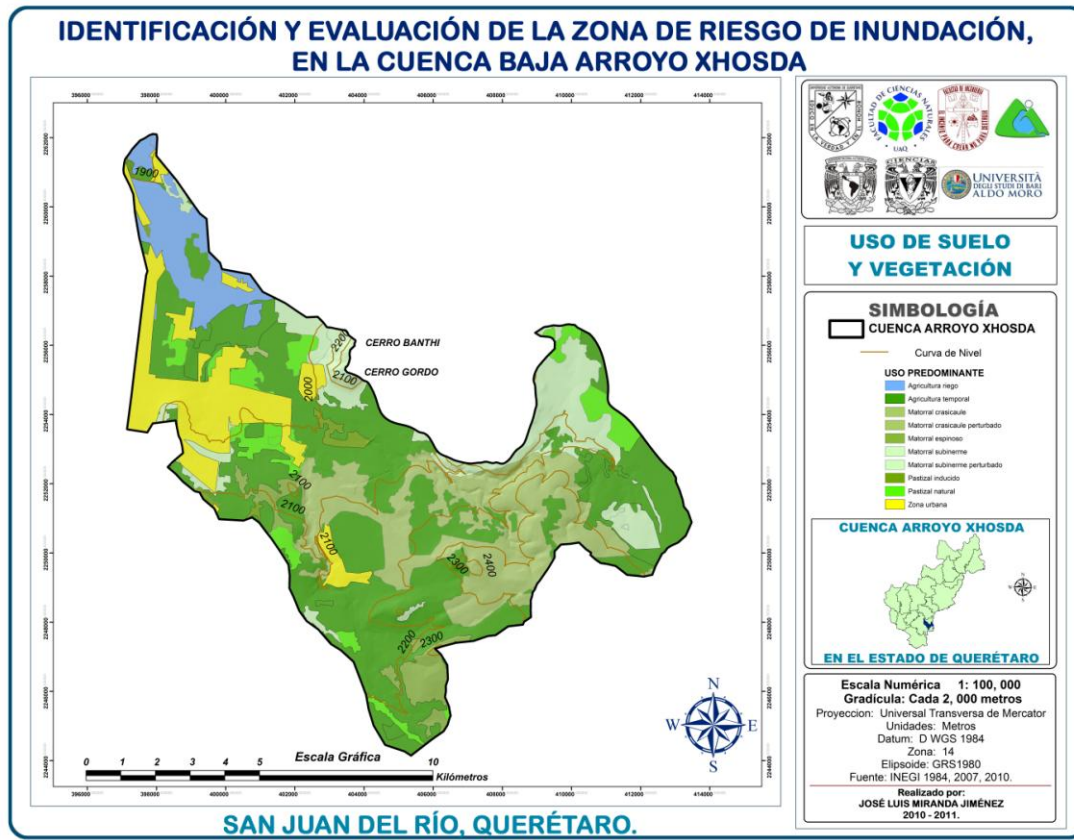


Figura 2.4. Uso de suelo y vegetación Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

Otra importante comunidad vegetal es el matorral subinerme, el cual abarca el 11.57 % del área total de la cuenca, se encuentra formado por un solo estrato herbáceo que mide entre 20 y 70 cm, donde dominan las gramíneas; esta comunidad puede estar acompañada por mezquites, huizaches y otras plantas leñosas. Se presentan en forma de manchones sobre suelo de mediana profundidad y se distribuye principalmente en las partes altas, correspondientes a los alrededores del cerro gordo, particularmente al este de Cuenca Arroyo Xhosda.

Se presentan dos tipos de pastizales, el natural y el inducido, 6.33 %. El primero está determinado por el clima, altitud y tipo de suelo, mientras que el segundo se origina por disturbios causados especialmente por el hombre. Son importantes por servir de alimento para el ganado; sin embargo, el sobre pastoreo y el excesivo pisoteo de los



mismos provoca una baja en las especies más nutritivas y apetecibles. Algunas áreas cubiertas por pastizal natural llegan a ser afectadas por introducir actividades agrícolas; con éstas se logran buenos resultados cuando se tiene un buen manejo del suelo y disponibilidad de agua; de otro modo, estas tierras son abandonadas y el pastizal puede resurgir con el tiempo (pastizal inducido), pero con especies que no son las mejores para el alimento del ganado.

2.5. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Cuenca Arroyo Xhosda, forma parte de la vertiente del pacífico oeste, ubicada dentro la Región Hidrológica del Río Pánuco (RH-26).

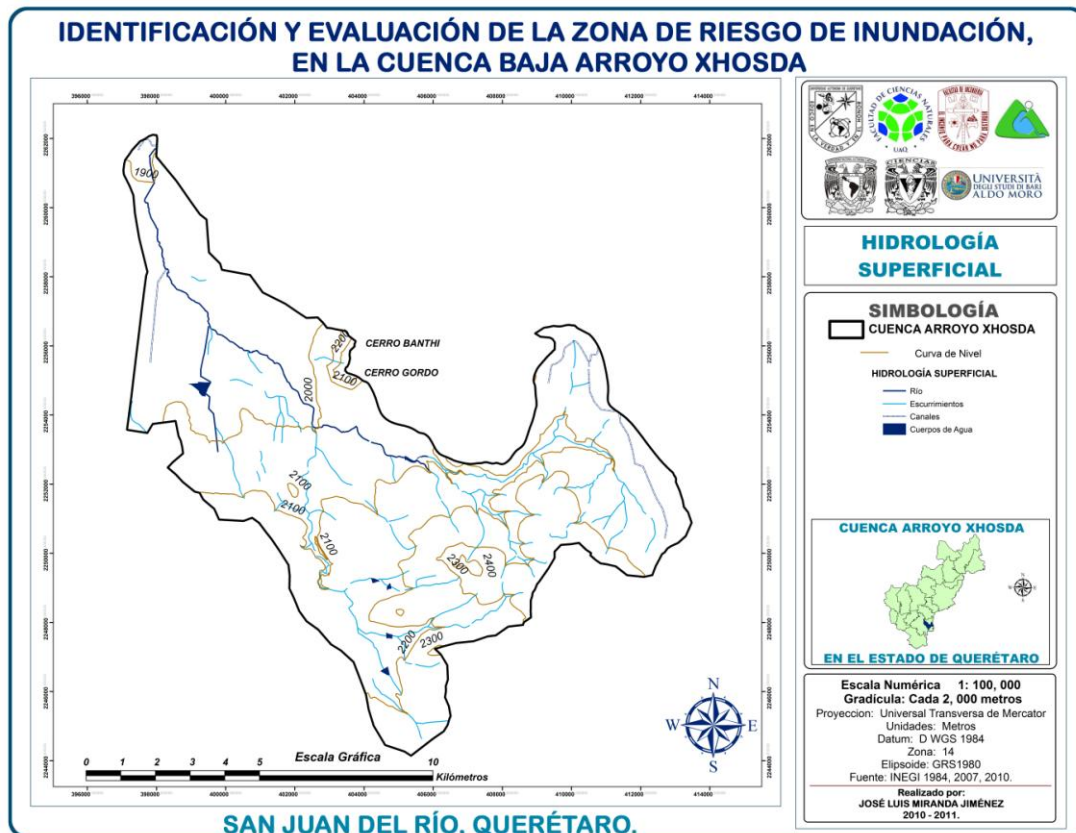


Figura 2.5. Hidrología superficial Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

La cuenca cuenta con escurrimientos perenes e intermitentes con caudal en temporada de lluvias, el comportamiento de su hidrología superficial, se encuentra influenciada por la misma acción natural de sus escurrimientos. Cuenta con cuerpos de agua, particularmente 4 bordos de regulación de agua, así como canales de distribución de la misma para temporada de lluvias.



2.6. MORFOMETRÍA

El estudio morfométrico de la cuenca, son características que se calculan y emplean para conocer su comportamiento hidraulico, se relaciona con el comportamiento de avenidas y la susceptibilidad de erosión, desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo. Generar un estudio morfométrico de la cuenca es de importancia para conocer su comportamiento hidraulico, particularmente considera la pendiente, los escurrimientos y la cubierta vegetal.

La metodología para este análisis se derivó a partir del Modelo Digital de Elevaciones MDE escala 1:50 000, el cual se procesó para obtener los parámetros geométricos necesarios en la aplicación de los métodos cuantitativos, que permitieron obtener los parámetros morfométricos de forma y red de drenaje: los parámetros de forma fue necesario calcular: el área de la cuenca, el perímetro, el factor forma, coeficiente de compacidad, índice de alargamiento e índice de homogeneidad; para el relieve se calcularon: la pendiente de la cuenca, la elevación media, la diferencia de altitud y la curva hipsométrica; para el drenaje se consideró: el orden de la corriente, la densidad de drenaje, la pendiente del cauce principal y el tiempo de concentración.

La forma de una cuenca al igual que el tamaño influyen en la magnitud del escurrimiento, teniendo que las compactas(redondas) presentan un escurrimiento intermitente y torrencial a diferencia de las cuencas de igual tamaño que tiene una forma estrecha y alargada.

La forma de la cuenca difícilmente se puede expresar en valores numéricos referidos a sus características, no obstante se han propuesto varios coeficientes que muestran en gran parte la organización del drenaje dentro de la cuenca y otros factores que afectan la hidrología de la corriente.

La morfometría de la Cuenca Arroyo Xhosda, nos indica que por su tamaño es una cuenca pequeña, que presenta forma rectangular y morfología irregular, presenta

drenaje dendrítico y por el destino de su drenaje es de tipo exorreica. A continuación se detallan sus características morfológicas más importantes:

Área de la Cuenca (A)	108.49	km ²
Perímetro de la Cuenca (P)	67,088.65	km
Longitud de la Cuenca (L)	19,408.53	km
Factor de Forma	0.29	km
Coefficiente de Compacidad	1.82	km
Índice de Alargamiento	0.61	km
Índice de Homogeneidad	1.64	km ²
Longitud del Cauce Principal	24.67	km
Densidad de Drenaje	0.97	km/km ²
Densidad de Corriente	1.02	km/km ²
Pendiente Media	7.79	%
Elevación Mínima	1,890.00	msnm
Elevación Máxima	2,430.00	msnm
Elevación Media	2,124.63	msnm
Orden de Corriente	4.00	orden

Cuadro 2.2. Morfometría Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007.

Donde:

Factor de forma (Ff), nos indica la tendencia de la cuenca hacia las crecidas e inundaciones, se encuentra en relación con el ancho promedio y la longitud axial de la cuenca, que corresponde a la longitud más grande de la cuenca.

$$Ff = \frac{\text{Ancho Promedio}}{\text{Longitud axial}}$$

El factor de forma de Cuenca Arroyo Xhosda es de 0.29, correspondiente a un coeficiente bajo, este factor numerico expresa que las cuencas con coeficientes bajos son menos propensas a tener lluvias intensas y simultaneas sobre la superficie que un área de igual tamaño pero con coeficiente mayor.



El **coeficiente de compacidad (K_c)**, es el valor resultante de dividir el perímetro de la cuenca entre el perímetro de un círculo de igual área a la de la cuenca.

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}}$$

Donde:

K_c .- Coeficiente de compacidad

P .- Perímetro de la cuenca

π .- es igual a 3.1415946

A .- Área de la cuenca

El coeficiente de compacidad de Cuenca Arroyo Xhosda es de 1.82, correspondiente a una cuenca de forma rectangular, esta forma provoca que el tiempo de concentración sea menor, es decir, que acelera la acumulación de las aguas al paso del efluente por la zona de descarga. Cuenca Arroyo Xhosda no presenta peligrosidad a crecidas e inundaciones, el valor de este coeficiente se encuentra relacionado con el tiempo de concentración, el cual es el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde el momento en que cae a la superficie en forma de lluvia y hasta el momento en que llega a la salida de la cuenca, a medida que el coeficiente K_c tiende a 1.0 es decir cuando la cuenca tiende a ser redonda, aumenta la peligrosidad de las cuencas a las crecidas, porque las distancias relativas de los puntos desde el parteaguas con respecto a uno central no presentan diferencias mayores y el tiempo de concentración se hace menor, por lo tanto, mayor será la posibilidad de que las ondas de crecidas sean continuas.

El cuadro siguiente muestra las diferentes formas que puede presentar una cuenca:

Clase de forma	Rangos de clase	Forma de la cuenca
Clase K_c1	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval redonda
Clase K_c2	1.25 a 1.5	Oval redonda a oval oblonga
Clase K_c3	1.5 a 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga

Cuadro 2.3. Formas de una cuenca.

Fuente: Henaó S.J.E. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas.



El **índice de alargamiento (Ia)**, se obtiene relacionando la longitud más grande de la cuenca (longitud axial) entre el ancho mayor medido perpendicularmente a la dimensión anterior.

$$Ia = \frac{L}{l}$$

Donde:

Ia.- Índice de alargamiento

L.- Longitud máxima de la cuenca

l.- Ancho máximo

El Ia de Cuenca Arroyo Xhosda es de 0.61, corresponde a valores bajo que brinda la cualidad de ser una cuenca de forma no tan rectangular, este indicador expresa que la cuenca es poco alargada y su forma se asemeja a la de un cuadrado, su red de drenaje se presenta en forma de abanico bien formado en cauces elementales, donde las confluencias pueden estar cerca una de la otra, el tramo de la red de drenaje constituido por el cauce principal es corto. Por el contrario si el índice presenta valores altos, la cuenca tiende a buscar una forma más rectangular.

El **índice de homogeneidad (Ih)**, se obtiene con el área de la cuenca entre el área de un rectángulo que tiene por eje mayor la longitud máxima de la cuenca y por eje menor el ancho máximo de la cuenca.

$$Ih = \frac{S}{Sz}$$

Donde:

Ih.- Índice de homogeneidad

S.- Área de la cuenca

Sz.- Superficie del rectángulo con dimensiones de longitud máxima y ancho máximo.

El índice de homogeneidad de Cuenca Arroyo Xhsoda es de 1.64, el cual indica que la cuenca tiene más o menos la forma de un rectángulo.



Con respecto a la **pendiente media**, el valor obtenido es de 7.79 % lo que significa que presenta un relieve suave, el cual impide que la cuenca sufra una agresividad del escurrimiento sobre el suelo y por ende impide los procesos erosivos.

La **pendiente media** es aquella, que considera tanto las pendientes del terreno como el área que cubren cada una de ellas divididas entre la superficie total de la cuenca, de tal manera que la pendiente mas representativa a lo largo de la cuenca, corresponde a la pendiente que esta relacionada tanto con el riesgo a presentar procesos de erosión y crecidas, ya que a mayor pendiente la agresividad del escurrimiento tambien se incrementa.

Una forma de calificar los tipos de pendientes es la siguiente:

Pendientes medias %	Relieve
0 - 3	Plano
3 - 7	Suave
7 - 12	Mediano
12 - 20	Accidentado
20 - 35	Fuerte
35 - 50	Muy Fuerte
50 - 75	Escarpado
Mayor de 75	Muy escarpado

Cuadro 2.4. Rangos de pendientes medias de una cuenca.

Fuente: Henaó S.J.E. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas.

Por las condiciones antes descritas podemos deducir que Cuenca Arroyo Xhosda es una cuenca madura, que presenta condiciones favorables en cuanto al tiempo de retención de agua, sus escurrimientos y su forma irregular permiten que tenga alta densidad de drenaje, retiene poca agua ya que esta es drenada al exterior de la cuenca casi de forma inmediata, es por ello que resulta apremiante conservar y reutilizar sus obras para la captación de agua, así como para la conservación de humedad en la parte alta de la cuenca.

2.6.1. CURVA HIPSOMÉTRICA

La curva representa el área por donde confluyen los escurrimientos y está relacionada con los rangos altitudinales de la cuenca, la curva también se emplea para conocer la edad del río y de la cuenca.

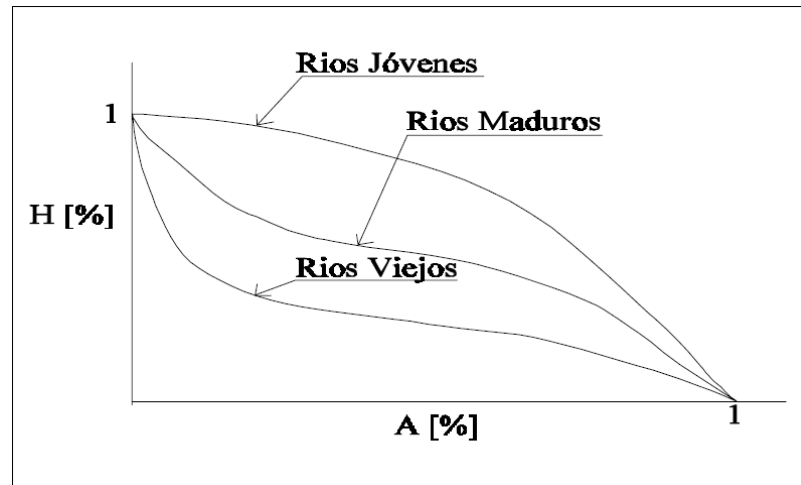


Figura 2.6. Edad de una cuenca según su curva hipsométrica.

Fuente: Henao S.J.E. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas.

Por sus condiciones hipsométricas, la Cuenca Arroyo Xhosda, es una cuenca geológicamente madura, ya que sus procesos de erosión en la parte alta de la cuenca han finalizado, además puede considerarse como cuenca de montaña en parte alta, de planicie en parte media-baja y en la salida de su drenaje.

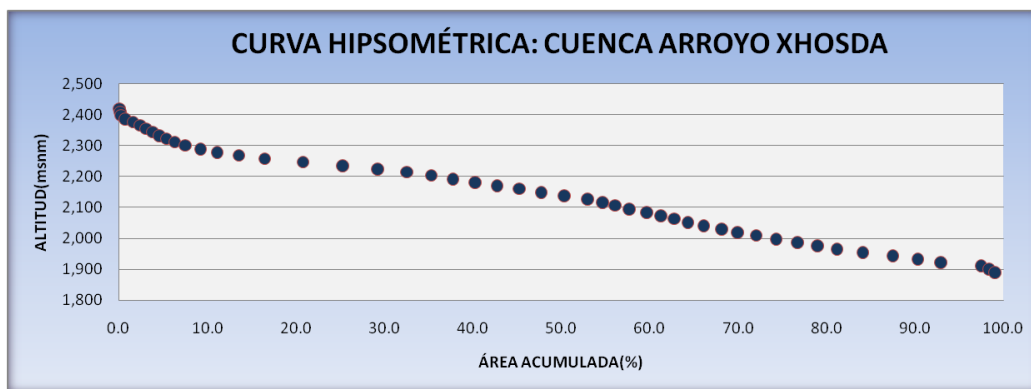


Figura 2.7. Curva hipsométrica Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

2.6.2. PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL

El perfil altimétrico es el grafico de rangos altitudinales por donde escurre el cauce principal.

Por la forma del perfil del cauce principal podemos afirmar que la cuenca posee rápida capacidad de respuesta hidrológica, ya que el tiempo que transcurre desde el momento en que cae la gota de agua en la parte alta de la cuenca y hasta el momento de llegar a la salida de la cuenca es de entre 130 y 190 minutos con una velocidad de 1.73 m/seg; el agua es drenada de forma inmediata a la cuenca baja, sin embargo en esta parte la urbanización impide la infiltración y salida del agua, lo que ocasiona manchas de inundación.

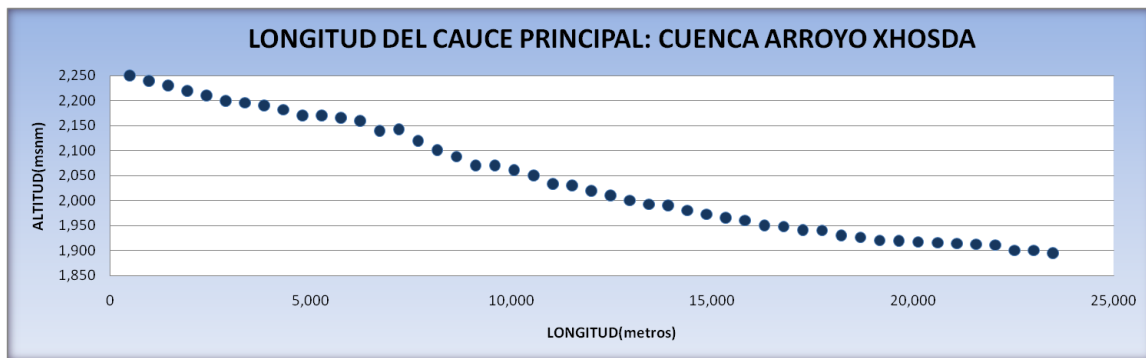


Figura 2.8. Longitud del cauce principal Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

2.6.3. DRENAJE DE CUENCA

El cauce principal de la cuenca es una corriente de 4º orden, esto es la forma en que están conectados los escurrimientos de la cuenca, esto influye en la respuesta de ésta a un evento de precipitación extraordinaria. El criterio para obtener el orden de corriente de una cuenca es definido por el modelo STRAHLER, donde considera que las corrientes carentes de afluentes son de primer orden, cuando dos corrientes de primer orden se unen forman una corriente de segundo orden y así sucesivamente.

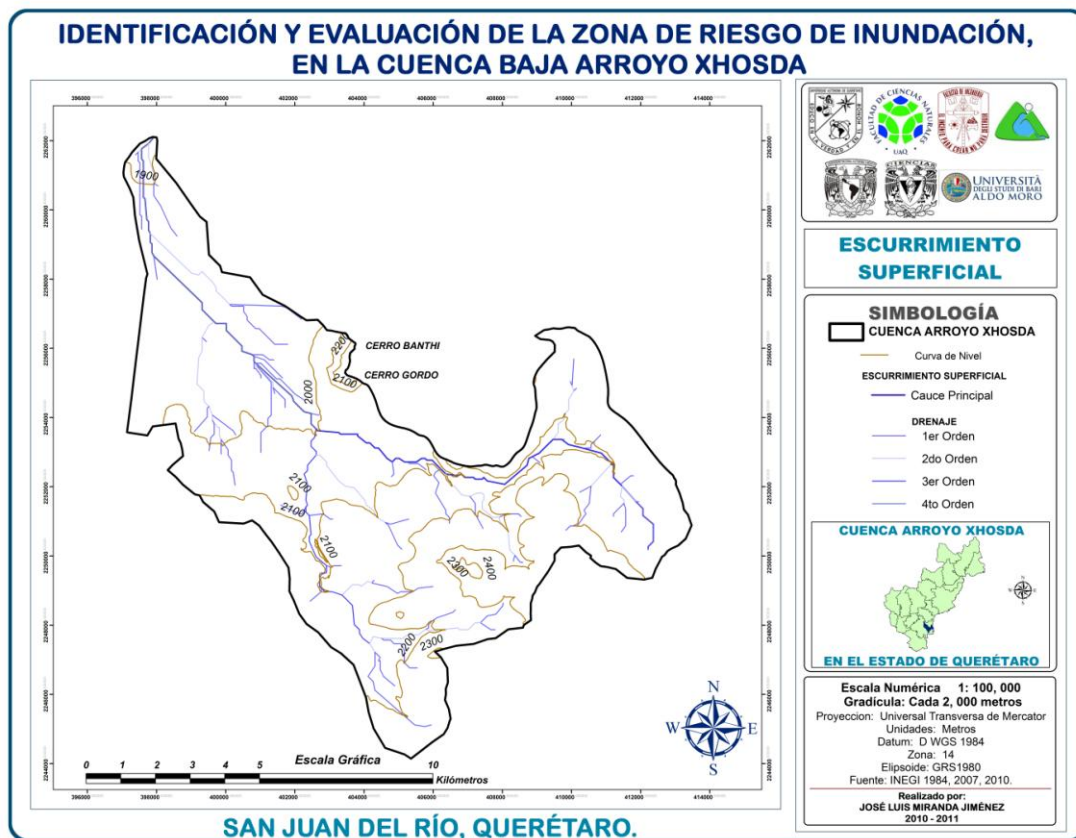
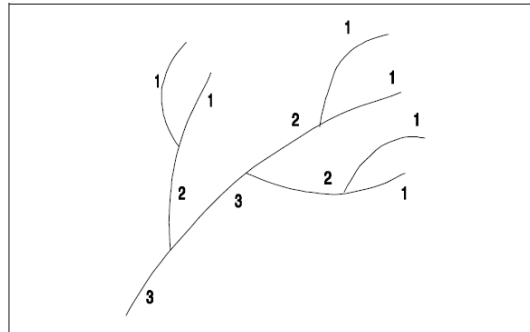


Figura 2.9. Esgurrimento superficial Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

2.6.4. UNIDADES DE ESCURRIMIENTO

Mediante el modelo digital de elevación, se identificaron 11 unidades de escurrimiento, las cuales obedecen a la dirección y flujo de los escurrimientos internos de la cuenca, de los bordos de regulación y de la dinámica del agua en las áreas urbanas.

Numero	Nombre	Área
1	Visthá	1.872
2	Santa Cruz	8.882
3	La Floresta	5.145
4	Paseo Central	4.479
5	Benito Juárez	8.277
6	Bhantí	4.636
7	San Pedro	3.470
8	Cerró Gordo	13.417
9	En medio	22.952
10	Cerró Prieto	3.691
11	El Sitio	31.673
		108.493

Cuadro 2.5. Unidades de escurrimiento Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

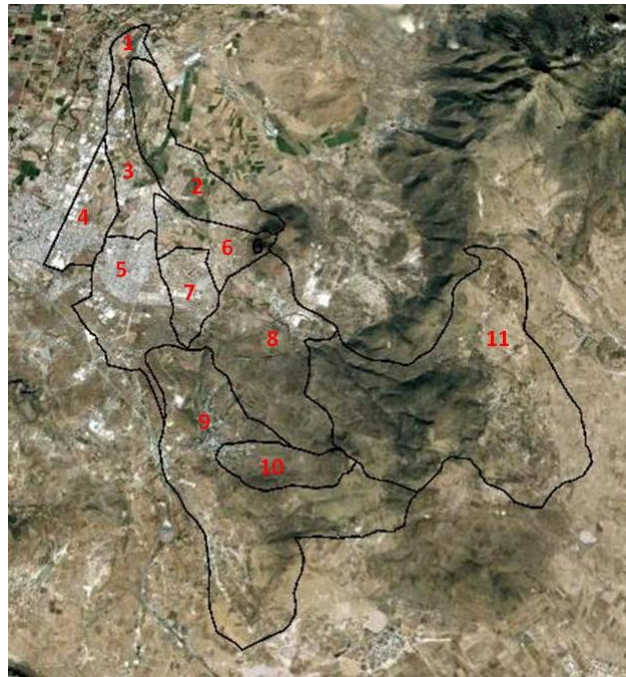


Figura 2.10. Unidades de escurrimiento en Google Earth Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

Las unidades de escurrimiento Benito Juárez (5), La Floresta (3), Banthí (6), Bordó San Pedro (7) y Paseo Central (4) de Cuenca Arroyo Xhosda, son donde se encuentra concentrada la población, siendo las mas importantes Benito Juárez y La Floresta, tal y como se muestran en la siguiente figura, estas unidades de escurrimiento urbanas fueron corroboradas con recorridos en campo.

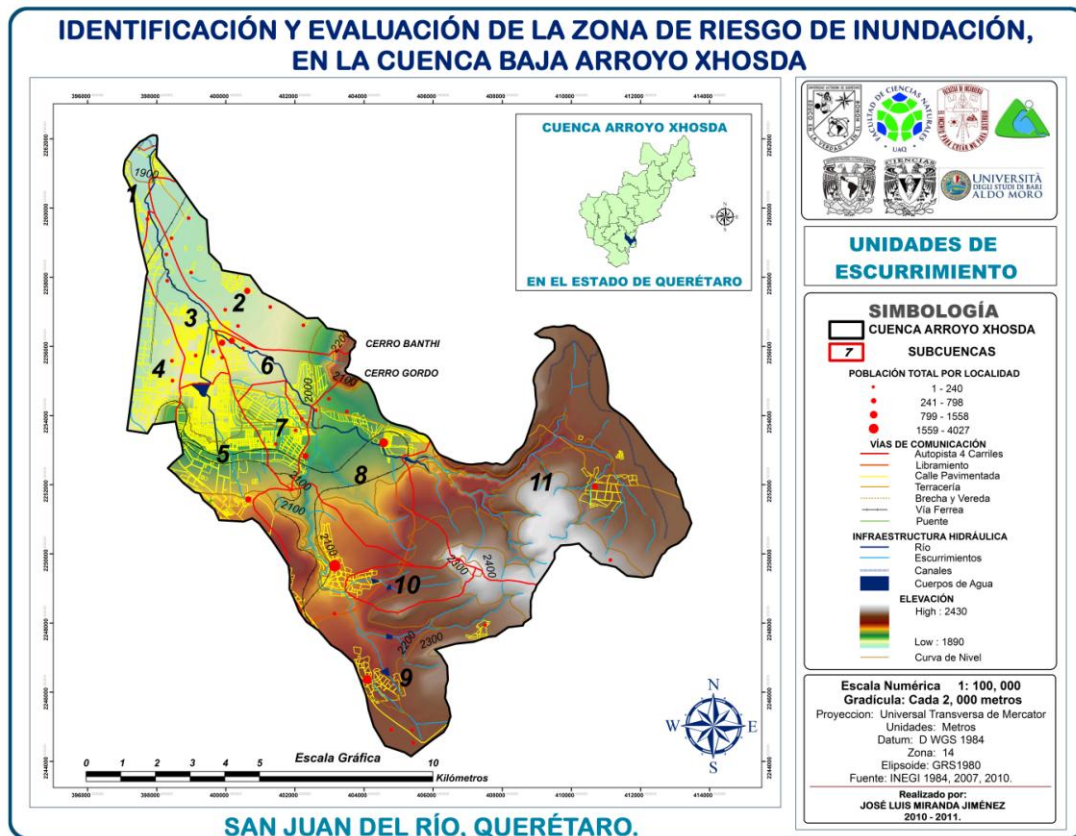
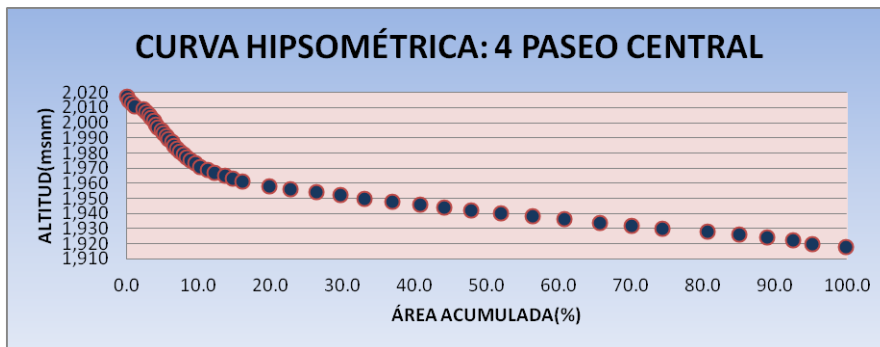
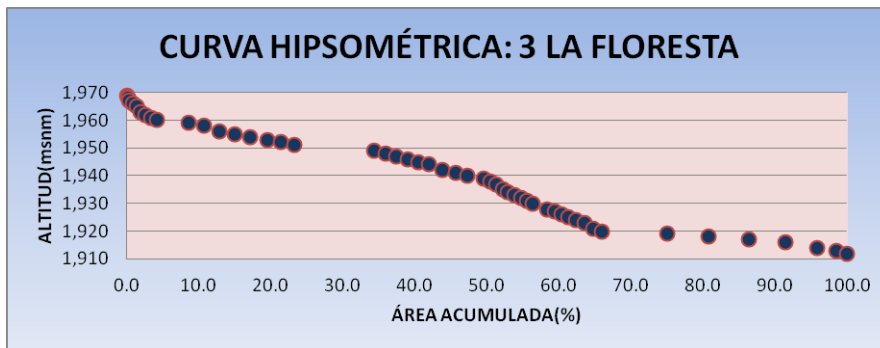
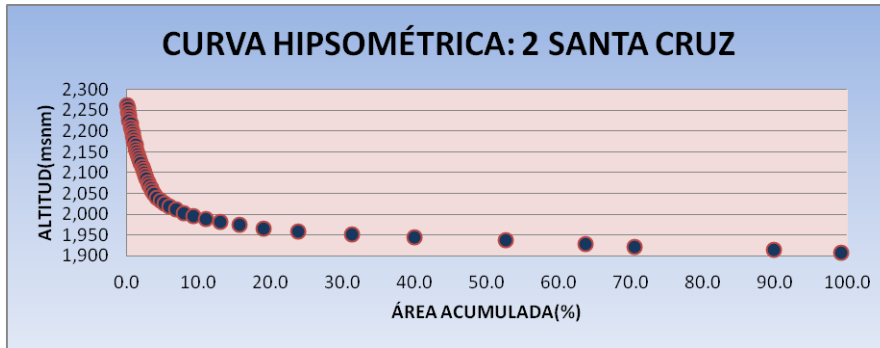
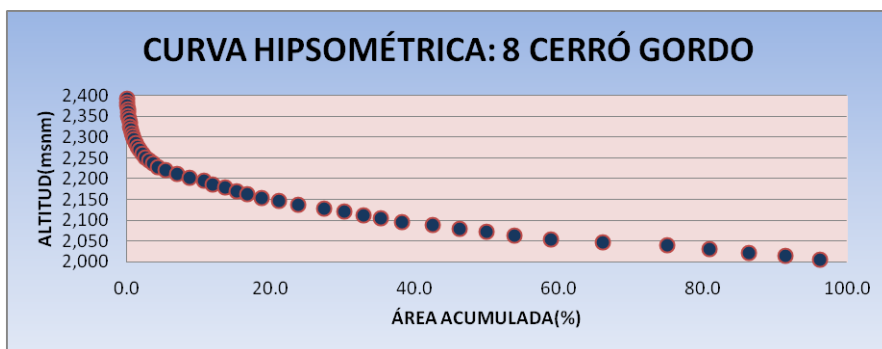
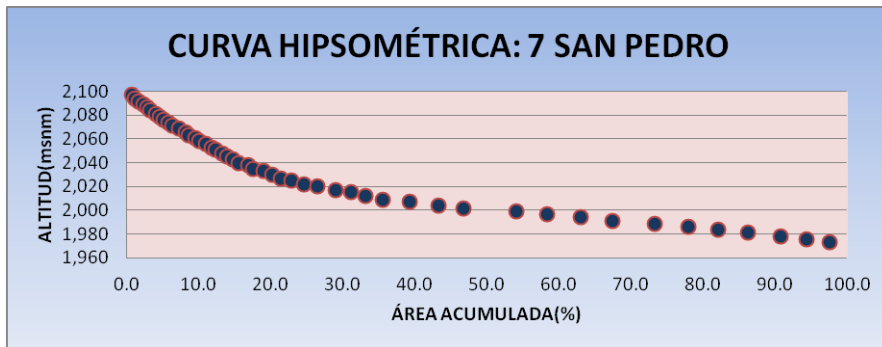
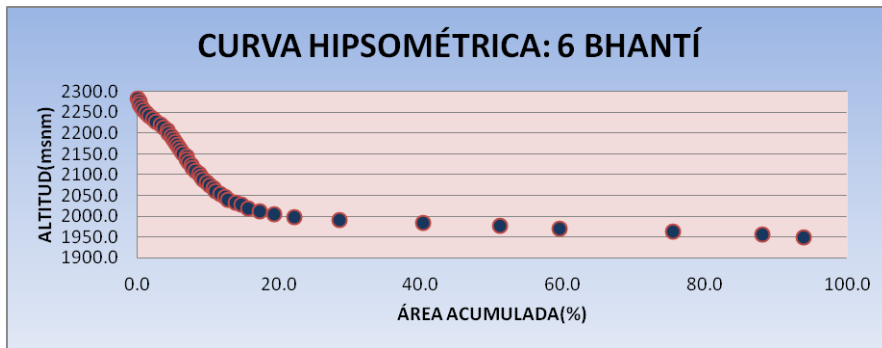
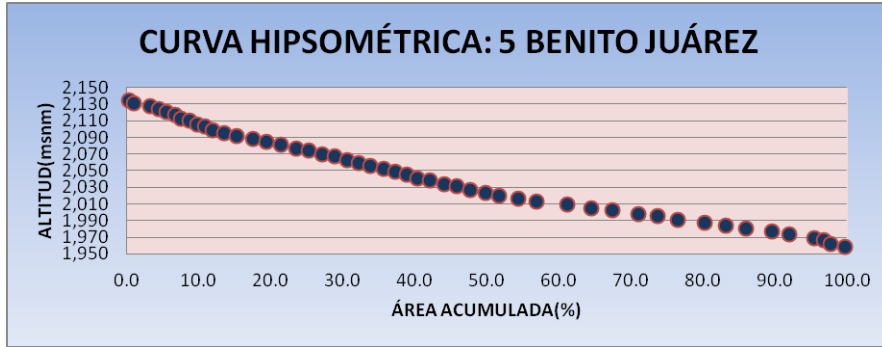


Figura 2.11. Unidades de escurrimiento Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

De las 11 unidades de escurrimiento se realizaron sus curvas hipsométricas, para conocer el comportamiento del escurrimiento de dentro de cada unidad, las cuales se muestran a continuación.





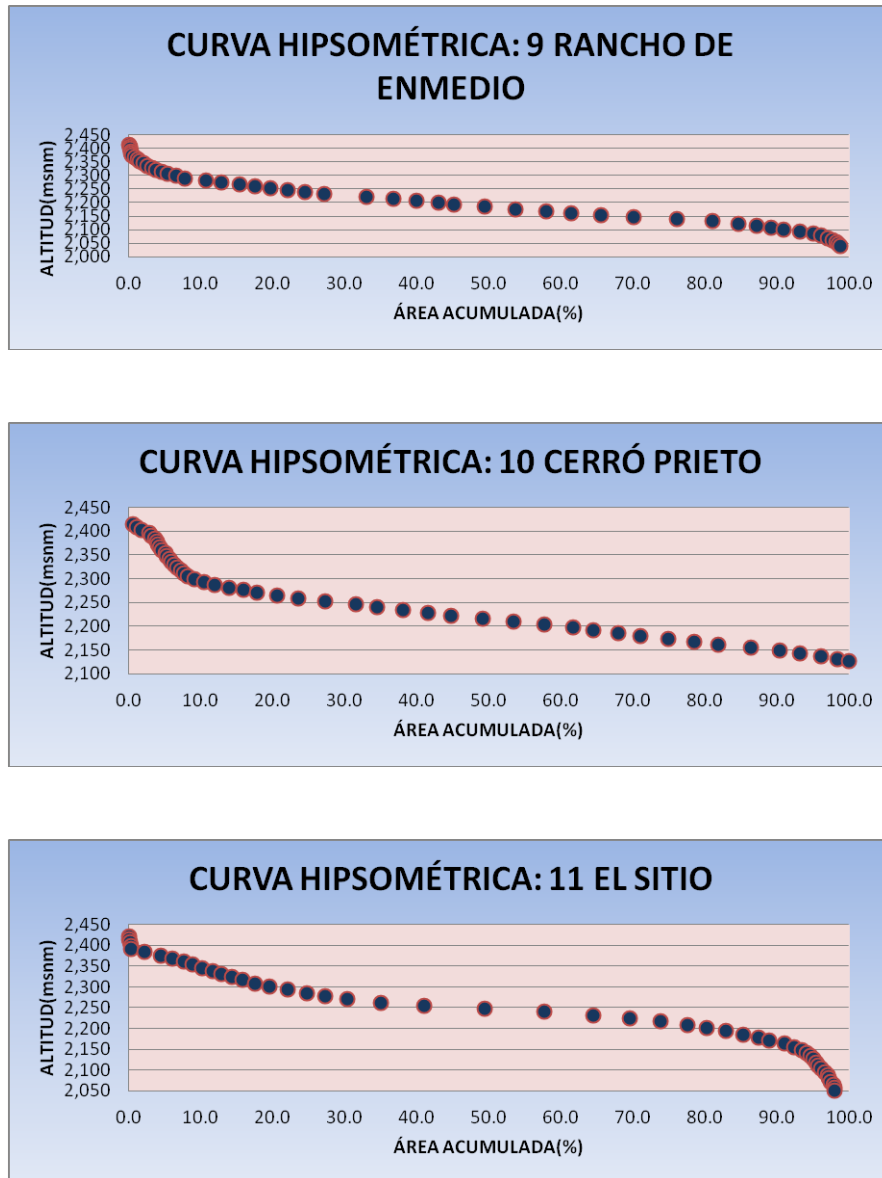


Figura 2.12. Curvas hipsométricas de unidades de escurrimiento Cuenca Arroyo Xhosda.
Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

Interpretando las curvas hipsométricas, las unidades de escurrimiento consideradas viejas son Santa Cruz (2), Bhantí (6) y Cerró Gordo (8), estas unidades han pasado de su estado de madurez a su vejez y han finalizado su procesos erosivos; las unidades Rancho De Enmedio (9) y El Sitio (11) ya presentan algunos principios de madurez, aunque aun son consideradas como unidades jóvenes, siendo las únicas que aun pueden presentar procesos erosivos; el resto de las unidades de escurrimiento se encuentran en su etapa de madurez, por lo que ya no tienden a presentar procesos erosivos de riesgo.



2.7. PRONÓSTICO DEL PROCESO EROSIVO

Para este apartado, se han realizado los procedimientos metodológicos, correspondientes al modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisado de RUSLE (RUSLE 2000), método que brinda una predicción estimada de erosión hídrica, el método está diseñado para predecir la pérdida anual de suelo causada por la precipitación y el escurrimiento, pero que además, considera superficie, cobertura vegetal, tipo, textura y uso de suelo, y cuyo resultado es la pérdida de suelo en toneladas por hectárea por año(ton/ha/año).

Los procesos erosivos contribuyen a limitar el funcionamiento y productividad una cuenca, no obstante en Cuenca Arroyo Xhosda, no aplica, debido a que textura, suelo, uso de suelo y vegetación contribuyen a que solo se tenga erosión natural, afirmación que se representa a continuación. Para lo cual se realizaron los procedimientos correspondientes al Método RUSLE, para obtener los siguientes valores, mostrados en los siguientes apartados:

2.7.1. FACTOR R

El factor R es igual al índice de erosividad asociado a la lluvia, resultante en toneladas por hectárea (ton/ha). Considera el factor climático, así como la capacidad de la lluvia para producir erosión, y que se encuentra relacionado con las condiciones climáticas del lugar, considera clima y precipitación media anual. Cuenca Arroyo Xhosda para este caso, en donde se ha empleado la información, correspondiente intensidad de lluvia disponible, (Cortés, 1991).

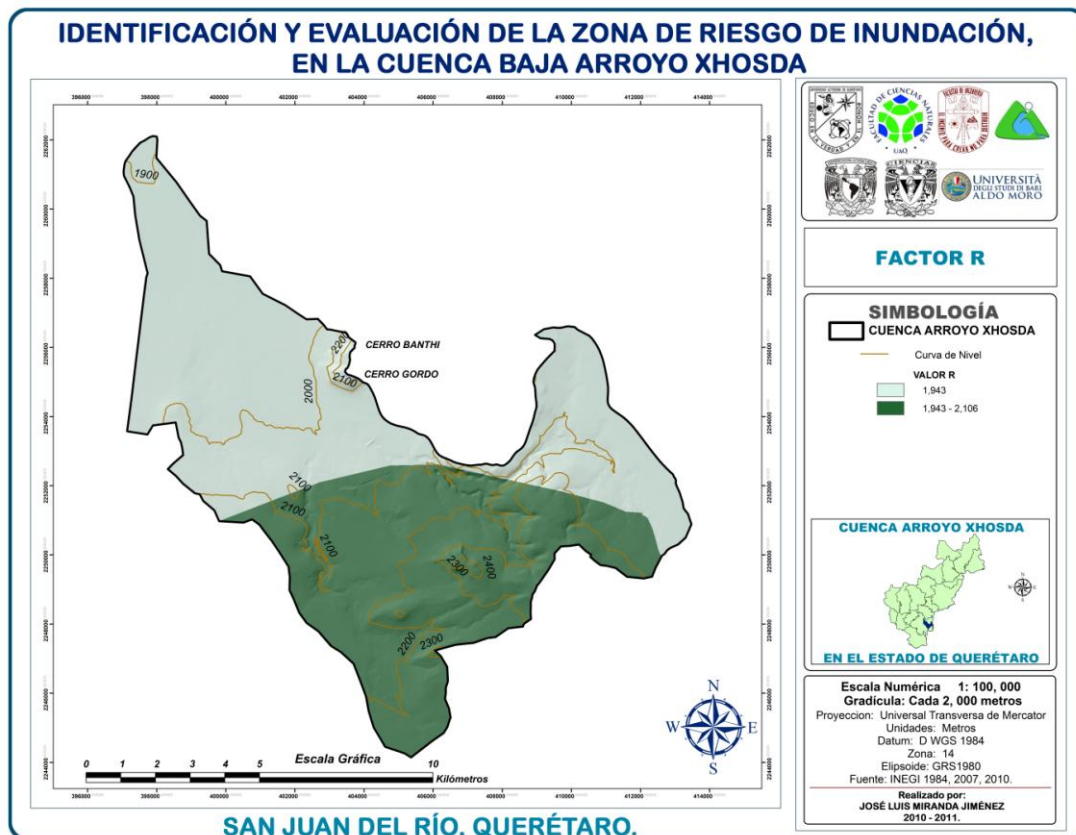


Figura 2.13. Factor R Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

2.7.2. FACTOR K

Factor K es igual al factor de erodabilidad del suelo, correspondiente a la susceptibilidad de los suelos a erosionarse. Considera las partículas del suelo, su contenido de materia orgánica, su permeabilidad y la estructura del suelo, es decir el tamaño de sus agregados. Para esto se empleo la metodología y clasificación propuesta por la FAO en 1980, la cual hace referencia a la estimación de K, a partir de la textura superficial y la unidad de suelo, misma clasificación propuesta por FAO. Y a partir del tipo y textura de suelo, se realiza la reclasificación de valor K, cuyo valor es expresado en toneladas por año (ton/año).

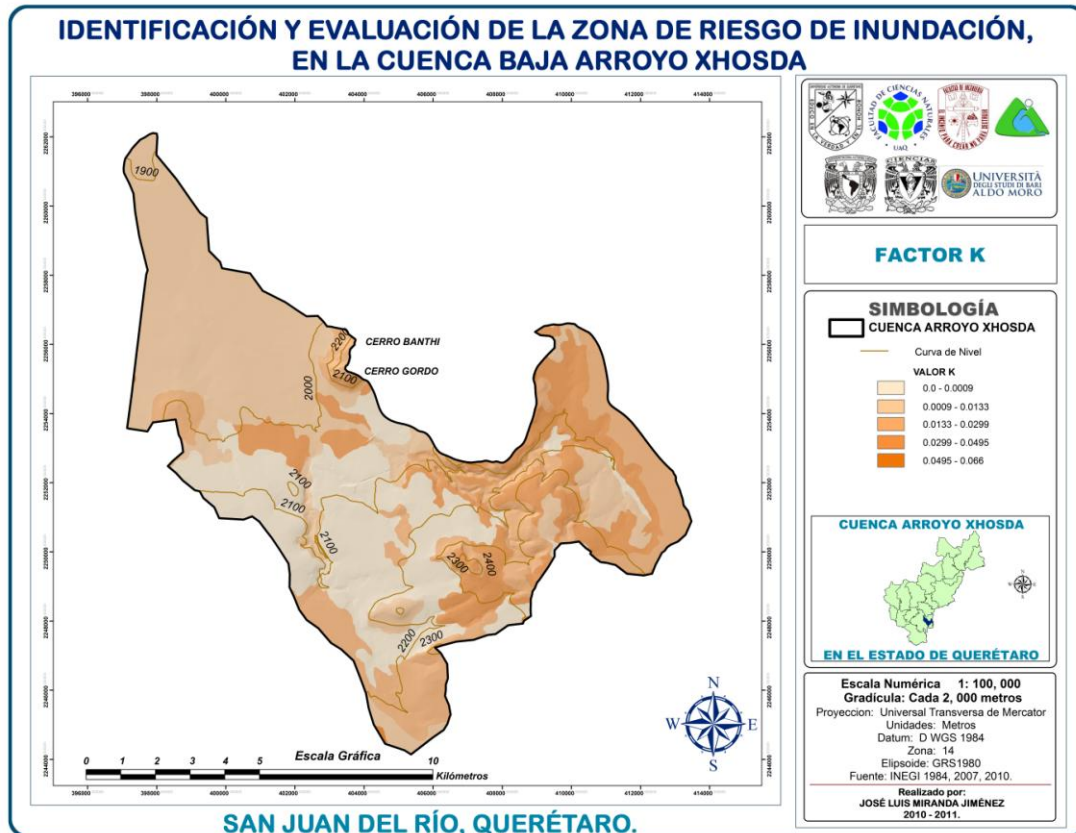


Figura 2.14. Factor K Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.



Tal y como se muestra en el mapa correspondiente a factor K, más del 75% de la superficie, presenta suelos resistentes a la erosión de tipo phaozem y vertisol pélico, cuya textura de suelo es de entre 0.007 y 0.0035, la capa vegetativa predominante es matorral subinerme, pastizal natural y espinoso; condiciones y factores que limitan el proceso erosivo y por lo cual solo se presenta erosión natural.

2.7.3. FACTOR LS

El factor LS, hace referencia a la erosión expresada en factor topográfico, el cual se encuentra relacionado con la longitud (L), que es la distancia de inicio de escurrimiento y hasta el lugar donde finalmente es depositado el material, y a su grado de pendiente (S), lo que influencia considerablemente el proceso erosivo, así como en el riesgo de erosión ó potencial de erosión.

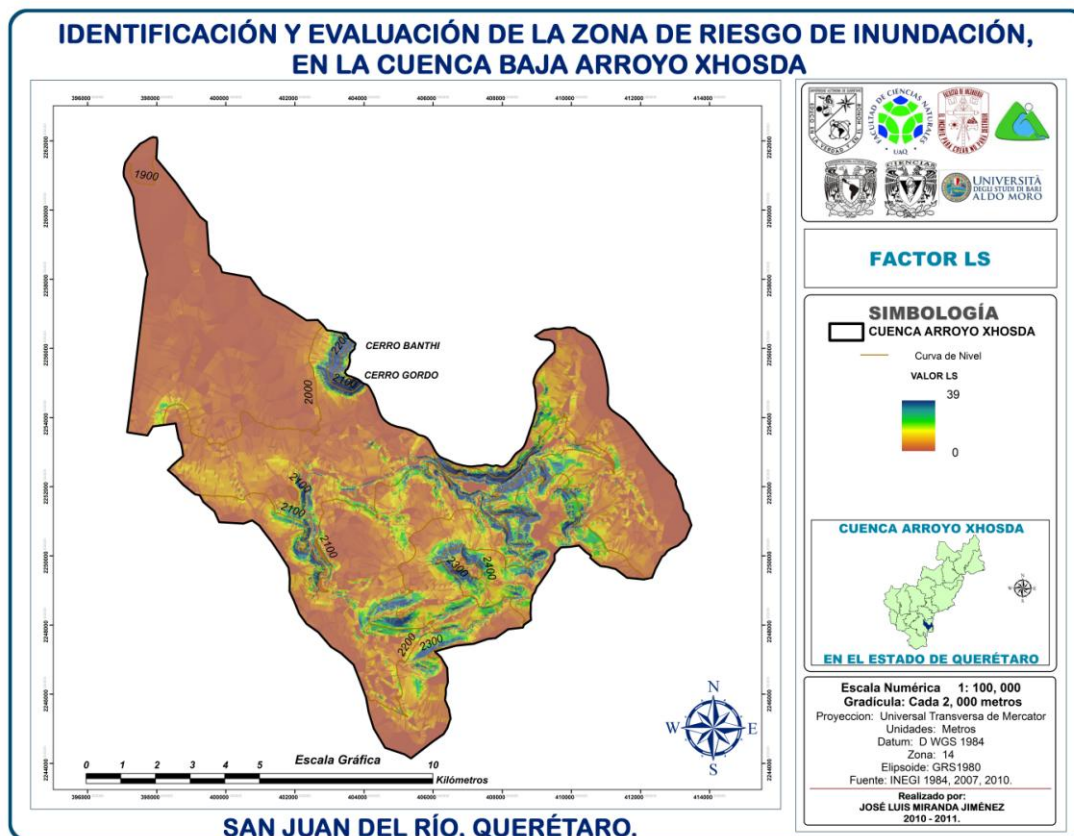


Figura 2.15. Factor LS Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

El que los valores del factor LS (longitud y pendiente) sean bajos, obedece a Cuenca Arroyo Xhosda se presenta en dos partes, la primera y favorable, que es de tipo natural y que se encuentra conformada por sus condiciones y elementos naturales, entre los



que destacan el tipo de vegetación, tipo y textura del suelo y a la descarga fluvial inmediata; la segunda y desfavorable, de tipo urbana, donde el crecimiento urbano y el cambio de uso de suelo desmesurado, ha modificado el ciclo natural de la cuenca, limitando sus escurrimientos y la permeabilidad de los suelos, lo que de alguna forma podría incrementar los procesos erosivos, en años venideros.

2.7.4. FACTOR C

El factor C, se encuentra relacionado con los periodos de lluvia y el tipo de cobertura vegetal predominante, factores que impiden que el suelo se encuentre desnudo y expuesto a los elementos y fenómenos que podrían incrementar los procesos erosivos, como lo puede ser la incidencia directa de las gotas de lluvia, la velocidad de los escurrimientos y la acción eólica, así como uso de suelo, practicas existentes sobre conservación de suelos y rotación de cultivos en suelos agrícolas, cuya finalidad es incrementar la cantidad de materia orgánica.

A continuación se muestran los valores de Factor C propuestos por Figueroa (Figueroa et al. 1991) y adaptados para Querétaro, por la Secretaría de Desarrollo Sustentable (SEDESU 2010).

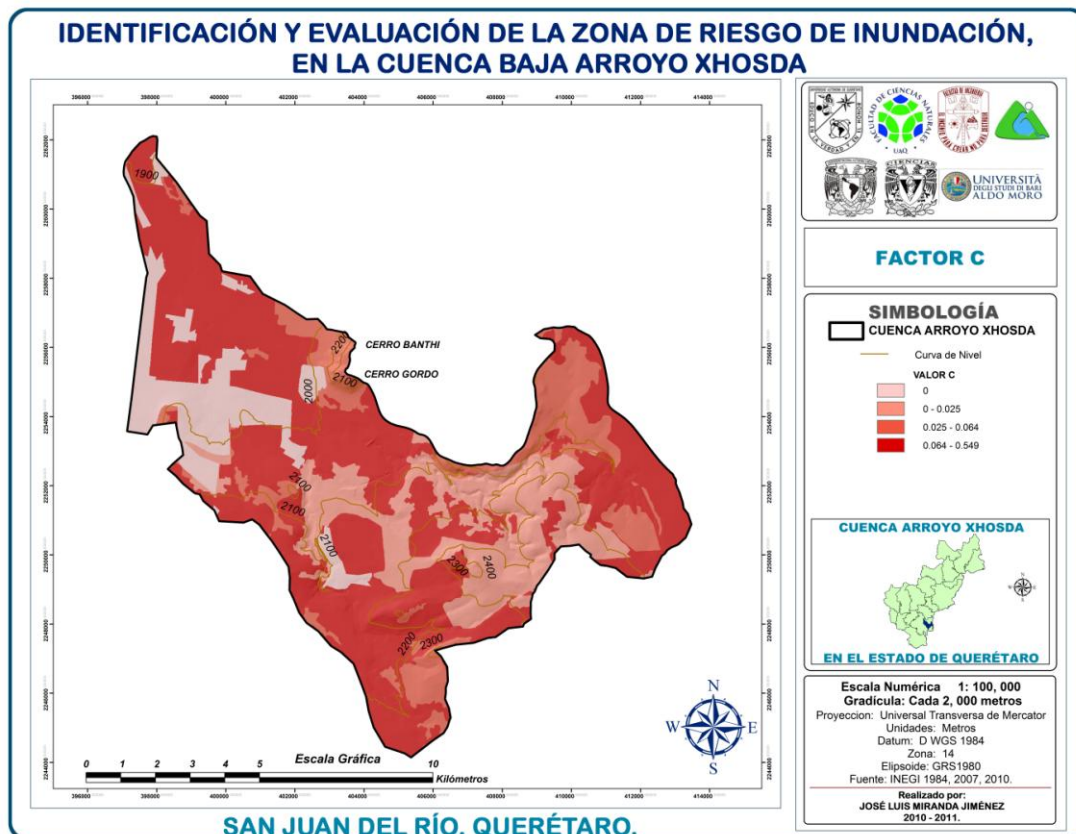


Figura 2.16. Factor C Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.



Los valores de factor C, se encuentran entre 0.051 a 0.549, que indica que suelo se encuentra protegido por la cobertura vegetal, la relación es que a medida que aumenta la cobertura vegetal del suelo el valor de C disminuye, ya que mientras más cercano sean los valores a 0.0, el terreno se encontrará más protegido y presentará un riesgo de erosión menor; y mientras más cercano sea el valor a 1.0, los suelos se encontrarán desprotegidos y más propensos a erosionarse.

Uso de suelo y vegetación	Factor C
Agricultura riego.	0.528
Agricultura temporal	0.528
Bosque de encino	0.044
Bosque de encino - pino perturbado	0.044
Bosque de encino perturbado	0.025
Bosque de pino	0.045
Bosque de pino - encino	0.044
Bosque de pino perturbado	0.025
Bosque de táscate	0.430
Bosque de táscate perturbado	0.430
Bosque mesófilo de montaña	0.110
Bosque mesófilo de montaña perturbado	0.110
Bosque mixto	0.040
Bosque tropical caducifolio	0.315
Bosque tropical caducifolio perturbado	0.325
Bosque tropical perenifolio	0.110
Bosque tropical subperenifolio	0.110
Bosque tropical subperenifolio perturbado	0.110
Chaparral	0.065
Cuerpo de agua	0.000
Matorral crasicaule	0.065
Matorral crasicaule perturbado	0.025
Matorral espinoso	0.065
Matorral espinoso perturbado	0.025
Matorral inerme	0.065
Matorral inerme perturbado	0.025
Matorral micrófilo	0.065
Matorral micrófilo perturbado	0.025
Matorral rosetófilo	0.065
Matorral rosetófilo perturbado	0.025
Matorral subineme	0.065
Matorral subineme perturbado	0.025
Pastizal inducido	0.549
Pastizal natural	0.549
Cauce	0.780
Sin vegetación	1.000
Zona industrial	0.000
Zona urbana	0.000

Cuadro 2.6. Valores de Factor C según uso de suelo y vegetación.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; SEDESU 2009.



2.7.5. EROSIÓN POTENCIAL

La metodología planteada anteriormente, es requerida para obtener la erosión actual, donde se han realizado procedimientos necesarios para la obtención de los siguientes factores: factor R, el cual considera las condiciones climáticas y su precipitación media anual, así como su capacidad para producir erosión.

Para el caso del factor K, menciona que la susceptibilidad de los suelos a erosionarse, está en función de las partículas del suelo, su contenido de materia orgánica, así como la permeabilidad y estructura del suelo, sin embargo también se considera la dirección y cantidad de los escurrimientos, ya que estos contribuyen a moderar y/o aumentar este proceso erosivo de los suelos, y que impactan directamente en el desgaste que sufre el suelo, se considera que la consolidación del suelo, este en función de su textura, dureza y composición de partículas, y que mientras más consolidado se encuentre este, menor será el riesgo de erosión. El factor LS, hace referencia a la erosión expresada en factor topográfico, el cual se encuentra relacionado con la longitud (L), que es la distancia de inicio de escurrimiento y hasta el lugar donde finalmente es depositado el material, y a su grado de pendiente (S), lo que influencia considerablemente el proceso erosivo, así como en el riesgo de erosión ó potencial de erosión.

Por último el factor C, el cual correlaciona los periodos de lluvia y el tipo de cobertura vegetal predominante, este brinda al suelo cobertura e impide se encuentre desnudo y expuesto a los elementos y fenómenos que podrían incrementar los procesos erosivos.

Como resultado, tenemos que el riesgo de erosión o erosión potencial de Cuenca Arroyo Xhosda, es solo erosión natural, ya que los valores corresponden al rango de desgaste de entre 0 a 2.5 toneladas por hectárea por año (ton/ha/año), que corresponde a lo citado por Figueroa (1991), quien afirma que la región del bajío, se encuentra entre este rango de riesgo de erosión.

Por estas razones, podemos afirmar y de acuerdo a los resultados obtenidos, observados en tabla y mapa correspondiente, que Cuenca Arroyo Xhosda solo presenta riesgo de erosión natural, esto por sus condiciones de textura, suelo y vegetación, así como a las buenas prácticas de conservación y uso de suelo.

Erosión Potencial	Ton/ha/año	Área(Km ²)	%
Erosión Natural	0 – 2.5	103.58	100

Cuadro 2.7. Riesgo de erosión Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, con base en procesos SIG.

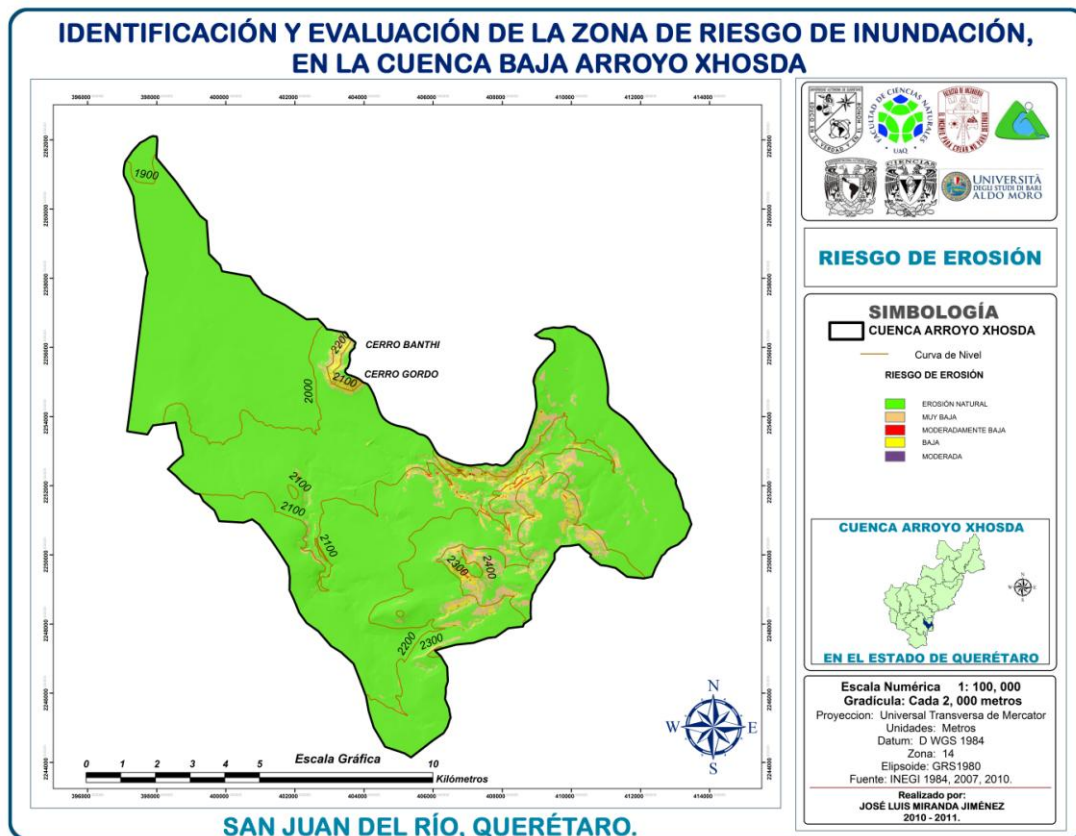


Figura 2.17. Riesgo de erosión Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

2.7.6. EROSIÓN ACTUAL

Para la obtención de erosión actual se correlaciono la erosión potencial con el factor C, considerando los periodos de lluvia y el tipo de cobertura vegetal predominante, como factores que impiden que el suelo se encuentre desnudo y expuesto a los elementos y fenómenos que podrían incrementar los procesos erosivos, entre los que destacan la incidencia directa de las gotas de lluvia, la velocidad de los escurrimientos y la acción eólica.

La pérdida de suelos, se encuentra entre el rango de 0 a 2.5 toneladas por hectárea por año (ton/ha/año), correspondiente a lo citado por Figueroa (1991), quien afirma que la región del bajo presenta este rango de pérdida de suelos, y que como resultado arroja que el grado de erosión actual en Cuenca Arroyo Xhosda, es solo erosión natural.

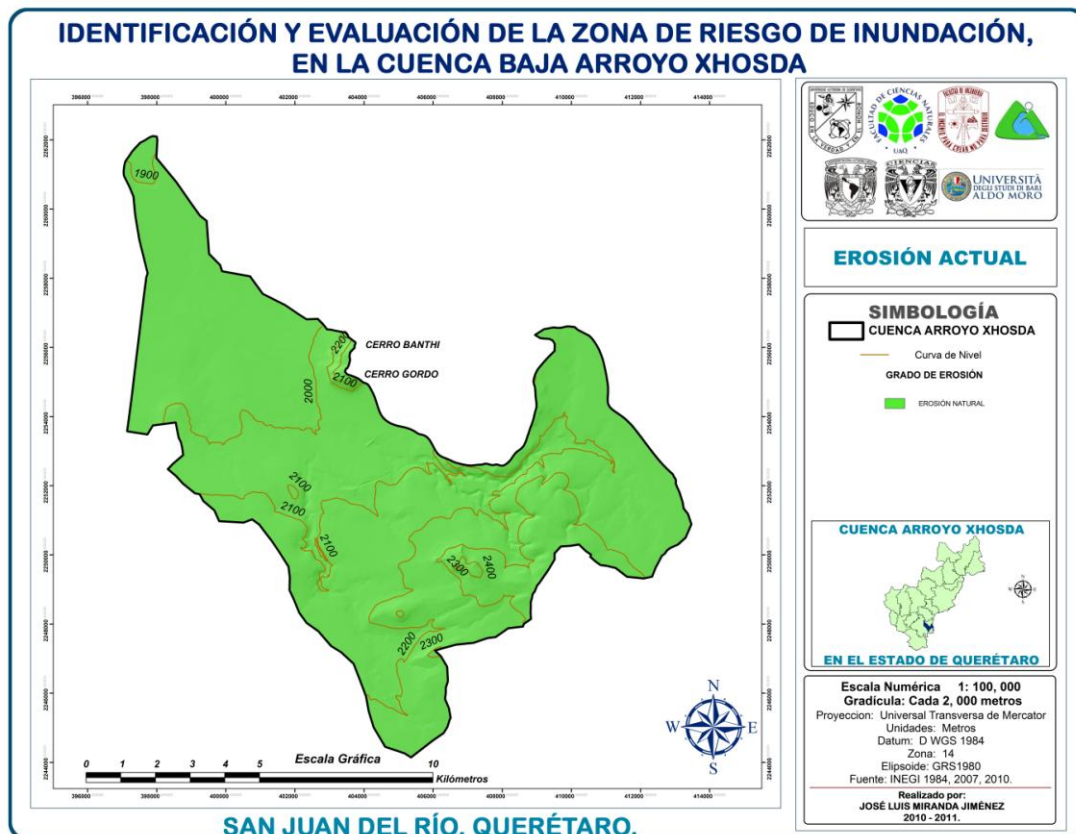


Figura 2.18. Erosión actual Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.



Erosión	Ton/ha/año	Área(Km ²)	%
Erosión Natural	0 – 2.5	108.49	100

Cuadro 2.8. Erosión actual Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

La erosión actual es la medida de la pérdida de suelos que existe en un lugar determinado, en el momento presente y acorde a las actividades y presiones a las que se encuentra sometido el suelo. Los procesos erosivos contribuyen a limitar el funcionamiento y productividad de una cuenca, no obstante en la cuenca del arroyo Xhosda, no aplica, debido a que la textura, suelo, uso de suelo y vegetación contribuyen a que solo se tenga erosión natural, afirmación que se representa a continuación, a través de los procedimientos correspondientes al método RUSLE.

2.7.7. PENDIENTE EN GRADOS

La inclinación de la ladera está asociada principalmente a la composición litológica, a sus condiciones ambientales de vegetación y grado de saturación; existe en la literatura geomorfológica una gran variedad de clasificaciones de pendientes, algunas de estas están asociadas con su aplicación práctica o composición de los materiales. Un ejemplo es la propuesta por la Unión Geomorfológica Internacional que recomienda los siguientes intervalos de pendiente en grados y porcentaje:

Clasificación del ángulo de pendiente para mapas geomorfológicos (Demek, 1972)

Categoría	Ancho de clase	Término de pendiente	Gradiente en %
0 - 2°	2°	Plano (planicie)	3.5
>2° - 5°	3°	Ligeramente inclinado	3.6 – 8.7
>5° - 15°	10°	Fuertemente inclinado	8.7 – 26.8
>15° - 35°	20°	Muy inclinado	26.8 – 70
>35° - 55°	20°	Empinado	70 – 143
>55° - 90°	35°	Vertical	143 - ∞

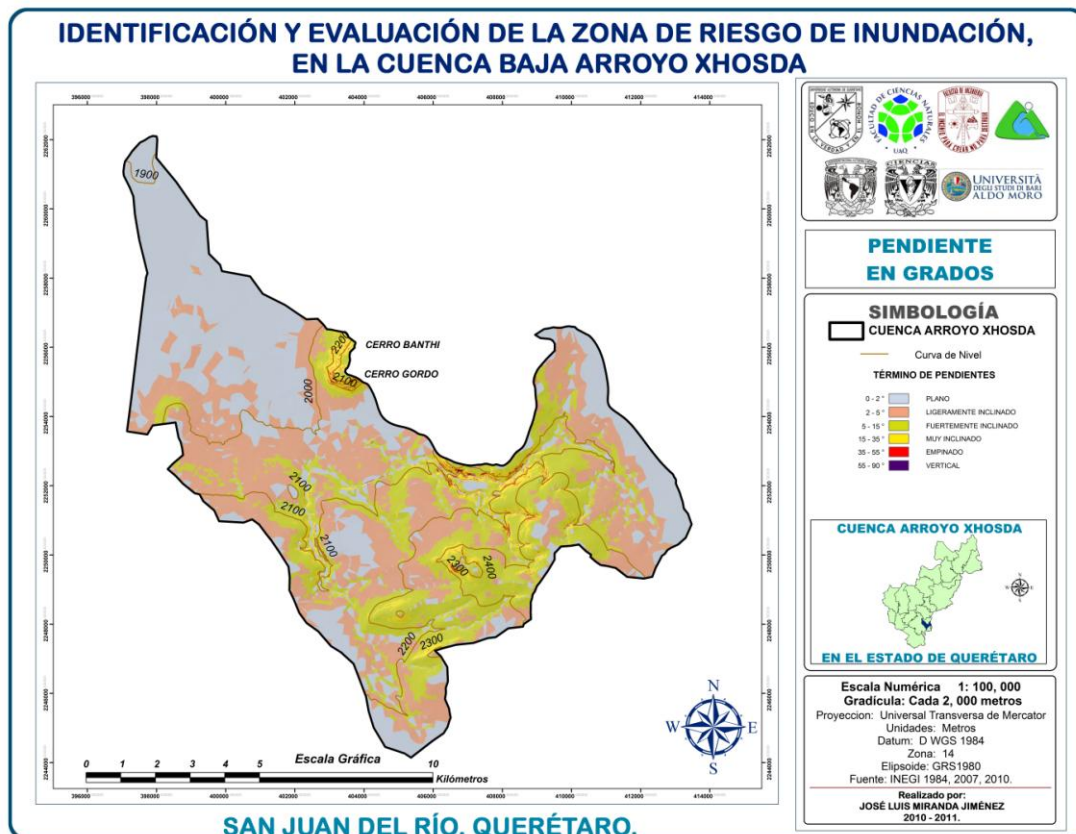


Figura 2.19. Pendiente en grados Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.



Como podemos ver en la figura 2.19, las pendientes más pronunciadas corresponden a los rangos de 5-15° (fuertemente inclinado) y 2-5° (ligeramente inclinado), las cuales se identifican en la parte alta y media de la cuenca; en lo que corresponde al rango de 0-2° (plano) se identifica en la cuenca baja, lo que nos permite afirmar que las pendientes que tenemos en Cuenca Arroyo Xhosda son rangos bajos y no presentan peligrosidad de generar procesos erosivos y deslizamientos.

TÉRMINO DE PENDIENTE	GRADOS	ÁREA	PORCENTAJE
PLANO	0 – 2	39.798	36.68
LIGERAMENTE INCLINADO	2 – 5	36.706	33.83
FUERTEMENTE INCLINADO	5 – 15	26.247	24.19
MUY INCLINADO	15 – 35	5.272	4.86
EMPINADO	35 – 55	0.449	0.41
VERTICAL	55 – 90	0.024	0.02
		108.496	100.00

Cuadro 2.9. Pendiente en grados Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

2.7.8. PENDIENTE EN PORCENTAJE

Para pendiente en porcentaje, se retomó lo establecido por la Unión Geomorfológica Internacional que recomienda los siguientes intervalos de pendiente en porcentaje.

TÉRMINO DE PENDIENTE	PORCENTAJE	ÁREA	PORCENTAJE
PLANO	0 - 3.5	81.904	75.49
LIGERAMENTE INCLINADO	3.6 - 8.7	9.712	8.95
FUERTEMENTE INCLINADO	8.7 - 26.8	10.573	9.74
MUY INCLINADO	26.8 – 70	4.736	4.36
EMPINADO	70 – 143	1.329	1.22
VERTICAL	143 – 500	0.243	0.22
		108.496	100.00

Cuadro 2.10. Pendiente en porcentaje Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

Como podemos ver en la figura 2.20, las pendientes más pronunciadas corresponden a los rangos de 26.8-70% (muy inclinado) y 70-143% (empinado), las cuales se encuentran asociados a los escurrimientos naturales, y se identifican en la parte alta de la cuenca; en lo que corresponde al rango de 0-3.5% (plano) se identifica principalmente en la cuenca baja, lo que nos permite saber que estos rangos de pendiente en porcentaje en Cuenca Arroyo Xhosda son rangos altos, sin embargo la cobertura vegetal ayuda a que la velocidad de los escurrimientos sea moderado, por lo que no se presenta peligrosidad de generar procesos erosivos y deslizamientos..

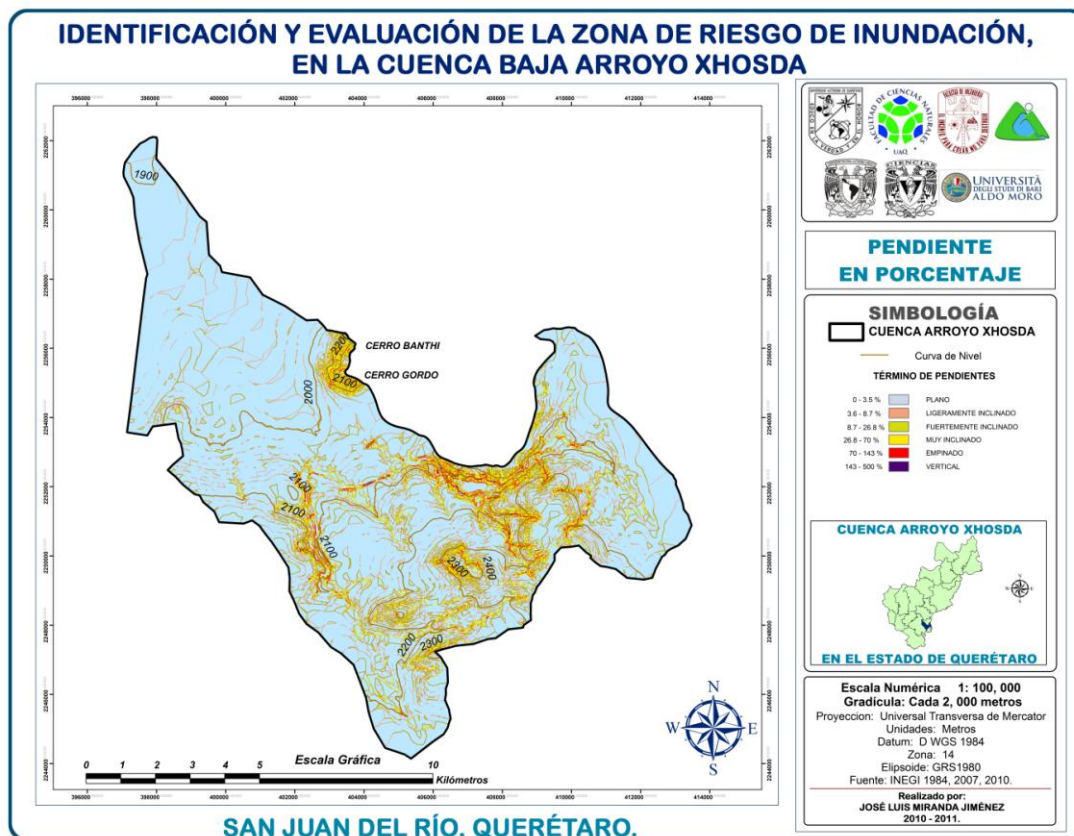


Figura 2.20. Pendiente en porcentaje Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

Estos parámetros es de importancia puesto que a mayor rango de pendiente, la velocidad de los escurrimientos y el poder de arrastre aumenta, lo que puede incrementar el riesgo por acción de la velocidad y el impacto de la esorrentía en la infraestructura urbana y en la cobertura vegetal, lo que incrementaría los procesos erosivos.

2.8. CLIMA

San Juan del Río recibe influencia directa de los vientos alisios provenientes del Este, cuya característica principal es que se encuentran cargados de humedad proveniente del Golfo de México, sin embargo las partes altas de montaña en la Sierra Madre Oriental, impiden que esta humedad logre pasar, lo que de una manera influye en el tipo de climas de la región, los cuales son de tipo BS1.

De acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García, la Cuenca Arroyo Xhosda presenta climas BS1kw(w), correspondientes a subtipos de climas semisecos húmedos templados, cuya temperatura media anual es inferior a 18°C, presencia de abundantes lluvias en verano, verano cálido y sequía intraestival, climas característicos de altitudes comprendidas de entre 1800 y 2200 msnm.

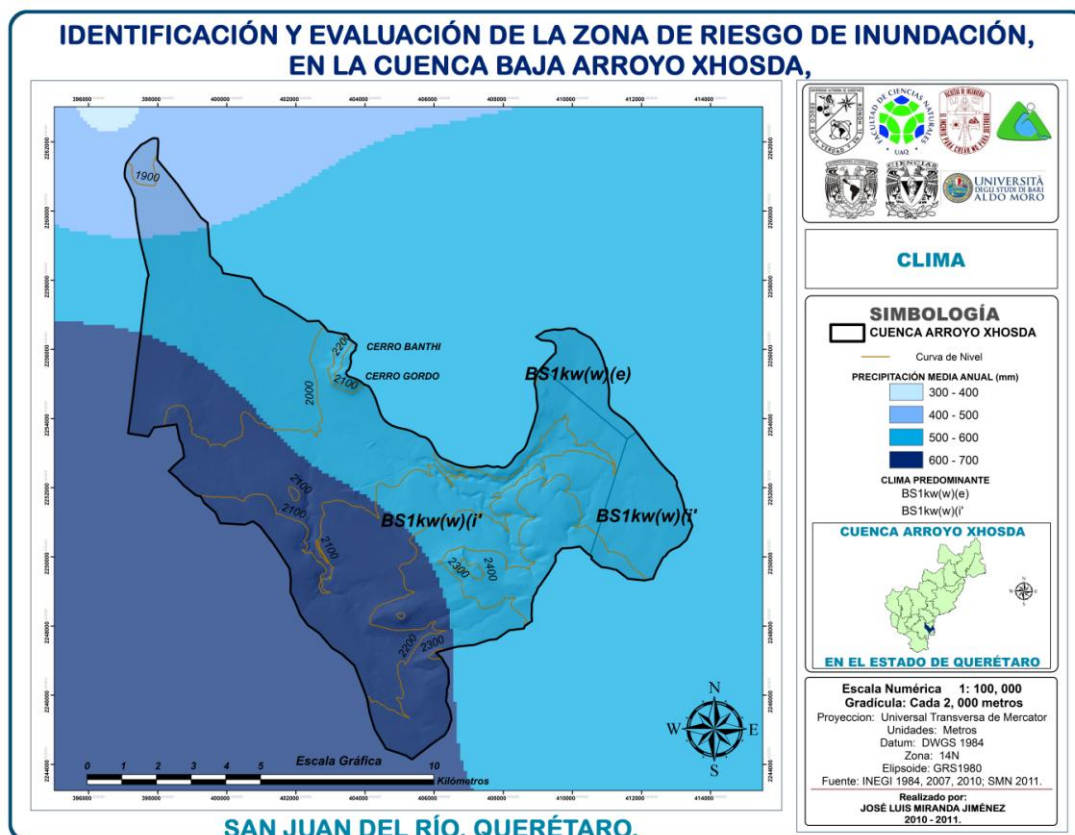


Figura 2.21. Clima Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.



Las heladas se presentan en los meses de diciembre y enero; para octubre, noviembre, febrero y marzo, ocasionalmente se puede presentar días de heladas. La sequía interestival, y granizadas ocurren, por lo general, en los meses más cálidos del año (mayo a agosto). La sequía, es un fenómeno climático normal, se da anualmente en los meses del invierno a la primavera, acentuándose entre abril y prolongándose con frecuencia hasta junio, en el período más caluroso del año.

El promedio de precipitación anual varía entre los 400 a 700 mm y la temperatura promedio anual varía de los 16 °C a los 18 °C, con la menor temperatura en las partes altas y la mayor en la parte baja de la cuenca.

De acuerdo con la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional SMN, se tiene influencia directa de las 10 estaciones meteorológicas más cercanas a la cuenca, que contienen registros históricos de temperatura y precipitación para 24 años, correspondientes de 1970 a 200; de las cuales siete pertenecientes al Estado de Querétaro y tres al Estado de Hidalgo, las cuales se muestran en la tabla siguiente.

ESTADO	MUNICIPIO	ESTACIÓN	CLAVE	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD
QUERÉTARO	SAN JUAN DEL RÍO	LA LLAVE	22042	396568.348	2263221.85	1910
QUERÉTARO	SAN JUAN DEL RÍO	PALMILLAS	22030	402541.8084	2248706.821	1920
QUERÉTARO	TEQUISQUIAPAN	PRESA CENTENARIO	22025	406130.6927	2268577.436	1912
QUERÉTARO	SAN JUAN DEL RÍO	PRESA CONSTITUCIÓN	22032	388103.861	2258263.819	1925
QUERÉTARO	TEQUISQUIAPAN	PRESA PASO DE TABLAS	22031	412491.3528	2271925.297	1880
QUERÉTARO	SAN JUAN DEL RÍO	SAN JUAN DEL RÍO	22022	395783.4203	2253265.685	1945
QUERÉTARO	AMEALCO DE BONFIL	SAN PABLO	22033	395793.5355	2226058.057	2400
HIDALGO	CHAPANTONGO	CHAPANTONGO	13064	439027.1024	2233783.759	2100
HIDALGO	HUICHAPAN	HUICHAPAN	13012	432252.3933	2252775.747	2200
HIDALGO	HUICHAPAN	PRESA MADERO	13083	432427.3868	2230795.691	2370

Cuadro 2.11. Estaciones meteorológicas Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

La siguiente imagen muestra las estaciones meteorológicas empleadas para la identificación del clima, los datos históricos también se emplean para la realización del balance hídrico.

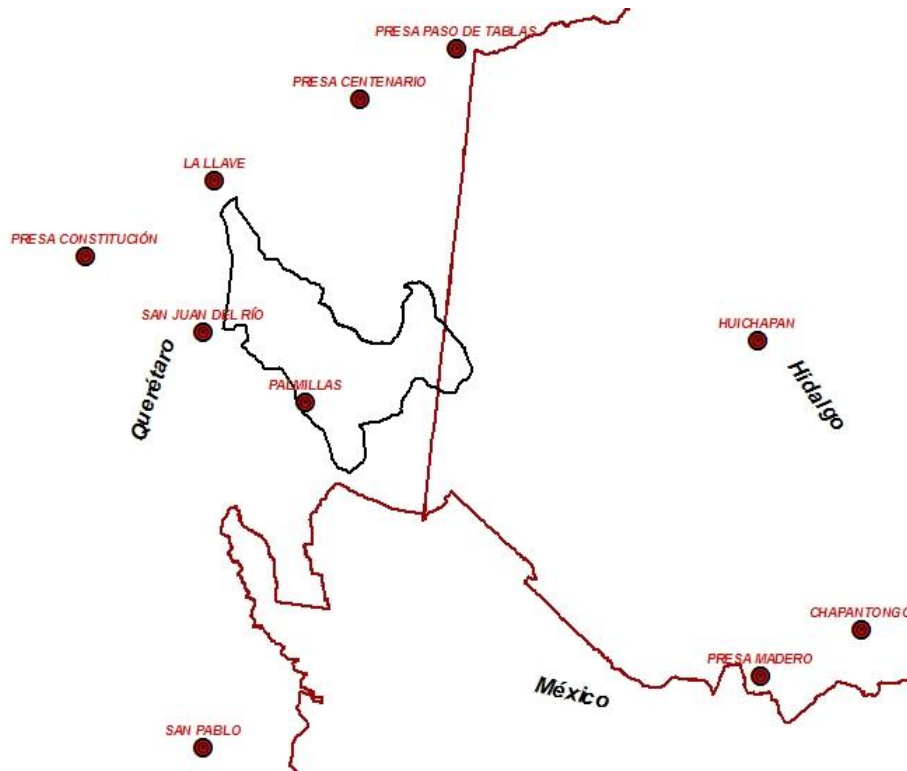


Figura 2.22. Estaciones meteorológicas Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

2.8.1. CLIMOGRAMAS

Un climograma es un gráfico de doble entrada en el que se presentan resumidos los valores temperatura y precipitación que han sido recogidos en una estación meteorológica. De este modo, se muestran graficados los datos medios de cada mes del año, tomando en cuenta la precipitación y la temperatura media a lo largo del período de tiempo durante los años que han sido analizados.

Si observamos la curva de temperatura en el climograma de Estación San Juan del Río, Querétaro, podemos en primer lugar, distinguir claramente el verano del invierno, así como las temperaturas que oscilan entre los 14.0 y los 20.4 °C, por lo que podemos decir que corresponden a un clima semiseco húmedo. A continuación se presentan los climogramas para cada una de las estaciones:

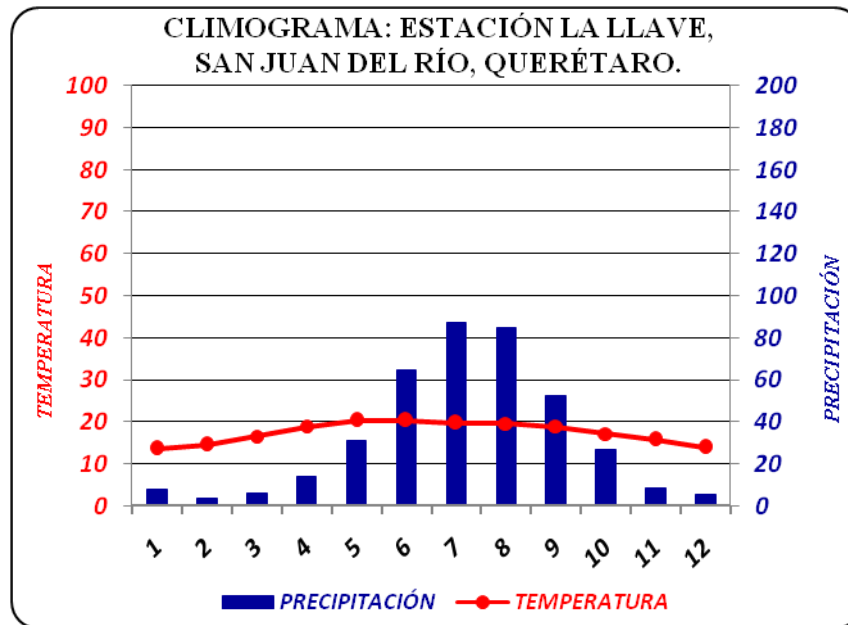


Figura 2.23. Climograma Estación La Llave, San Juan del Río, Querétaro.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

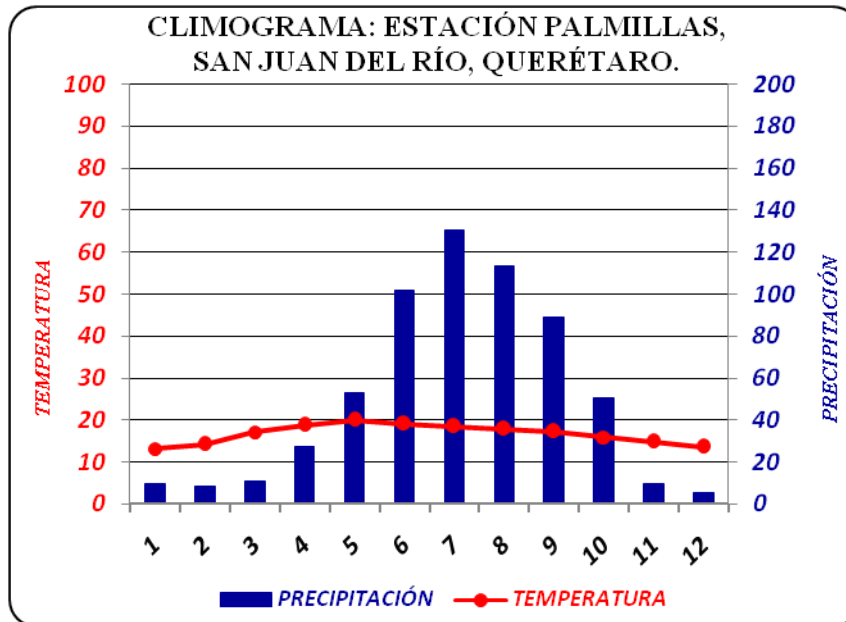


Figura 2.24. Climograma Estación Palmillas, San Juan del Río, Querétaro.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

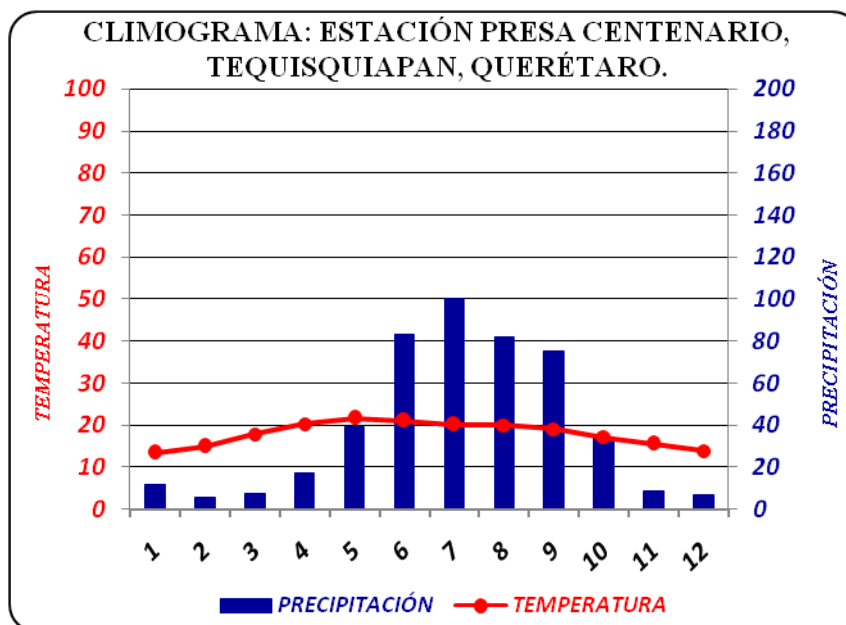


Figura 2.25. Climograma Estación Presa Centenario, Tequisquiapan, Querétaro.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

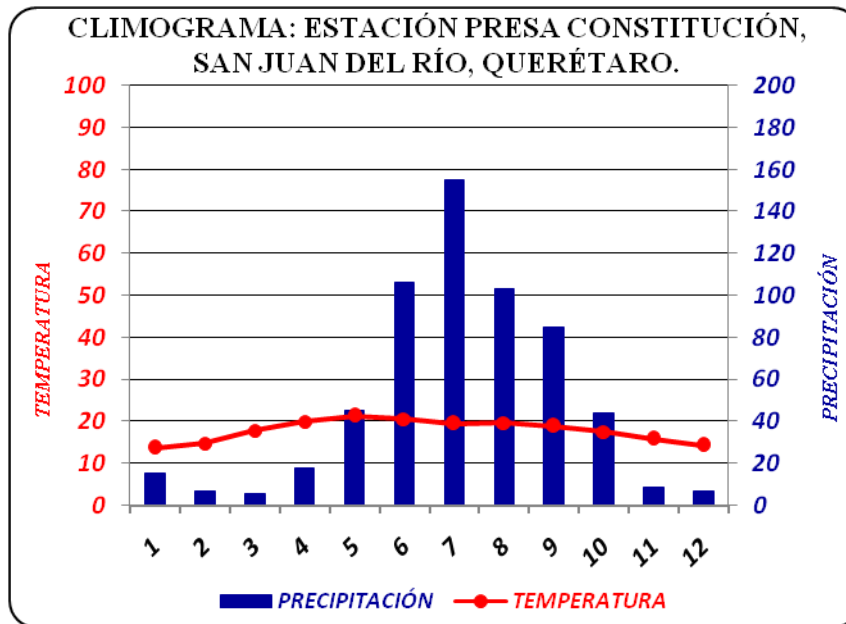


Figura 2.26. Climograma Estación Presa Constitución, San Juan del Río, Querétaro.
Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

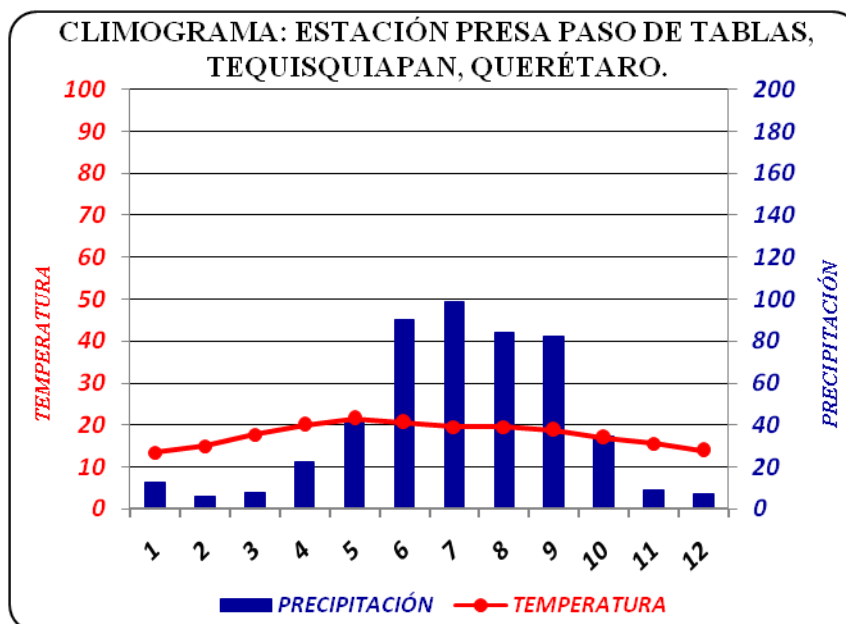


Figura 2.27. Climograma Estación Presa Paso de Tablas, Tequisquiapan, Querétaro.
Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

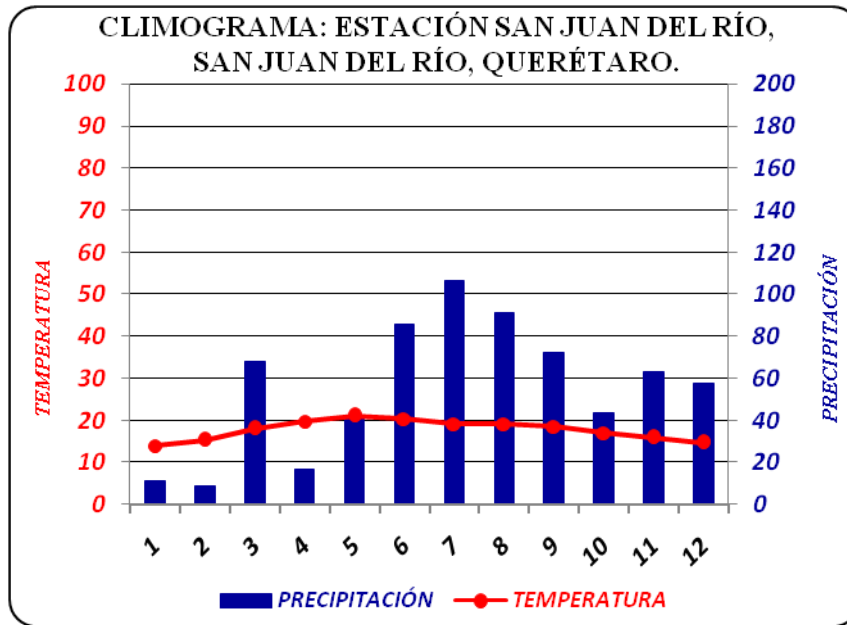


Figura 2.28. Climograma Estación San Juan del Río, San Juan del Río, Querétaro.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

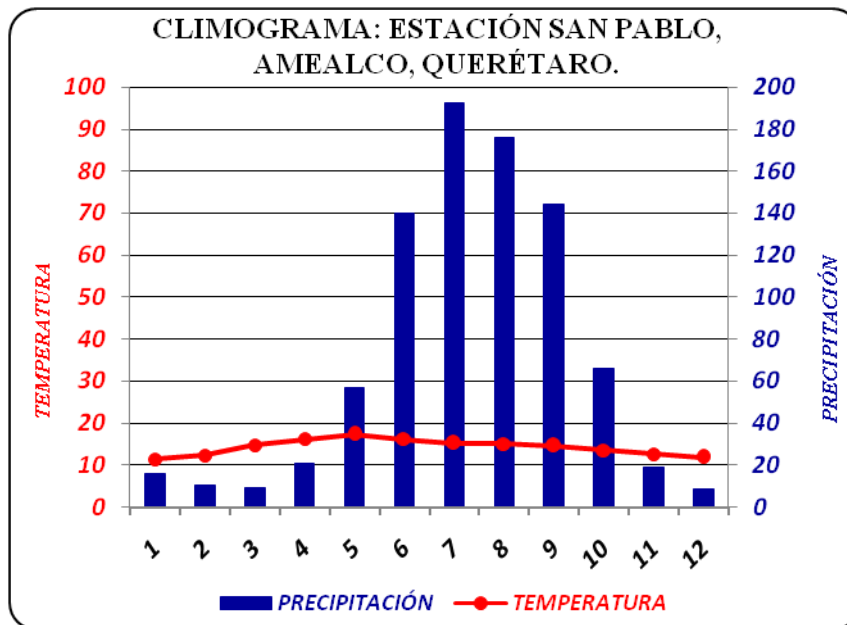


Figura 2.29. Climograma Estación San Pablo, Amealco, Querétaro.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

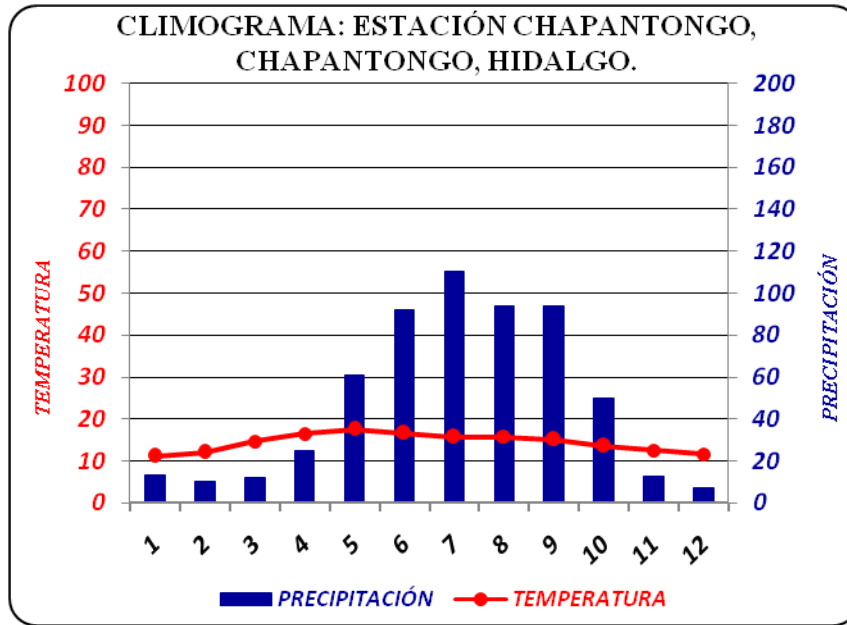


Figura 2.30. Climograma Estación Chapantongo, Chapantongo, Hidalgo.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

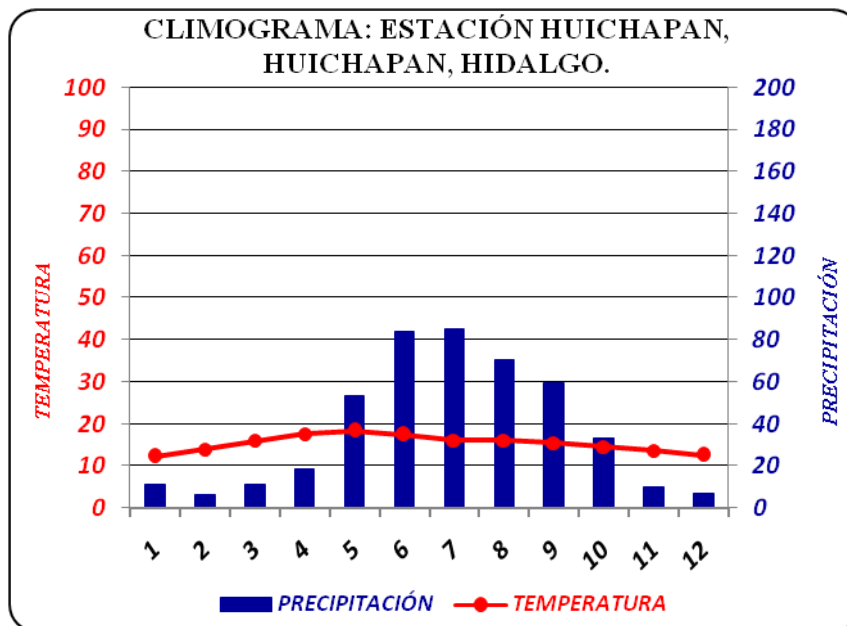


Figura 2.31. Climograma Estación Huichapan, Huichapan, Hidalgo.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

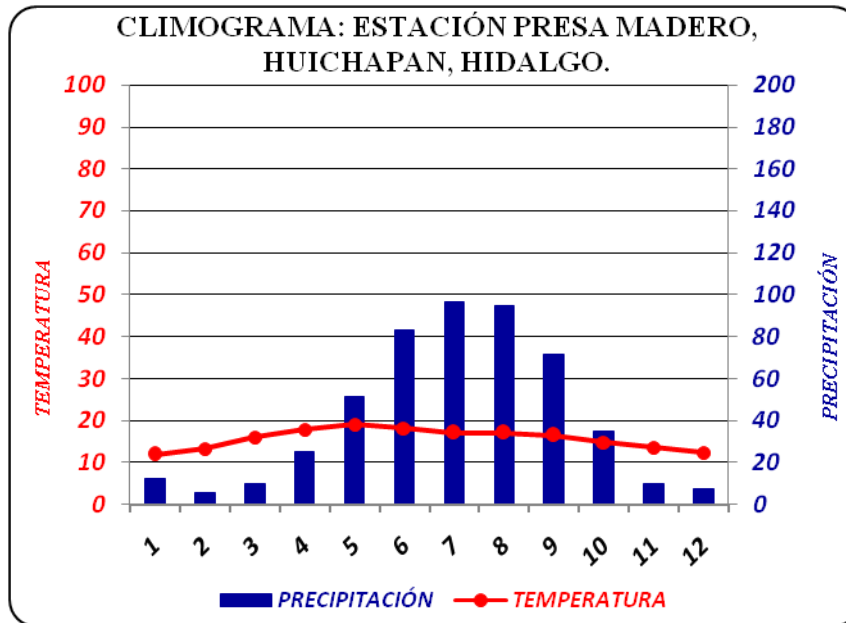


Figura 2.32. Climograma Estación Presa Madero, Huichapan, Hidalgo.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

Los climogramas también nos brinda información sobre la amplitud térmica anual, la cual incrementa al cuando aumenta la latitud y la distancia del mar (continentalidad), en tanto que disminuye con la altura, con sólo ubicar Sn Juan del Río en un mapa, podemos comprobar que su amplitud térmica anual se debe a su continentalidad, ya que dicha ciudad está lejos del efecto moderador del mar.

Con respecto a las precipitaciones, notamos que no son muy abundantes, las cuales oscilan entre 8.8 y 106.6 mm, y que se concentran en los meses de junio a septiembre, los cuales corresponden al verano, destacando junio como el más lluvioso.



2.9. BALANCE HÍDRICO

Para el conocimiento general de las características hídricas de una cuenca se deben añadir algunos valores promedios de las variables hidrometeorológicas de la región circundante de la cuenca, entre las variables debe considerarse precipitación, temperatura, evaporación, humedad del suelo, escurrimiento e infiltración.

Para estas variables hidrológicas se deben dar valores promedios estimados a nivel mensual y/o anual, correspondientes a los registros históricos.

La cuantificación de las necesidades de humedad del suelo en un lugar o área determinada se le conoce como balance hídrico, este permite establecer la disponibilidad real de agua en un espacio, se puede determinar mediante el cálculo de la entrada, salida, y los cambios de almacenamiento de agua en la superficie de la Tierra. La entrada principal de agua es de la precipitación y la salida es la evapotranspiración.

La cuenca hidrográfica, es una zona de la superficie terrestre en donde las gotas de lluvia caen sobre ella y tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida; esta se convierte en la unidad básica de estudio del ciclo hidrológico (Aparicio 2008).

En la cuenca, es posible obtener un balance hídrico: entendido este como el equilibrio entre la entrada (precipitación y/o deshielo) y salida (evapotranspiración, recarga de acuíferos y escurrimientos superficiales), de agua en un tiempo determinado (Dunne, T. & L. B. Leopold, 1978).

El geógrafo Thornthwaite (1899-1963) fue pionero en el planteamiento del balance de agua para el análisis de los recursos hídricos. El y su equipo de trabajo utilizaron la metodología de balance hídrico para evaluar las necesidades de agua para riego y otros temas relacionados con el agua.



El balance hídrico se relaciona con la precipitación, evapotranspiración potencial y almacenamiento total (en función de la textura y profundidad del suelo). A partir de esta información se obtiene la magnitud de excesos y deficiencias. El agua neta se ha obtenida partir de la resta algebraica de estos dos valores, y su resultado representa la disponibilidad hídrica real del suelo en promedio durante el año.

La metodología del método directo presentado por Dunne y Leopold en 1978; indica el cálculo del balance hídrico de una cuenca, lo cual se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$P = I + ETA + Q + SM + GWS + GWS$$

Donde:

P= Precipitación

I= Infiltración

ETA= Evapotranspiración actual

Q= Escurrimiento

SM= Cambio en la humedad del suelo

GWS= Cambio en el almacenamiento de agua subterránea

GWR= Escurrimiento del agua subterránea

Para el caso de estudio, no se cuenta con los parámetros correspondientes a aguas subterráneas, por lo que no serán considerados.



2.9.1. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL

La precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre y sus mediciones forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua (Aparicio 2008). Esta se define como la caída de partículas de agua, sean estas líquidas o sólidas, desde la atmósfera hacia la superficie terrestre.

En forma de lluvia, nieve, aguanieve, granizo, etc., constituye el suministro principal de agua a la superficie; y en algunos lugares muy secos, el agua puede ser suministrada por el rocío y la neblina.

ESTACIÓN	PE	PF	PM	PA	PM	PJ	PJ	PA	PS	PO	PN	PD	ANUAL
LA LLAVE	8.2	3.4	5.9	14.1	31.1	65	87.6	84.6	52.7	27.1	8.3	5.5	393.5
PALMILLAS	9.8	8.3	10.5	27.1	53.1	101.9	130.3	113.3	89.2	50.6	9.4	5	608.5
PRESA CENTENARIO	11.8	5.6	7.5	17.1	39.5	83.1	100.2	82.3	75.4	34.3	8.5	7.2	472.5
PRESA CONSTITUCIÓN	15.2	6.6	5.6	17.8	45	106.1	155.4	103.2	84.7	44	8.3	6.9	598.8
PRESA PASO DE TABLAS	12.7	6	7.9	22.6	42.5	90	98.5	83.9	82.5	34.9	9.2	7	497.7
SAN JUAN DEL RÍO	11	8.8	67.8	16.6	41.9	85.7	106.6	91.1	72.6	43.7	63	57.7	666.5
SAN PABLO	15.7	10.5	9	21	57	140.1	192.5	175.8	143.9	66.3	19.1	8.7	859.6
CHAPANTONGO	13.5	10.5	12.3	25.1	61.1	92.1	110.1	93.9	94.2	50.2	12.5	7.4	582.9
HUICHAPAN	11.1	6.3	11.5	18.4	53.3	83.8	84.9	70.5	59.3	33.4	10.3	7.3	450.1
PRESA MADERO	12.2	5.3	9.9	25.1	51.4	83.3	96.4	94.6	71.8	34.8	10.1	7.2	502.1

Cuadro 2.12. Precipitación media anual Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

Los datos de precipitación fueron obtenidos de la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional SMN, para cada mes, los datos se interpolaron utilizando el método de la distancia inversa ponderada IDW, el cual da más peso a los valores cercanos a un punto y asume que las predicciones son una combinación lineal de los datos.

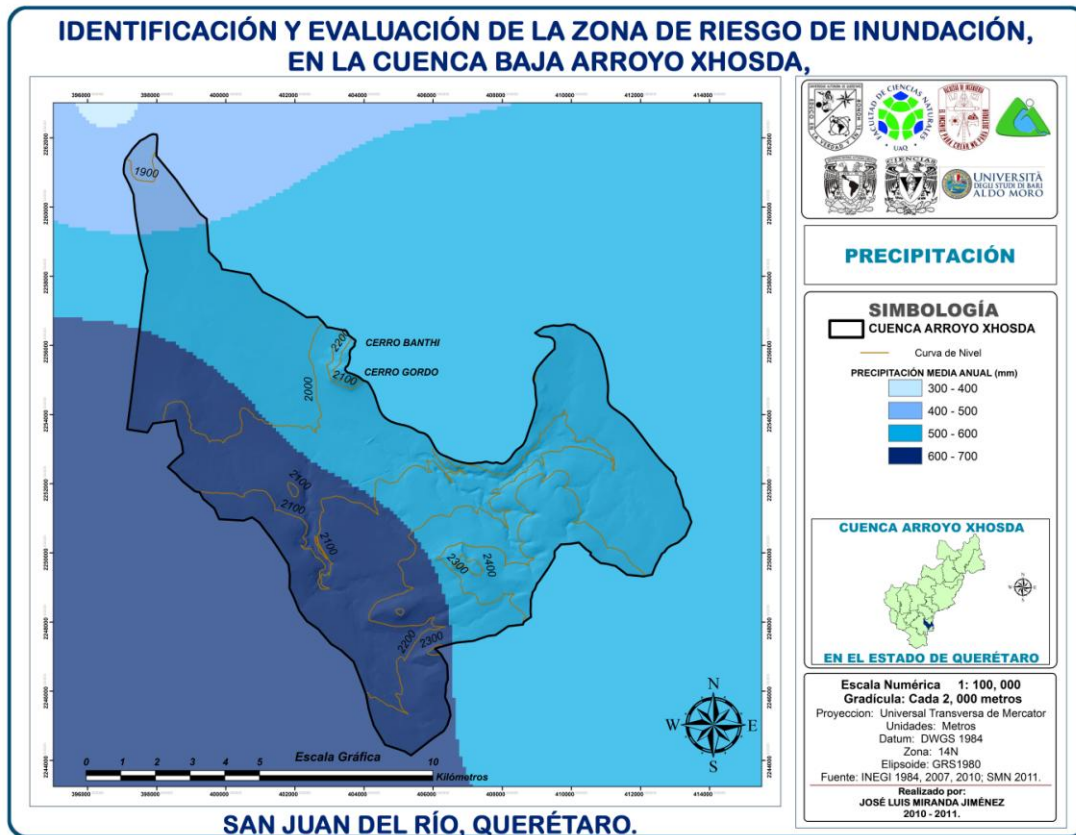


Figura 2.33. Precipitación media anual Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.



2.9.2. TEMPERATURA MEDIA ANUAL

Se define como el elemento climático que indica el grado de calor o frío de la atmósfera (SMN 2010). La Temperatura Media Anual en Cuenca Arroyo Xhosda, oscila entre los 18 °C en el norte (zona natural) y 16 °C en el sur (área urbana) como se aprecia en el mapa No 3456. Los valores medios del mes de enero se establecen en 13 °C y los medios del mes de julio en 18 °C.

Las temperaturas mínimas absolutas registradas en el área alcanzan los -1.9 °C y las máximas absolutas los 36.0 °C, por lo cual la amplitud térmica de la región es de 37.9 °C; si bien los valores absolutos más bajos del área se registran entre diciembre y enero, la temperatura máxima absoluta de cada mes supera los 30 °C.

ESTACIÓN	TE	TF	TM	TA	TM	TJ	TJ	TA	TS	TO	TN	TD	ANUAL
LA LLAVE	13.7	14.6	16.6	18.9	20.4	20.3	19.8	19.6	18.9	17.2	15.8	14	17.5
PALMILLAS	13.1	14.2	17.1	18.8	19.9	19	18.4	17.8	17.2	15.8	14.8	13.6	16.6
PRESA CENTENARIO	13.5	15	17.9	20.3	21.7	21.1	20.2	20	19.1	17.2	15.6	14	18
PRESA CONSTITUCIÓN	13.7	14.8	17.8	19.9	21.3	20.6	19.5	19.6	18.9	17.5	15.8	14.3	17.8
PRESA PASO DE TABLAS	13.4	15	17.7	20	21.5	20.6	19.6	19.6	18.8	16.9	15.6	13.9	17.7
SAN JUAN DEL RÍO	14	15.3	18	19.8	21.1	20.4	19.2	19.1	18.5	17	15.9	14.7	17.8
SAN PABLO	11.4	12.3	14.7	16.2	17.4	16.2	15.2	15.1	14.6	13.6	12.7	11.8	14.3
CHAPANTONGO	11.2	12.1	14.7	16.5	17.5	16.6	15.7	15.8	15.1	13.6	12.6	11.6	14.4
HUICHAPAN	12.3	13.9	16	17.6	18.4	17.4	16.1	16.1	15.5	14.5	13.7	12.6	15.3
PRESA MADERO	11.9	13.2	16	17.9	19	18.2	17.1	17.1	16.4	14.8	13.6	12.3	15.6

Cuadro 2.13. Temperatura media anual Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

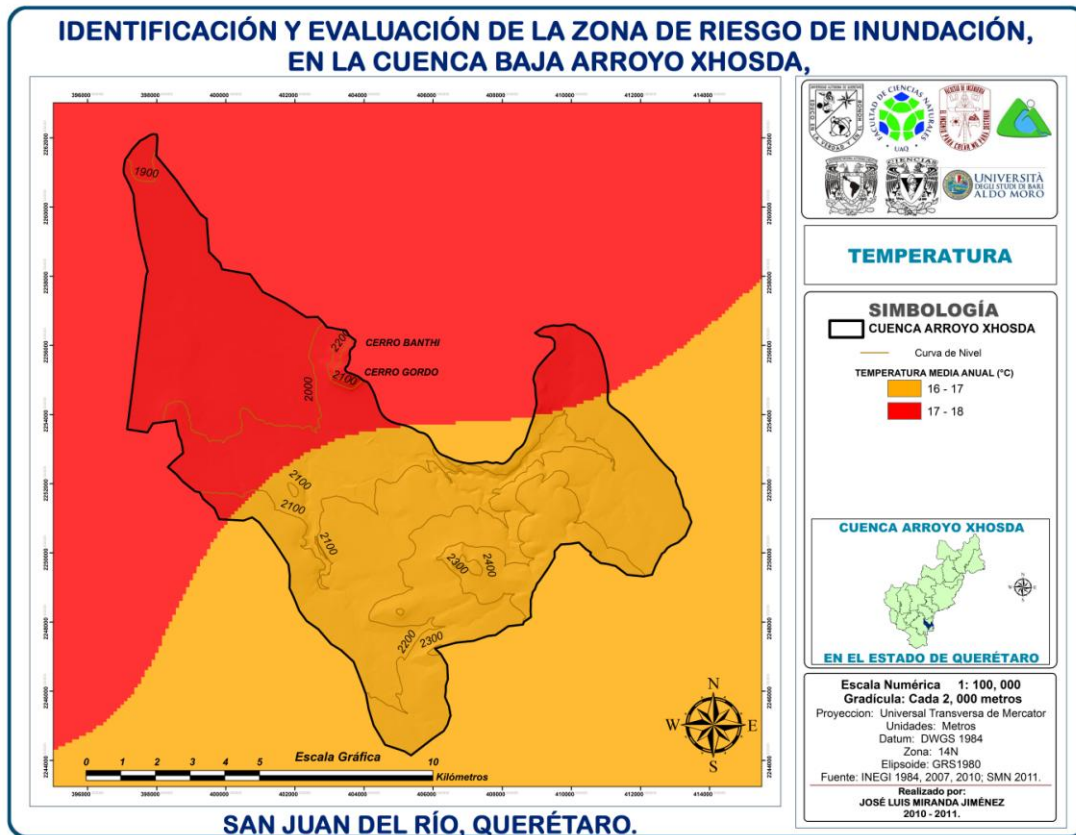


Figura 2.34. Temperatura media anual Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

2.9.3. EVAPORACIÓN ANUAL

La evaporación es el proceso por el cual el agua pasa del estado líquido al estado gaseoso y se transfiere a la atmósfera (Aparicio, 2008).

ESTACIÓN	EE	EF	EM	EA	EM	EJ	EJ	EA	ES	EO	EN	ED	PROMEDIO	ANUAL
LA LLAVE	126.3	132.5	174	177.8	191.2	183.4	152.1	157.3	144.2	133.6	129.5	126.5	152.4	1828.4
PALMILLAS	102	124.5	186.3	190.9	163.8	144.3	141.2	127.5	90.1	99.2	94.5	100.5	130.4	1564.8
PRESA CENTENARIO	140.6	171.3	244.8	252.8	250.9	203.7	185.9	181.6	158.4	148	130.5	126.3	182.9	2194.8
PRESA CONSTITUCIÓN	123.8	149.1	229.6	239.1	236.3	194	165.9	163.4	143.9	138.3	122.3	110.3	168.0	2016.0
PRESA PASO DE TABLAS	118.3	143.8	209.6	220.2	224.8	193.7	188.9	184.3	153.6	132.7	116.4	105.2	166.0	1991.5
SAN JUAN DEL RÍO	118.6	143.8	217.2	214.1	211.4	183.2	161.8	158.3	139.8	126.9	114.8	108.8	158.2	1898.7
SAN PABLO	123.9	146.3	210.8	226.8	217.8	171.1	149.5	142	125.6	122.1	120	113.5	155.8	1869.4
CHAPANTONGO	100.4	115.1	164	165.2	170.8	141.8	132.8	131.1	113.5	105.4	93.1	90.6	127.0	1523.8
HUICHAPAN	60.2	75.8	91.1	107.3	131.2	121.2	105.2	93.4	87.6	72.6	68.3	59.5	89.5	1073.4
PRESA MADERO	117.9	142.7	211.5	220.8	220.1	177.4	158.2	151.4	129.1	121.7	114.7	106.6	156.0	1872.1

Cuadro 2.14. Evaporación anual Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

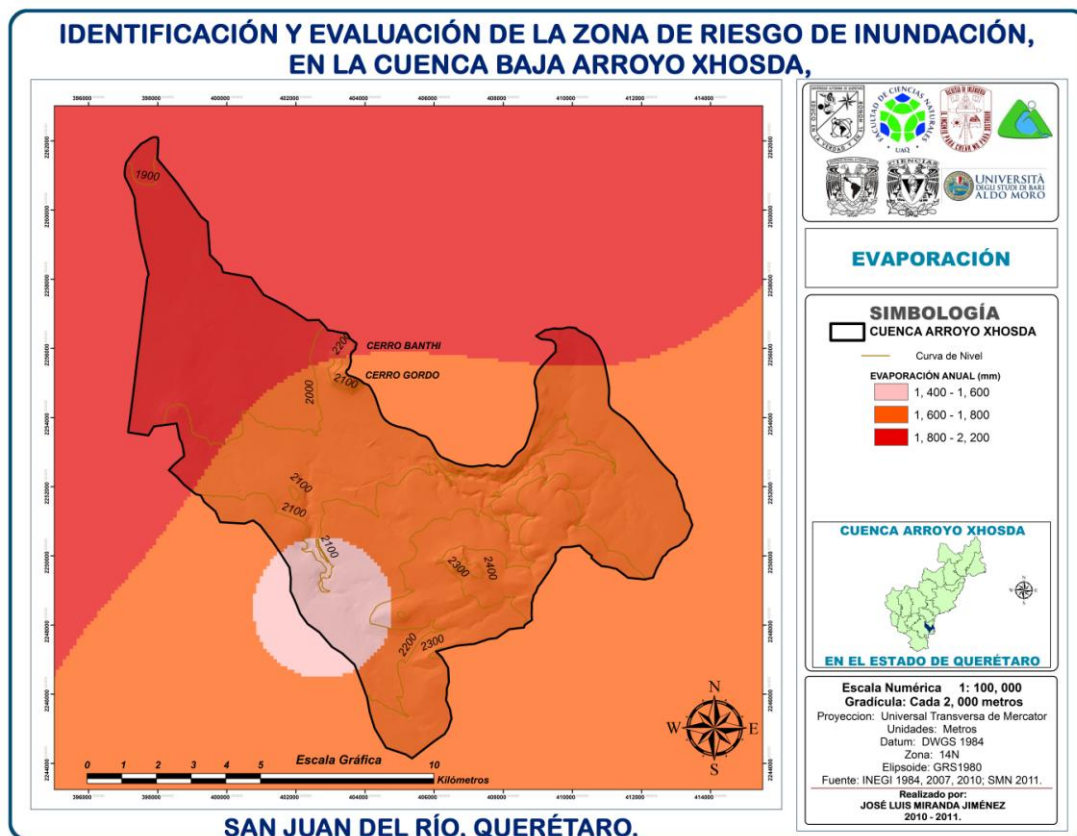


Figura 2.35. Evaporación anual Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.



La evaporación en la cuenca es inmediata, esta refleja la cantidad de agua y humedad que se transfiere a la atmosfera por efecto del calor emitido a la cobertura vegetal y a los cuerpos de agua, sin embargo en la cuenca baja la evaporación es mucho más rápida, ya que esta área corresponde la zona urbana, carente de cobertura vegetal y la infraestructura impide la infiltración del liquido e incrementa la evaporación.

2.9.4. EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evaporación es el proceso por el cual el agua pasa del estado líquido al estado gaseoso y se transfiere a la atmósfera; la transpiración es el agua en forma de vapor que despiden las hojas de las plantas; ahora, la evapotranspiración es la combinación de ambas (Aparicio, 2008).

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial ETP, se utilizó el método de Thornthwaite y Mather de 1957; de manera que primeramente se obtienen los datos de temperatura mensual del Servicio Meteorológico Nacional, SMN, y posteriormente la temperatura mensual es interpolada en un Sistema de Información Geográfica SIG, mediante el método de la distancia inversa ponderada IDW.

Para iniciar, es necesario calcular el índice de calor mensual (i) a partir de los valores interpolados de temperatura (t).

$$i = \left[\frac{t}{5} \right]^{1.514}$$

Obtenidos los índices de calor mensual, se calcula el índice de calor anual (I) sumando los datos de índice de calor mensual.

$$I = \sum i$$



Con la obtención del índice de calor anual, es posible obtener la ETP mediante la siguiente ecuación:

$$ETP \text{ sin corregir} = 16 * \left[\frac{10 * t}{I} \right]^a$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial

t = temperatura mensual

I = índice de calor anual

$$a = 675 * 10^{-9} - 13 * 10^{-7} * I + 1792 * 10^{-5} * I + 0.49239$$

Finalmente se obtiene la ETP corregida empleando la ecuación:

$$ETP = ETP \text{ sin corregir} * \frac{N}{12} * \frac{d}{30}$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial

N = Número de horas sol dependiendo del mes y la latitud

d = Número de días del mes

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	10.9	11.3	11.9	12.5	12.9	13.2	13.1	12.7	12.1	11.5	11	10.8
d	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31

Cuadro 2.15. Días de sol para los 20° de Latitud Norte.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

ESTACIÓN	EE	EF	EM	EA	EM	EJ	EJ	EA	ES	EO	EN	ED	PROMEDIO	ANUAL
LA LLAVE	39	42	60	77	94	92	90	86	74	62	49	40	67.1	804.0
PALLMILLAS	39	43	66	79	92	85	82	75	66	56	46	41	64.2	770.0
PRESA CENTENARIO	36	43	67	86	103	97	91	87	74	60	46	38	69.0	829.0
PRESA CONSTITUCIÓN	38	42	67	83	100	93	87	85	73	62	48	40	68.2	819.0
PRESA PASO DE TABLAS	37	44	66	84	102	94	88	85	73	59	47	39	68.2	816.0
SAN JUAN DEL RÍO	40	45	68	82	99	92	84	81	71	59	49	43	67.8	813.0
SAN PABLO	38	41	60	70	83	74	69	66	58	52	44	40	57.9	695.0
CHAPANTONGO	37	40	59	71	83	76	72	70	61	51	43	38	58.4	700.0
HUICHAPAN	39	46	64	75	86	78	71	69	60	53	45	40	60.5	725.0
PRESA MADERO	36	41	63	76	89	82	77	74	64	54	43	38	61.4	737.0

Cuadro 2.16. Evapotranspiración potencial Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

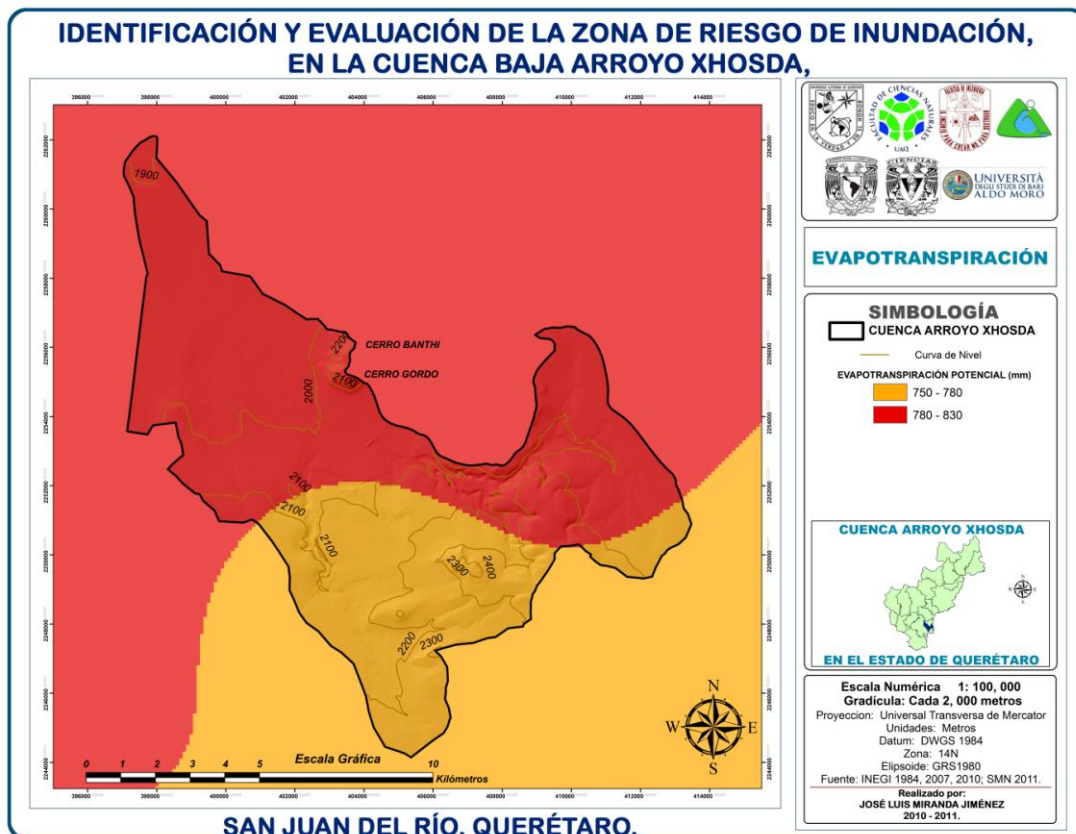


Figura 2.36. Evapotranspiración potencial Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

La evapotranspiración en la cuenca es inmediata, esta refleja la cantidad de agua y humedad que se transfiere a la atmosfera por efecto del calor emitido a los cuerpos de agua y por la transpiración de la cobertura vegetal.



2.9.5. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE HUMEDAD DEL SUELO, SW

La capacidad de almacenamiento de humedad del suelo (capacidad de agua disponible), es una relación entre la cobertura vegetal y la textura del suelo; es determinada por la capacidad de retención máxima de agua de cada tipo de suelo en la zona de actividad de las raíces (Thornthwaite y Mather 1957). Es posible obtenerlo en base del uso de suelo, la textura del suelo y la profundidad de raíces según lo sugerido por Thornthwaite y Mather 1957.

Ahora, para la obtención de este parámetro se reclasificó la capa de vegetación y la capa de edafología con clases texturales utilizando los valores de la tabla siguiente:

Uso de suelo y vegetación	Clase textural	Capacidad de retención de humedad (mm)
0. Incluye asentamientos humanos, infraestructura vial, sitios de extracción de materiales, zonas sin vegetación aparente	Media (35% arcilla y menos 65% de arena)	5 (no hay suelo y solo se retiene en depresiones)
	Fina (más del 35% de arcilla)	5 (no hay suelo y solo se retiene en depresiones)
1. Cultivos de riego. Incluye zonas inundables	Fina (más del 35% de arcilla)	100
	Media	125
	No especificado	50 (corresponde a embalse)
2. Cultivos de temporal	Media (35% arcilla y menos 65% de arena)	200
	Fina (más del 35% de arcilla)	150
	No especificado	60 (corresponde a embalse)
3. Pastizales y matorrales (secundarios)	Media (35% arcilla y menos 65% de arena)	250
	Fina (más del 35% de arcilla)	200
	No especificado	75
4. Vegetación natural perturbada (matorral xerófilo crassicaule, selva baja caducifolia, bosque de encino y vegetación riparia).	Media (35% arcilla y menos 65% de arena)	300
	Fina (más del 35% de arcilla)	250
5. Vegetación natural conservada (selva baja caducifolia, matorral xerófilo crassicaule, bosque de encino y vegetación mixta). Incluye cauces	menos 65% de arena)	350
	Fina (más del 35% de arcilla)	300
6. Cuerpo de agua	No especificado	60

Cuadro 2.17. Capacidad de almacenamiento de humedad del suelo de acuerdo a la cobertura y textura.

Fuente: Ortiz, V. B. & Ortiz, C. A. 1990.

ESTACIÓN	SW E	SW F	SW M	SW A	SW M	SW J	SW J	SW A	SW S	SW O	SW N	SW D	PROMEDIO	ANUAL
LA LLAVE	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1,200
PALLMILLAS	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2,400
PRESA CENTENARIO	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1,200
PRESA CONSTITUCIÓN	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1,200
PRESA PASO DE TABLAS	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1,200
SAN JUAN DEL RÍO	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	60
SAN PABLO	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	1,800
CHAPANTONGO	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	1,800
HUICHAPAN	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	60
PRESA MADERO	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1,200

Cuadro 2.18. Capacidad de almacenamiento de humedad del suelo Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

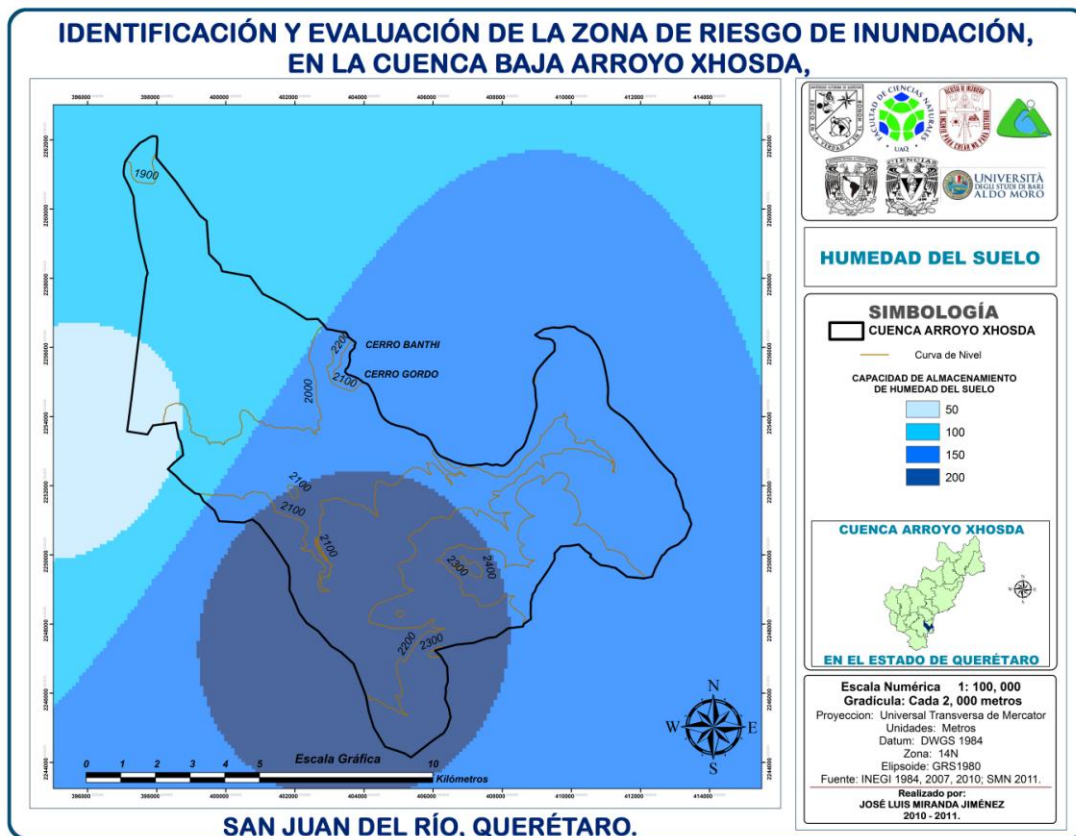


Figura 2.37. Capacidad de almacenamiento de humedad del suelo Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

Los suelos existentes permiten la infiltración del escurrimiento en la cuenca media y alta, sin embargo para la cuenca baja la infraestructura urbana la impide, por lo que en la parte baja y plana la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo.



2.9.6. HUMEDAD DEL SUELO, SM

El parámetro se refiere a la humedad que permanece en el suelo, se encuentra relacionado con la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo AW y con el potencial acumulado de pérdida de humedad APWL.

Para obtenerlo, es necesario calcular la diferencia algebraica de la precipitación P y la evapotranspiración potencial ETP, el resultado es una estimación del exceso o déficit de agua. Posteriormente se obtiene el potencial acumulado de pérdida de humedad APWL, considerando lo siguiente:

Para los meses lluviosos:

$$PET \geq 0; \text{ entonces } APWL = 0$$

El primer mes después de la temporada de lluvias:

$$APWL = PET$$

Del segundo mes después de la temporada de lluvias en adelante:

$$APWL (\text{mes en curso}) = APWL (\text{mes anterior}) + PET (\text{mes en curso})$$

Ya obtenidos los valores de capacidad de almacenamiento de humedad en el suelo SW y el potencial acumulado de pérdida de humedad APWL; es posible obtener el almacenamiento real de humedad del suelo SM, mediante la siguiente ecuación:

$$SM = SW * e^{\frac{APWL}{SW}}$$

Donde:

SM = Humedad del suelo anual

e = 2.7182

APWL = Potencial acumulado de pérdida de humedad

SW = Capacidad de almacenamiento de humedad en el suelo

ESTACIÓN	SM E	SM F	SM M	SM A	SM M	SM J	SM J	SM A	SM S	SM O	SM N	SM D	PROMEDIO	ANUAL
LA LLAVE	\$104.18	\$99.80	\$79.11	\$62.41	\$57.21	200	200	200	200	141.67	94.31	94.26	128	1,533
PALLMILLAS	\$104.73	\$105.95	\$81.12	\$68.43	\$80.51	200	200	200	200	189.65	131.04	96.59	138	1,658
PRESA CENTENARIO	\$114.67	\$108.09	\$76.35	\$55.79	\$53.29	200	200	200	200	154.89	106.19	100.38	131	1,570
PRESA CONSTITUCIÓN	\$114.04	\$111.77	\$76.12	\$56.61	\$59.95	200	200	200	200	166.41	111.99	96.19	133	1,593
PRESA PASO DE TABLAS	\$114.74	\$108.26	\$76.71	\$60.39	\$59.55	200	200	200	200	157.46	107.82	99.73	132	1,585
SAN JUAN DEL RÍO	\$174.39	\$104.56	\$138.52	\$103.03	\$58.60	200	200	200	200	170.90	111.83	151.85	151	1,814
SAN PABLO	\$117.01	\$117.34	\$88.36	\$73.73	\$95.04	200	200	200	200	231.15	181.06	114.81	152	1,819
CHAPANTONGO	\$116.39	\$118.23	\$93.23	\$78.85	\$101.76	200	200	200	200	197.92	146.61	108.78	147	1,762
HUICHAPAN	\$108.88	\$102.00	\$79.97	\$67.29	\$82.13	200	200	200	200	164.37	116.19	101.79	135	1,623
PRESA MADERO	\$116.07	\$109.96	\$82.39	\$70.94	\$82.63	200	200	200	200	165.69	118.67	105.60	138	1,652

Cuadro 2.19. Humedad del suelo Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

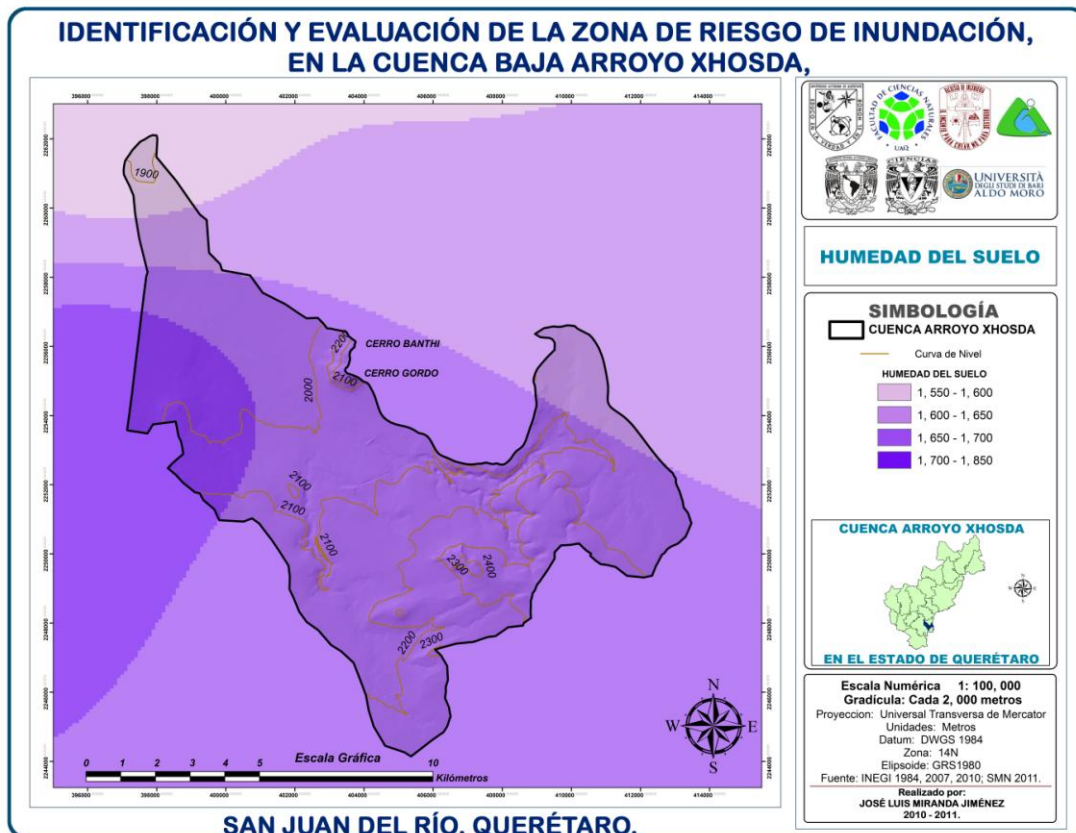


Figura 2.38. Humedad del suelo Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

La cuenca posee una humedad del suelo optima, ya que los suelos y la cobertura vegetal lo permite, sin embargo al incremento de la infraestructura urbana, la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo y la humedad del suelo irá disminuyendo.



2.9.7. LÁMINA TOTAL DISPONIBLE PARA ESCURRIMIENTO, TA

Este cálculo se realiza solo para los meses lluviosos, cuando en algunas partes de la cuenca existe exceso de humedad, para lo cual debe considerarse lo siguiente:

El primer mes lluvioso: $TA(x) = S(x)$

Después del primer mes lluvioso: $TA(\text{mes en curso}) = S(\text{mes en curso}) + TA(\text{mes anterior}) / 2$

El primer mes del ciclo hidrológico: $TA(\text{mes en curso}) = TA(\text{mes anterior}) / 2$

El cálculo de este parámetro se inicia en el mes en que ya existe un exceso de humedad que en este caso corresponde al mes de julio, para este mes la lámina total disponible TA es igual a el exceso de humedad en el suelo S; para los meses lluviosos siguientes se obtiene con la siguiente ecuación (agosto y septiembre):

$$TA_{(x)} = S_{(x)} + TA_{(\text{mes anterior})} / 2$$

El resto de los meses la ecuación que aplica es la siguiente:

$$TA_{(x)} = TA_{(\text{mes anterior})} / 2$$

Donde:

$TA =$ Lámina total disponible para el escurrimiento

$S =$ Exceso de humedad en el suelo

ESTACIÓN	TA E	TA F	TA M	TA A	TA M	TA J	TA J	TA A	TA S	TA O	TA N	TA D	PROMEDIO	ANUAL
LA LLAVE	-1.425	-0.713	-0.356				-2.610	-2.589	-22.801	-11.400	-5.700	-2.850	-4.204	-50.444
PALLMILLAS	3.404	1.702	0.851				48.023	61.870	54.471	27.235	13.618	6.809	18.165	217.983
PRESA CENTENARIO	0.071	0.035	0.018				9.198	-0.513	1.136	0.568	0.284	0.142	0.911	10.938
PRESA CONSTITUCIÓN	2.373	1.187	0.593				68.771	52.812	37.975	18.987	9.494	4.747	16.412	196.939
PRESA PASO DE TABLAS	0.745	0.373	0.186				10.772	4.236	11.924	5.962	2.981	1.491	3.223	38.670
SAN JUAN DEL RÍO	0.784	0.392	0.196				22.125	21.042	12.546	6.273	3.136	1.568	5.672	68.062
SAN PABLO	10.692	5.346	2.673				123.357	171.072	171.069	85.535	42.767	21.384	52.825	633.895
CHAPANTONGO	3.436	1.718	0.859				38.339	42.862	54.980	27.490	13.745	6.872	15.858	190.301
HUICHAPAN	0.243	0.122	0.061				14.001	8.767	3.891	1.945	0.973	0.486	2.541	30.489
PRESA MADERO	1.426	0.713	0.357				19.822	30.271	22.821	11.410	5.705	2.853	7.948	95.378

Cuadro 2.20. Lamina total disponible para escurrimiento Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

ESTACIÓN	SE	SF	SM	SA	SM	SJ	SJ	SA	SS	SO	SN	SD	PROMEDIO	ANUAL
LA LLAVE						-169.7610769	-2.610122145	-1.283907525	-21.5061834				-16	-195
PALLMILLAS						-102.265692	48.02349433	37.85805011	23.53574206				1	7
PRESA CENTENARIO						-160.6976359	9.197850092	-5.112250584	1.392175438				-13	-155
PRESA CONSTITUCIÓN						-127.3452886	68.77116072	18.42669424	11.56850475				-2	-29
PRESA PASO DE TABLAS						-144.1043159	10.77176283	-1.149512375	9.806069825				-10	-125
SAN JUAN DEL RÍO						-147.6827861	22.12520471	9.979054526	2.024857066				-9	-114
SAN PABLO						-38.674139	123.3569214	109.393963	85.53297723				23	280
CHAPANTONGO						-81.95227548	38.33881992	23.69215363	33.54902473				1	14
HUICHAPAN						-111.9347663	14.00126813	1.766114903	-0.492674111				-8	-97
PRESA MADERO						-116.3959252	19.82196814	20.36022866	7.685051341				-6	-69

Cuadro 2.21. Exceso de humedad del suelo Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

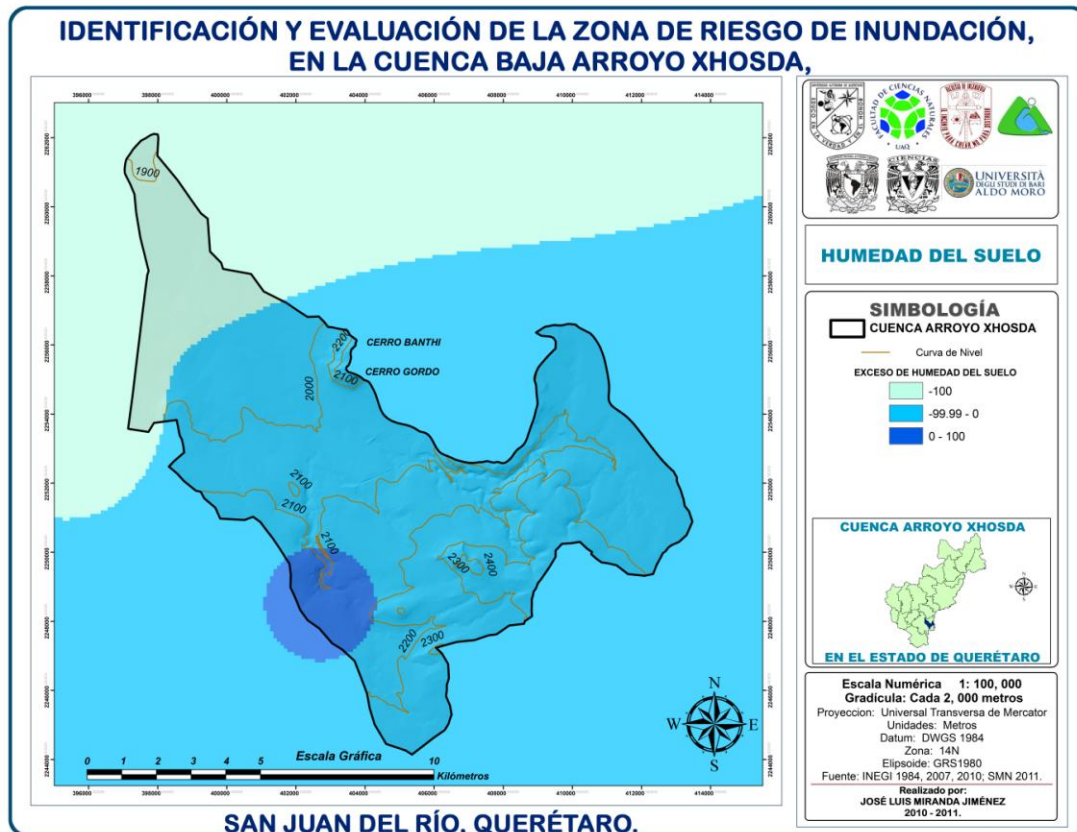


Figura 2.39. Exceso de humedad del suelo Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.



2.9.8. ESCURRIMIENTO, Q

El método de Thornthwaite y Mather menciona hipotéticamente que en grandes cuencas, aproximadamente el 50% del exceso de agua está disponible para escurrimiento en cualquier mes, el resto del excedente es detenido en el subsuelo, agua subterránea, lagos y canales de las cuencas y está disponible para escurrir en el siguiente mes.

Por lo cual, la manera para obtenerlo es simplemente dividir la lámina total disponible para el escurrimiento entre dos.

ESTACIÓN	Q E	Q F	Q M	Q A	Q M	Q J	Q J	Q A	Q S	Q O	Q N	Q D	PROMEDIO	ANUAL
LA LLAVE	-0.713	-0.356	-0.178				-1.305	-1.294	-11.400	-5.700	-2.850	-1.425	-2.102	-25.222
PALMILLAS	1.702	0.851	0.426				24.012	30.935	27.235	13.618	6.809	3.404	9.083	108.992
PRESA CENTENARIO	0.035	0.018	0.009				4.599	-0.257	0.568	0.284	0.142	0.071	0.456	5.469
PRESA CONSTITUCIÓN	1.187	0.593	0.297				34.386	26.406	18.987	9.494	4.747	2.373	8.206	98.470
PRESA PASO DE TABLAS	0.373	0.186	0.093				5.386	2.118	5.962	2.981	1.491	0.745	1.611	19.335
SAN JUAN DEL RÍO	0.392	0.196	0.098				11.063	10.521	6.273	3.136	1.568	0.784	2.836	34.031
SAN PABLO	5.346	2.673	1.336				61.678	85.536	85.535	42.767	21.384	10.692	26.412	316.947
CHAPANTONGO	1.718	0.859	0.430				19.169	21.431	27.490	13.745	6.872	3.436	7.929	95.150
HUICHAPAN	0.122	0.061	0.030				7.001	4.383	1.945	0.973	0.486	0.243	1.270	15.244
PRESA MADERO	0.713	0.357	0.178				9.911	15.136	11.410	5.705	2.853	1.426	3.974	47.689

Cuadro 2.22. Esgurrimiento superficial Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

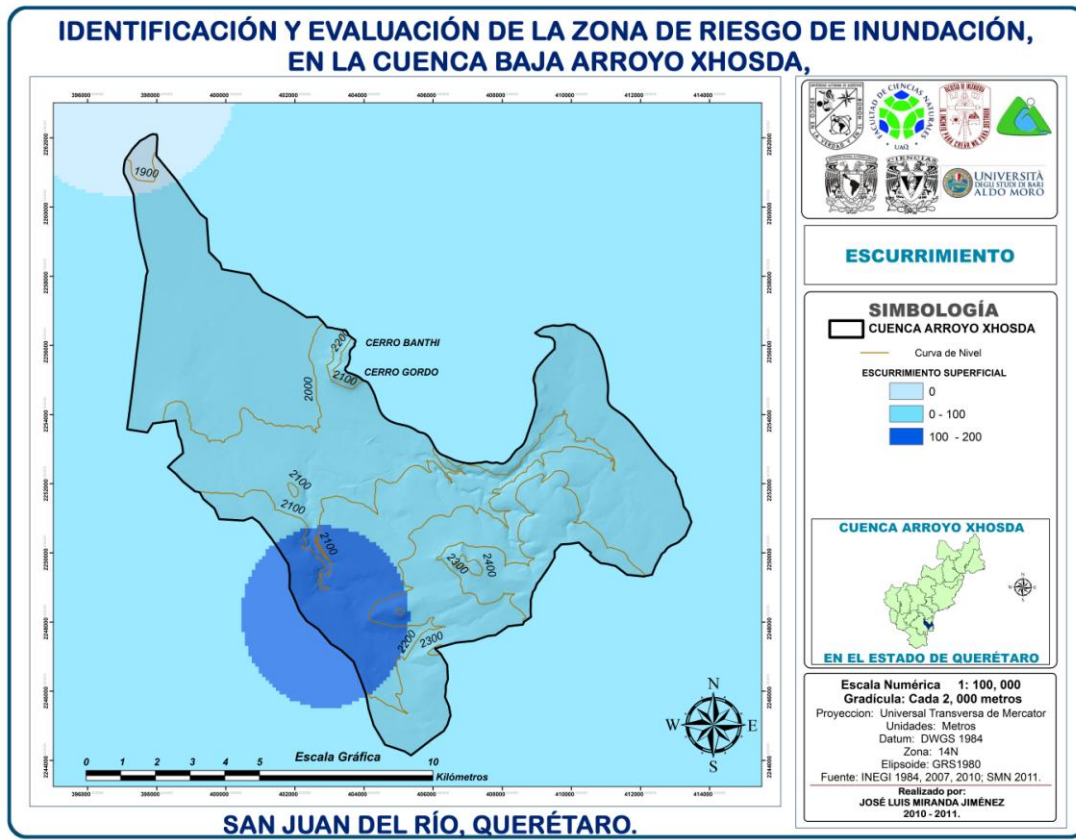


Figura 2.40. Esgurrimiento superficial Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

El esgurrimiento en Cuenca Arroyo Xhosda es óptimo y rápido, ya que el tiempo de concentración es poco, sin embargo parte del esgurrimiento no termina en la cuenca baja, ya que parte de este se infiltra y se transporta a la atmosfera, por efecto del calor emitido y de los suelos existentes en la cuenca.



2.9.9. INFILTRACIÓN, I

Para el cálculo de la infiltración se retoma la fórmula del balance hídrico propuesta por Dunne y Leopold, despejando la infiltración:

$$I = [(P - Q - ETR) + SM] - SW$$

Donde:

P= Precipitación

I= Infiltración

Q= Escurrimiento

SM= Humedad del suelo

SW= Capacidad de almacenamiento de humedad del suelo

Se considera la humedad en el suelo SM, porque se refiere a la humedad que permanece en el suelo cada mes de manera que resulta en un valor positivo para la infiltración; sin embargo la humedad que queda en las raíces de las plantas, se capacidad de retención máxima de humedad del suelo SW, la cual se resta para el cálculo porque es un agua que permanece solo en las raíces y no permite su transporte capas abajo para que se pueda generar infiltración.

ESTACIÓN	IE	IF	IM	IA	IM	IJ	IJ	IA	IS	IO	IN	ID	PROMEDI O	ANUAL
LA LLAVE	85.184	104.234	141.403	154.297	147.980	26.974	1.305	0.011	10.106	110.966	150.188	104.366	-86.416	1036.992
PALLMILLAS	88.830	-93.677	144.129	144.263	107.412	17.225	24.012	6.923	-3.700	-34.318	134.387	141.261	-70.318	-843.816
PRESA CENTENARIO	71.065	-98.503	155.399	164.779	149.205	13.989	4.599	4.856	0.824	-90.507	142.643	105.514	-82.586	-991.036
PRESA CONSTITUCIÓN	69.302	-91.100	159.825	162.903	136.707	12.704	34.386	7.979	-7.419	-76.681	147.173	121.974	-77.831	-933.974
PRESA PASO DE TABLAS	70.631	-98.398	154.928	155.924	141.305	-3.649	5.386	3.268	3.844	-88.065	143.304	109.099	-79.945	-959.341
SAN JUAN DEL RÍO	-3.456	165.471	-27.614	132.462	185.834	-6.281	11.063	0.542	-4.248	-61.346	148.797	-8.920	-61.159	-733.907
SAN PABLO	86.132	-85.007	141.958	140.897	-83.653	66.287	61.678	23.858	-0.002	19.534	-90.413	162.126	-51.569	-618.830
CHAPANTONGO	77.716	-80.787	132.201	135.525	-75.329	16.286	19.169	2.261	6.059	-17.915	111.565	132.481	-59.979	-719.743
HUICHAPAN	84.154	104.943	142.095	145.384	103.026	5.933	7.001	2.617	-2.438	-72.231	132.481	112.860	-74.108	-889.296
PRESA MADERO	74.167	-96.517	145.359	140.502	105.676	0.971	9.911	5.225	-3.725	-74.319	131.203	108.902	-72.022	-864.264

Cuadro 2.23. Infiltración Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

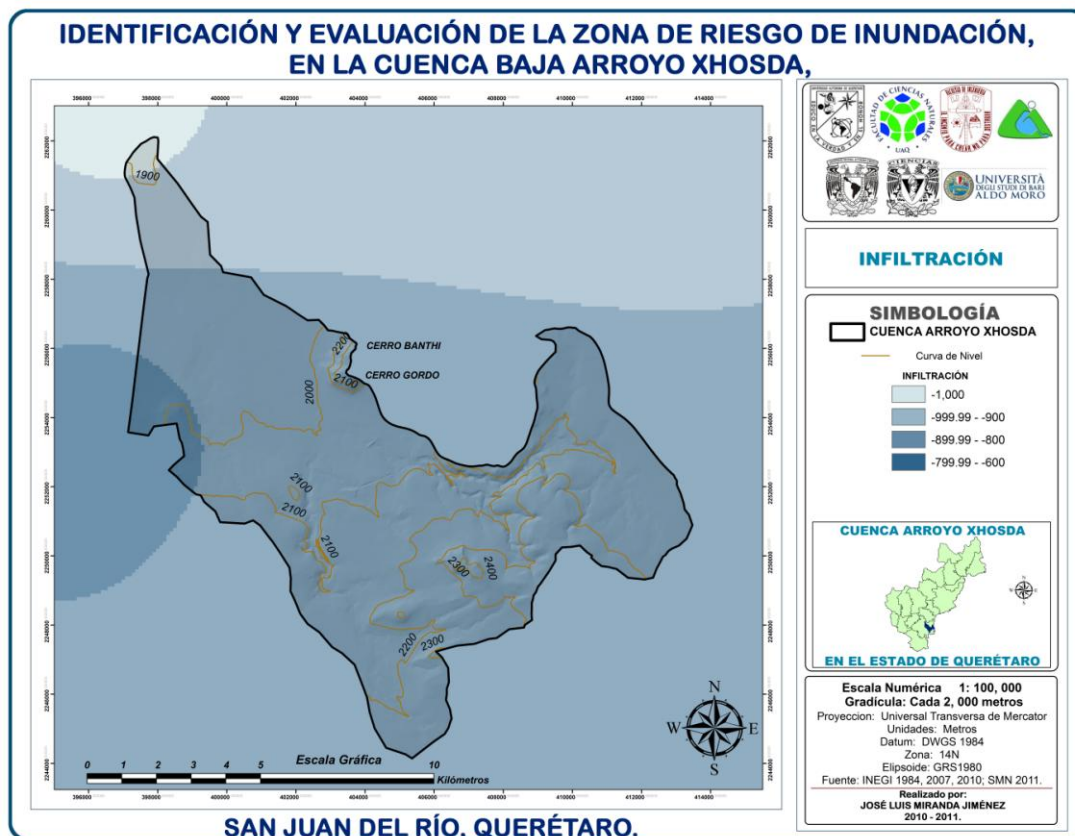


Figura 2.41. Infiltración Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.



2.10. PERIODOS DE RETORNO

Los periodos de retorno son la representación numérica y grafica de la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno en el tiempo, los periodos de Cuenca Arroyo Xhosda fueron construidos mediante el método del hidrógrama unitario triangular, para periodos de retorno de 1 a 1000 años, considerando parámetros históricos de precipitación, infiltración y la escorrentía en la cuenca, así como la cobertura forestal y el uso del suelo.

Horas	Minutos	1	2	5	10	20	50	100	500	1000
0.00	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.08	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.012	0.028	0.086	0.121
0.17	10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.024	0.055	0.173	0.242
0.25	15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.036	0.083	0.259	0.364
0.33	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.048	0.110	0.346	0.485
0.42	25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.060	0.138	0.432	0.606
0.50	30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.072	0.166	0.519	0.727
0.58	35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.084	0.193	0.605	0.848
0.67	40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.096	0.221	0.692	0.970
0.75	45	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.108	0.249	0.778	1.091
0.83	50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.120	0.276	0.864	1.212
0.92	55	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.132	0.304	0.951	1.333
1.00	60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.144	0.331	1.037	1.454
1.08	65	0.364	1.535	2.731	3.589	4.459	5.741	6.819	9.673	11.055
1.17	70	0.729	3.070	5.462	7.178	8.906	11.337	13.307	18.308	20.655
1.25	75	1.093	4.605	8.193	10.767	13.353	16.934	19.795	26.944	30.256
1.33	80	1.457	6.140	10.923	14.356	17.800	22.531	26.282	35.580	39.856
1.42	85	1.822	7.675	13.654	17.945	22.247	28.128	32.770	44.215	49.457
1.50	90	2.186	9.210	16.385	21.534	26.694	33.725	39.258	52.851	59.057
1.58	95	2.550	10.745	19.116	25.124	31.141	39.322	45.746	61.486	68.658
1.67	100	2.915	12.280	21.847	28.713	35.588	44.919	52.233	70.122	78.258
1.75	105	3.279	13.815	24.578	32.302	40.035	50.516	58.721	78.757	87.859
1.83	110	3.643	15.350	27.309	35.891	44.482	56.112	65.209	87.393	97.459
1.92	115	4.008	16.885	30.039	39.480	48.929	61.709	71.697	96.028	107.060
2.00	120	4.372	18.420	32.770	43.069	53.376	67.306	78.184	104.664	116.660
2.08	125	4.818	20.254	35.970	47.237	58.507	73.723	85.594	114.459	127.525
2.17	130	5.264	22.088	39.169	51.405	63.638	80.139	93.003	124.254	138.390
2.25	135	5.710	23.921	42.368	55.574	68.769	86.556	100.412	134.049	149.254
2.33	140	6.156	25.755	45.568	59.742	73.901	92.973	107.822	143.845	160.119
2.42	145	6.601	27.589	48.767	63.910	79.032	99.389	115.231	153.640	170.983
2.50	150	7.047	29.423	51.966	68.078	84.163	105.806	122.641	163.435	181.848
2.58	155	7.493	31.256	55.166	72.246	89.294	112.214	130.030	173.168	192.626
2.67	160	7.939	33.090	58.365	76.414	94.423	118.612	137.395	182.825	203.297
2.75	165	8.385	34.924	61.564	80.583	99.553	125.009	144.760	192.482	213.968
2.83	170	8.831	36.757	64.764	84.751	104.683	131.407	152.126	202.139	224.638



7.08	425	2.875	11.561	20.934	27.534	34.019	44.031	51.811	70.218	78.365
7.17	430	2.608	10.463	18.984	24.977	30.862	40.120	47.326	64.364	71.903
7.25	435	2.341	9.365	17.033	22.421	27.705	36.209	42.840	58.510	65.441
7.33	440	2.074	8.267	15.082	19.864	24.548	32.298	38.355	52.657	58.979
7.42	445	1.807	7.169	13.131	17.308	21.391	28.386	33.869	46.803	52.516
7.50	450	1.540	6.071	11.180	14.751	18.235	24.475	29.384	40.949	46.054
7.58	455	1.273	4.972	9.229	12.195	15.078	20.564	24.898	35.096	39.592
7.67	460	1.006	3.874	7.278	9.638	11.921	16.653	20.413	29.242	33.130
7.75	465	0.739	2.776	5.328	7.082	8.764	12.742	15.927	23.388	26.668
7.83	470	0.565	2.070	4.074	5.441	6.742	10.256	13.090	19.716	22.625
7.92	475	0.516	1.891	3.758	5.034	6.247	9.689	12.473	18.982	21.839
8.00	480	0.467	1.712	3.442	4.626	5.753	9.122	11.856	18.247	21.053
8.08	485	0.418	1.534	3.127	4.219	5.258	8.555	11.239	17.513	20.267
8.17	490	0.370	1.355	2.811	3.812	4.764	7.988	10.622	16.779	19.481
8.25	495	0.321	1.176	2.496	3.404	4.269	7.421	10.005	16.044	18.695
8.33	500	0.272	0.997	2.180	2.997	3.774	6.854	9.388	15.310	17.909
8.42	505	0.223	0.818	1.864	2.590	3.280	6.287	8.771	14.575	17.123
8.50	510	0.174	0.639	1.549	2.182	2.785	5.720	8.154	13.841	16.337
8.58	515	0.126	0.460	1.233	1.775	2.291	5.154	7.536	13.107	15.551
8.67	520	0.077	0.281	0.918	1.368	1.796	4.587	6.919	12.372	14.765
8.75	525	0.028	0.103	0.602	0.960	1.301	4.020	6.302	11.638	13.980
8.83	530	0.000	0.000	0.406	0.701	0.982	3.662	5.920	11.199	13.516
8.92	535	0.000	0.000	0.371	0.640	0.897	3.586	5.855	11.159	13.487
9.00	540	0.000	0.000	0.336	0.580	0.812	3.510	5.790	11.119	13.458
9.08	545	0.000	0.000	0.301	0.519	0.727	3.405	5.671	10.969	13.294
9.17	550	0.000	0.000	0.266	0.459	0.642	3.265	5.487	10.682	12.962
9.25	555	0.000	0.000	0.231	0.398	0.557	3.125	5.304	10.395	12.630
9.33	560	0.000	0.000	0.195	0.338	0.473	2.985	5.120	10.108	12.298
9.42	565	0.000	0.000	0.160	0.277	0.388	2.845	4.936	9.822	11.966
9.50	570	0.000	0.000	0.125	0.216	0.303	2.705	4.752	9.535	11.634
9.58	575	0.000	0.000	0.090	0.156	0.218	2.565	4.568	9.248	11.302
9.67	580	0.000	0.000	0.055	0.095	0.133	2.425	4.384	8.961	10.970
9.75	585	0.000	0.000	0.020	0.035	0.049	2.285	4.200	8.675	10.639
9.83	590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.195	4.075	8.471	10.400

Cuadro 2.24. Periodos de retorno Cerró Gordo.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

Horas	Minutos	1	2	5	10	20	50	100	500	1000
0.00	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.08	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.011	0.033	0.046
0.17	10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.009	0.021	0.066	0.092
0.25	15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.014	0.032	0.098	0.138
0.33	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.018	0.042	0.131	0.184
0.42	25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.023	0.052	0.164	0.230
0.50	30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.027	0.063	0.197	0.276
0.58	35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.032	0.073	0.230	0.322



0.67	40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.036	0.084	0.263	0.369
0.75	45	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.041	0.095	0.296	0.415
0.83	50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.046	0.105	0.328	0.461
0.92	55	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.050	0.116	0.361	0.507
1.00	60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.055	0.126	0.394	0.553
1.08	65	0.138	0.583	1.038	1.364	1.694	2.182	2.591	3.676	4.201
1.17	70	0.277	1.167	2.076	2.728	3.384	4.308	5.057	6.957	7.849
1.25	75	0.415	1.750	3.113	4.091	5.074	6.435	7.522	10.239	11.497
1.33	80	0.554	2.333	4.151	5.455	6.764	8.562	9.987	13.520	15.145
1.42	85	0.692	2.917	5.189	6.819	8.454	10.689	12.453	16.802	18.794
1.50	90	0.831	3.500	6.226	8.183	10.144	12.816	14.918	20.083	22.442
1.58	95	0.969	4.083	7.264	9.547	11.834	14.942	17.383	23.365	26.090
1.67	100	1.108	4.666	8.302	10.911	13.523	17.069	19.849	26.646	29.738
1.75	105	1.246	5.250	9.340	12.275	15.213	19.196	22.314	29.928	33.386
1.83	110	1.384	5.833	10.377	13.639	16.903	21.323	24.779	33.209	37.034
1.92	115	1.523	6.416	11.415	15.002	18.593	23.449	27.245	36.491	40.683
2.00	120	1.661	7.000	12.453	16.366	20.283	25.576	29.710	39.772	44.331
2.08	125	1.831	7.697	13.669	17.950	22.233	28.015	32.526	43.494	48.460
2.17	130	2.000	8.393	14.884	19.534	24.182	30.453	35.341	47.217	52.588
2.25	135	2.170	9.090	16.100	21.118	26.132	32.891	38.157	50.939	56.717
2.33	140	2.339	9.787	17.316	22.702	28.082	35.330	40.972	54.661	60.845
2.42	145	2.508	10.484	18.531	24.286	30.032	37.768	43.788	58.383	64.974
2.50	150	2.678	11.181	19.747	25.870	31.982	40.206	46.604	62.105	69.102
2.58	155	2.847	11.877	20.963	27.453	33.932	42.641	49.411	65.804	73.198
2.67	160	3.017	12.574	22.179	29.037	35.881	45.073	52.210	69.474	77.253
2.75	165	3.186	13.271	23.394	30.622	37.830	47.503	55.009	73.143	81.308
2.83	170	3.356	13.968	24.610	32.205	39.780	49.935	57.808	76.813	85.362
2.92	175	3.525	14.665	25.826	33.789	41.729	52.366	60.607	80.482	89.417
3.00	180	3.694	15.362	27.042	35.373	43.678	54.797	63.405	84.152	93.472
3.08	185	3.864	16.058	28.280	36.996	45.681	57.301	66.293	87.945	97.666
3.17	190	4.033	16.755	29.518	38.618	47.684	59.806	69.180	91.738	101.859
3.25	195	4.203	17.452	30.756	40.240	49.687	62.311	72.067	95.531	106.053
3.33	200	4.372	18.149	31.994	41.863	51.690	64.815	74.955	99.324	110.247
3.42	205	4.542	18.846	33.232	43.485	53.693	67.320	77.842	103.117	114.440
3.50	210	4.711	19.542	34.470	45.107	55.697	69.825	80.729	106.910	118.634
3.58	215	4.781	19.821	34.965	45.753	56.490	70.809	81.858	108.376	120.247
3.67	220	4.729	19.586	34.544	45.195	55.792	69.921	80.821	106.975	118.682
3.75	225	4.677	19.350	34.122	44.636	55.094	69.032	79.783	105.574	117.116
3.83	230	4.625	19.114	33.701	44.078	54.395	68.144	78.746	104.173	115.550
3.92	235	4.574	18.878	33.280	43.520	53.697	67.256	77.708	102.772	113.985
4.00	240	4.522	18.642	32.859	42.962	52.999	66.367	76.670	101.371	112.419
4.08	245	4.470	18.407	32.438	42.403	52.301	65.494	75.661	100.029	110.925
4.17	250	4.418	18.171	32.017	41.845	51.603	64.621	74.652	98.686	109.432
4.25	255	4.366	17.935	31.596	41.287	50.905	63.748	73.642	97.344	107.938
4.33	260	4.314	17.699	31.174	40.729	50.207	62.874	72.633	96.002	106.445
4.42	265	4.262	17.464	30.753	40.171	49.509	62.001	71.624	94.660	104.951
4.50	270	4.210	17.228	30.332	39.613	48.811	61.128	70.615	93.317	103.458
4.58	275	4.136	16.911	29.784	38.897	47.927	60.032	69.354	91.659	101.620
4.67	280	4.034	16.494	29.078	37.987	46.813	58.661	67.785	89.612	99.358
4.75	285	3.933	16.076	28.372	37.077	45.700	57.289	66.216	87.565	97.097



4.83	290	3.832	15.659	27.667	36.167	44.586	55.918	64.647	85.519	94.835
4.92	295	3.730	15.242	26.961	35.257	43.472	54.547	63.077	83.472	92.574
5.00	300	3.629	14.825	26.255	34.347	42.358	53.175	61.508	81.425	90.312
5.08	305	3.527	14.407	25.549	33.437	41.244	51.804	59.939	79.378	88.051
5.17	310	3.426	13.990	24.844	32.527	40.131	50.433	58.370	77.331	85.789
5.25	315	3.324	13.572	24.138	31.617	39.017	49.062	56.801	75.284	83.527
5.33	320	3.223	13.155	23.432	30.707	37.903	47.690	55.231	73.237	81.266
5.42	325	3.121	12.738	22.726	29.797	36.789	46.319	53.662	71.190	79.004
5.50	330	3.020	12.321	22.021	28.886	35.676	44.948	52.093	69.144	76.743
5.58	335	2.918	11.904	21.299	27.949	34.523	43.524	50.460	67.008	74.382
5.67	340	2.817	11.486	20.558	26.978	33.323	42.035	48.749	64.764	71.899
5.75	345	2.715	11.069	19.816	26.006	32.123	40.546	47.039	62.520	69.415
5.83	350	2.614	10.652	19.075	25.035	30.924	39.057	45.328	60.276	66.932
5.92	355	2.513	10.235	18.333	24.063	29.724	37.568	43.617	58.032	64.449
6.00	360	2.411	9.817	17.592	23.092	28.524	36.079	41.906	55.788	61.966
6.08	365	2.310	9.400	16.851	22.120	27.324	34.590	40.196	53.544	59.483
6.17	370	2.208	8.983	16.110	21.149	26.124	33.101	38.485	51.300	56.999
6.25	375	2.107	8.566	15.368	20.177	24.925	31.612	36.774	49.056	54.516
6.33	380	2.005	8.148	14.627	19.206	23.725	30.123	35.063	46.812	52.033
6.42	385	1.904	7.731	13.886	18.234	22.525	28.634	33.353	44.568	49.550
6.50	390	1.803	7.314	13.144	17.263	21.325	27.145	31.642	42.324	47.066
6.58	395	1.701	6.897	12.403	16.291	20.125	25.656	29.931	40.080	44.584
6.67	400	1.600	6.479	11.662	15.320	18.926	24.167	28.220	37.835	42.100
6.75	405	1.498	6.062	10.920	14.348	17.725	22.678	26.510	35.592	39.617
6.83	410	1.397	5.645	10.179	13.377	16.526	21.191	24.801	33.356	37.145
6.92	415	1.295	5.228	9.438	12.405	15.326	19.704	23.097	31.132	34.690
7.00	420	1.194	4.810	8.696	11.434	14.127	18.218	21.392	28.907	32.234
7.08	425	1.093	4.393	7.955	10.463	12.927	16.732	19.688	26.683	29.779
7.17	430	0.991	3.976	7.214	9.491	11.728	15.246	17.984	24.458	27.323
7.25	435	0.890	3.559	6.473	8.520	10.528	13.759	16.279	22.234	24.868
7.33	440	0.788	3.141	5.731	7.548	9.328	12.273	14.575	20.010	22.412
7.42	445	0.687	2.724	4.990	6.577	8.129	10.787	12.870	17.785	19.956
7.50	450	0.585	2.307	4.248	5.605	6.929	9.301	11.166	15.561	17.501
7.58	455	0.484	1.889	3.507	4.634	5.730	7.814	9.461	13.336	15.045
7.67	460	0.382	1.472	2.766	3.662	4.530	6.328	7.757	11.112	12.589
7.75	465	0.281	1.055	2.025	2.691	3.330	4.842	6.052	8.887	10.134
7.83	470	0.215	0.787	1.548	2.068	2.562	3.897	4.974	7.492	8.598
7.92	475	0.196	0.719	1.428	1.913	2.374	3.682	4.740	7.213	8.299
8.00	480	0.177	0.651	1.308	1.758	2.186	3.466	4.505	6.934	8.000
8.08	485	0.159	0.583	1.188	1.603	1.998	3.251	4.271	6.655	7.701
8.17	490	0.141	0.515	1.068	1.449	1.810	3.035	4.036	6.376	7.403
8.25	495	0.122	0.447	0.948	1.294	1.622	2.820	3.802	6.097	7.104
8.33	500	0.103	0.379	0.828	1.139	1.434	2.605	3.567	5.818	6.805
8.42	505	0.085	0.311	0.708	0.984	1.246	2.389	3.333	5.539	6.507
8.50	510	0.066	0.243	0.589	0.829	1.058	2.174	3.099	5.260	6.208
8.58	515	0.048	0.175	0.469	0.675	0.871	1.959	2.864	4.981	5.909
8.67	520	0.029	0.107	0.349	0.520	0.682	1.743	2.629	4.701	5.611
8.75	525	0.011	0.039	0.229	0.365	0.494	1.528	2.395	4.422	5.312
8.83	530	0.000	0.000	0.154	0.266	0.373	1.392	2.250	4.256	5.136
8.92	535	0.000	0.000	0.141	0.243	0.341	1.363	2.225	4.240	5.125



9.00	540	0.000	0.000	0.128	0.220	0.309	1.334	2.200	4.225	5.114
9.08	545	0.000	0.000	0.114	0.197	0.276	1.294	2.155	4.168	5.052
9.17	550	0.000	0.000	0.101	0.174	0.244	1.241	2.085	4.059	4.926
9.25	555	0.000	0.000	0.088	0.151	0.212	1.188	2.016	3.950	4.799
9.33	560	0.000	0.000	0.074	0.128	0.180	1.134	1.946	3.841	4.673
9.42	565	0.000	0.000	0.061	0.105	0.147	1.081	1.876	3.732	4.547
9.50	570	0.000	0.000	0.048	0.082	0.115	1.028	1.806	3.623	4.421
9.58	575	0.000	0.000	0.034	0.059	0.083	0.975	1.736	3.514	4.295
9.67	580	0.000	0.000	0.021	0.036	0.051	0.922	1.666	3.405	4.169
9.75	585	0.000	0.000	0.008	0.013	0.019	0.868	1.596	3.297	4.043
9.83	590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.834	1.549	3.219	3.952

Cuadro 2.25. Periodos de retorno Dren Benito Juárez y La Floresta.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

Horas	Minutos	1	2	5	10	20	50	100	500	1000
0.00	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.08	5	0.000	0.000	0.000	0.001	0.012	0.048	0.089	0.000	0.003
0.17	10	0.000	0.000	0.000	0.001	0.024	0.096	0.178	0.000	0.006
0.25	15	0.000	0.000	0.000	0.002	0.037	0.144	0.266	0.000	0.009
0.33	20	0.000	0.000	0.000	0.002	0.049	0.192	0.355	0.000	0.012
0.42	25	0.000	0.000	0.000	0.003	0.061	0.240	0.444	0.000	0.015
0.50	30	0.000	0.000	0.000	0.003	0.073	0.287	0.533	0.000	0.018
0.58	35	0.000	0.000	0.000	0.004	0.085	0.335	0.622	0.000	0.021
0.67	40	0.000	0.000	0.000	0.004	0.098	0.383	0.710	0.000	0.024
0.75	45	0.000	0.000	0.000	0.005	0.110	0.431	0.799	0.000	0.027
0.83	50	0.000	0.000	0.000	0.006	0.122	0.479	0.888	0.000	0.030
0.92	55	0.000	0.000	0.000	0.006	0.134	0.527	0.977	0.000	0.033
1.00	60	0.000	0.000	0.000	0.007	0.146	0.575	1.066	0.000	0.036
1.08	65	0.817	3.153	5.471	7.123	8.899	11.509	13.684	0.227	0.340
1.17	70	1.635	6.305	10.942	14.240	17.651	22.443	26.302	0.453	0.643
1.25	75	2.452	9.458	16.412	21.357	26.403	33.378	38.921	0.680	0.947
1.33	80	3.270	12.610	21.883	28.473	35.156	44.312	51.539	0.906	1.250
1.42	85	4.087	15.763	27.354	35.590	43.908	55.246	64.157	1.132	1.554
1.50	90	4.905	18.915	32.825	42.707	52.660	66.180	76.776	1.359	1.857
1.58	95	5.722	22.068	38.296	49.823	61.413	77.114	89.394	1.585	2.161
1.67	100	6.540	25.220	43.766	56.940	70.165	88.049	102.012	1.812	2.464
1.75	105	7.357	28.373	49.237	64.057	78.917	98.983	114.631	2.038	2.768
1.83	110	8.175	31.525	54.708	71.173	87.670	109.917	127.249	2.264	3.071
1.92	115	8.992	34.678	60.179	78.290	96.422	120.851	139.867	2.491	3.375
2.00	120	9.810	37.830	65.650	85.407	105.174	131.786	152.486	2.717	3.678
2.08	125	10.627	40.983	71.121	93.699	115.308	144.366	166.948	2.943	3.981
2.17	130	11.444	44.136	76.872	101.992	125.442	156.946	181.411	3.169	4.284
2.25	135	12.261	47.289	82.623	110.284	135.576	169.527	195.874	3.395	4.587
2.33	140	13.078	50.442	88.374	118.577	145.710	182.107	210.337	3.621	4.890
2.42	145	13.895	53.595	94.125	126.869	155.844	194.687	224.799	3.847	5.193
2.50	150	14.712	56.748	99.876	135.162	165.978	207.268	239.262	4.073	5.496
2.58	155	15.529	59.901	105.627	143.454	176.104	219.814	253.661	4.299	5.799
2.67	160	16.346	63.054	111.378	151.746	186.218	232.318	267.982	4.525	6.102



11.08	665	0.000	0.361	5.211	8.370	11.422	15.770	19.039	28.988	32.467
11.17	670	0.000	0.357	5.143	8.261	11.277	15.612	18.871	28.796	32.265
11.25	675	0.000	0.352	5.075	8.152	11.132	15.454	18.702	28.603	32.062
11.33	680	0.000	0.347	5.007	8.043	10.988	15.295	18.534	28.411	31.859
11.42	685	0.000	0.342	4.939	7.934	10.843	15.137	18.365	28.219	31.656
11.50	690	0.000	0.338	4.871	7.824	10.698	14.979	18.197	28.027	31.454
11.58	695	0.000	0.333	4.804	7.715	10.553	14.821	18.029	27.834	31.251
11.67	700	0.000	0.328	4.736	7.606	10.409	14.662	17.860	27.642	31.048
11.75	705	0.000	0.324	4.668	7.497	10.264	14.504	17.692	27.450	30.845
11.83	710	0.000	0.319	4.600	7.388	10.119	14.346	17.523	27.258	30.643
11.92	715	0.000	0.314	4.532	7.279	9.974	14.187	17.355	27.065	30.440
12.00	720	0.000	0.309	4.464	7.169	9.830	14.029	17.186	26.873	30.237
12.08	725	0.000	0.305	4.396	7.060	9.685	13.871	17.018	26.681	30.035
12.17	730	0.000	0.300	4.328	6.951	9.540	13.712	16.849	26.488	29.832
12.25	735	0.000	0.295	4.260	6.842	9.395	13.554	16.681	26.296	29.629
12.33	740	0.000	0.291	4.192	6.733	9.251	13.396	16.512	26.104	29.426
12.42	745	0.000	0.286	4.124	6.624	9.106	13.238	16.344	25.912	29.224
12.50	750	0.000	0.281	4.056	6.514	8.961	13.079	16.175	25.719	29.021
12.58	755	0.000	0.276	3.988	6.405	8.816	12.921	16.007	25.527	28.818
12.67	760	0.000	0.272	3.920	6.296	8.671	12.763	15.838	25.335	28.615
12.75	765	0.000	0.267	3.852	6.187	8.527	12.604	15.670	25.142	28.413
12.83	770	0.000	0.262	3.784	6.078	8.382	12.446	15.501	24.950	28.210
12.92	775	0.000	0.258	3.716	5.969	8.237	12.288	15.333	24.758	28.007
13.00	780	0.000	0.253	3.648	5.859	8.092	12.129	15.164	24.566	27.805
13.08	785	0.000	0.248	3.580	5.750	7.948	11.971	14.996	24.373	27.602
13.17	790	0.000	0.243	3.512	5.641	7.803	11.813	14.827	24.181	27.399
13.25	795	0.000	0.239	3.444	5.532	7.658	11.655	14.659	23.989	27.196
13.33	800	0.000	0.234	3.376	5.423	7.513	11.496	14.490	23.796	26.994
13.42	805	0.000	0.229	3.308	5.314	7.369	11.338	14.322	23.604	26.791
13.50	810	0.000	0.225	3.240	5.204	7.224	11.180	14.153	23.412	26.588
13.58	815	0.000	0.220	3.172	5.095	7.079	11.021	13.985	23.220	26.385
13.67	820	0.000	0.215	3.104	4.986	6.934	10.863	13.816	23.027	26.183
13.75	825	0.000	0.210	3.036	4.877	6.790	10.705	13.648	22.835	25.980
13.83	830	0.000	0.206	2.968	4.768	6.645	10.546	13.479	22.643	25.777
13.92	835	0.000	0.201	2.900	4.659	6.500	10.388	13.311	22.450	25.575
14.00	840	0.000	0.196	2.832	4.549	6.355	10.230	13.142	22.258	25.372
14.08	845	0.000	0.192	2.765	4.440	6.211	10.072	12.974	22.066	25.169
14.17	850	0.000	0.187	2.697	4.331	6.066	9.913	12.806	21.874	24.966
14.25	855	0.000	0.182	2.629	4.222	5.921	9.755	12.637	21.681	24.764
14.33	860	0.000	0.177	2.561	4.113	5.776	9.597	12.469	21.489	24.561
14.42	865	0.000	0.173	2.493	4.004	5.631	9.438	12.300	21.297	24.358
14.50	870	0.000	0.168	2.425	3.894	5.487	9.280	12.132	21.105	24.155
14.58	875	0.000	0.163	2.357	3.785	5.342	9.122	11.963	20.912	23.953
14.67	880	0.000	0.159	2.289	3.676	5.197	8.963	11.795	20.720	23.750
14.75	885	0.000	0.154	2.221	3.567	5.052	8.805	11.626	20.528	23.547
14.83	890	0.000	0.149	2.153	3.458	4.908	8.647	11.458	20.335	23.345
14.92	895	0.000	0.145	2.085	3.349	4.763	8.488	11.289	20.143	23.142
15.00	900	0.000	0.140	2.017	3.239	4.618	8.330	11.121	19.951	22.939
15.08	905	0.000	0.135	1.949	3.130	4.473	8.172	10.952	19.759	22.736
15.17	910	0.000	0.130	1.881	3.021	4.329	8.014	10.784	19.566	22.534



15.25	915	0.000	0.126	1.813	2.912	4.184	7.855	10.615	19.374	22.331
15.33	920	0.000	0.121	1.745	2.803	4.039	7.697	10.447	19.182	22.128
15.42	925	0.000	0.116	1.677	2.694	3.894	7.539	10.278	18.989	21.926
15.50	930	0.000	0.112	1.609	2.584	3.750	7.380	10.110	18.797	21.723
15.58	935	0.000	0.107	1.541	2.475	3.605	7.222	9.941	18.605	21.520
15.67	940	0.000	0.102	1.473	2.366	3.460	7.064	9.773	18.413	21.317
15.75	945	0.000	0.097	1.405	2.257	3.315	6.905	9.604	18.220	21.115
15.83	950	0.000	0.093	1.337	2.148	3.171	6.747	9.436	18.028	20.912
15.92	955	0.000	0.088	1.269	2.039	3.026	6.589	9.267	17.836	20.709
16.00	960	0.000	0.083	1.201	1.929	2.881	6.431	9.099	17.643	20.506
16.08	965	0.000	0.079	1.133	1.820	2.736	6.272	8.930	17.451	20.304
16.17	970	0.000	0.074	1.065	1.711	2.592	6.114	8.762	17.259	20.101
16.25	975	0.000	0.069	0.997	1.602	2.447	5.956	8.593	17.067	19.898
16.33	980	0.000	0.064	0.929	1.493	2.302	5.797	8.425	16.874	19.696
16.42	985	0.000	0.060	0.861	1.384	2.157	5.639	8.256	16.682	19.493
16.50	990	0.000	0.055	0.793	1.274	2.012	5.481	8.088	16.490	19.290
16.58	995	0.000	0.050	0.725	1.165	1.868	5.322	7.919	16.298	19.087
16.67	1000	0.000	0.046	0.658	1.056	1.723	5.164	7.751	16.105	18.885
16.75	1005	0.000	0.041	0.590	0.947	1.578	5.006	7.583	15.913	18.682
16.83	1010	0.000	0.036	0.522	0.838	1.433	4.848	7.414	15.721	18.479
16.92	1015	0.000	0.031	0.454	0.729	1.289	4.689	7.246	15.528	18.276
17.00	1020	0.000	0.027	0.386	0.619	1.144	4.531	7.077	15.336	18.074
17.08	1025	0.000	0.022	0.318	0.510	0.999	4.373	6.909	15.144	17.871
17.17	1030	0.000	0.017	0.250	0.401	0.854	4.214	6.740	14.952	17.668
17.25	1035	0.000	0.013	0.182	0.292	0.710	4.056	6.572	14.759	17.466
17.33	1040	0.000	0.008	0.114	0.183	0.565	3.898	6.403	14.567	17.263
17.42	1045	0.000	0.003	0.046	0.074	0.420	3.739	6.235	14.375	17.060
17.50	1050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.324	3.646	6.143	14.182	16.857

Cuadro 2.26. Periodos de retorno Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

2.10.1. HIDRÓGRAMAS

El hidrógrama de una corriente, es la representación gráfica de las variaciones del caudal con respecto al tiempo, arregladas en orden cronológico en un lugar dado de la corriente, los hidrógramas fueron construidos mediante el método del hidrógrama unitario triangular, alemán, considerando la precipitación, infiltración y la escorrentía en la cuenca, así como la cobertura forestal y el uso del suelo.

No todas las precipitaciones provocan escurrimiento directo, solo las precipitaciones intensas y prolongadas producen un aumento significativo en el escurrimiento de las corrientes. Los hidrógramas presentan diferente comportamiento, su escurrimiento directo es diferente para cada uno, por lo que deben tratarse separadamente en los problemas que involucran períodos cortos de tiempo.

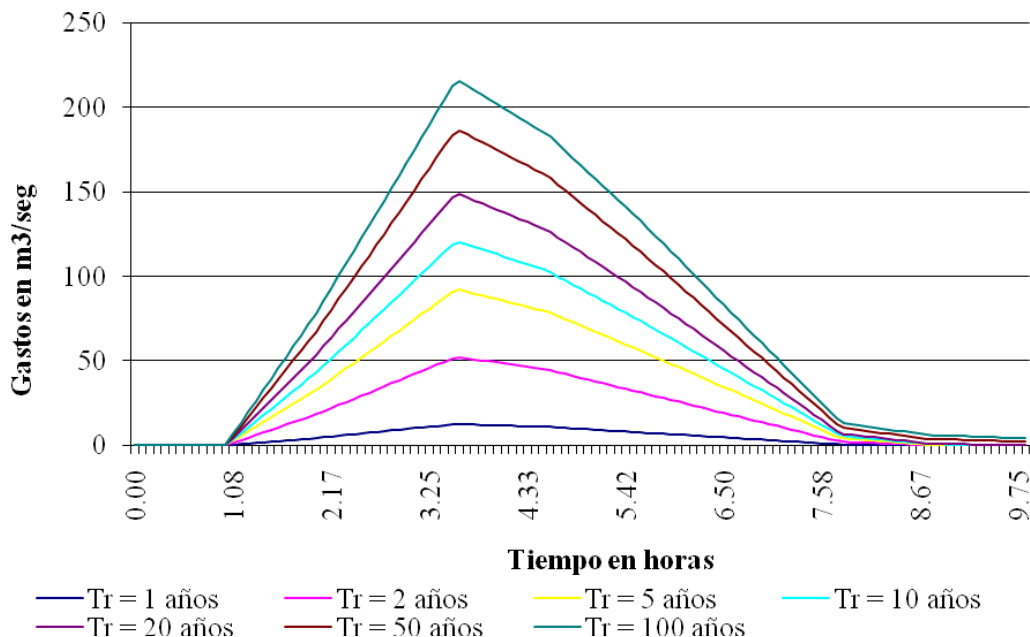


Figura 2.42. Hidrógrama Cerró Gordo.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

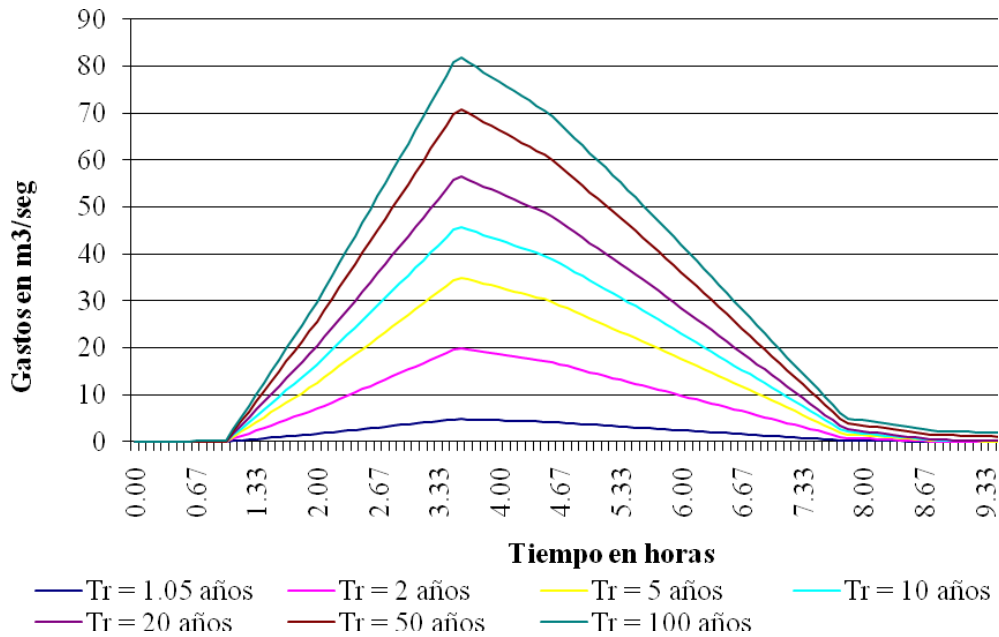


Figura 2.43. Hidrógrama Dren Benito Juárez y La Floresta.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

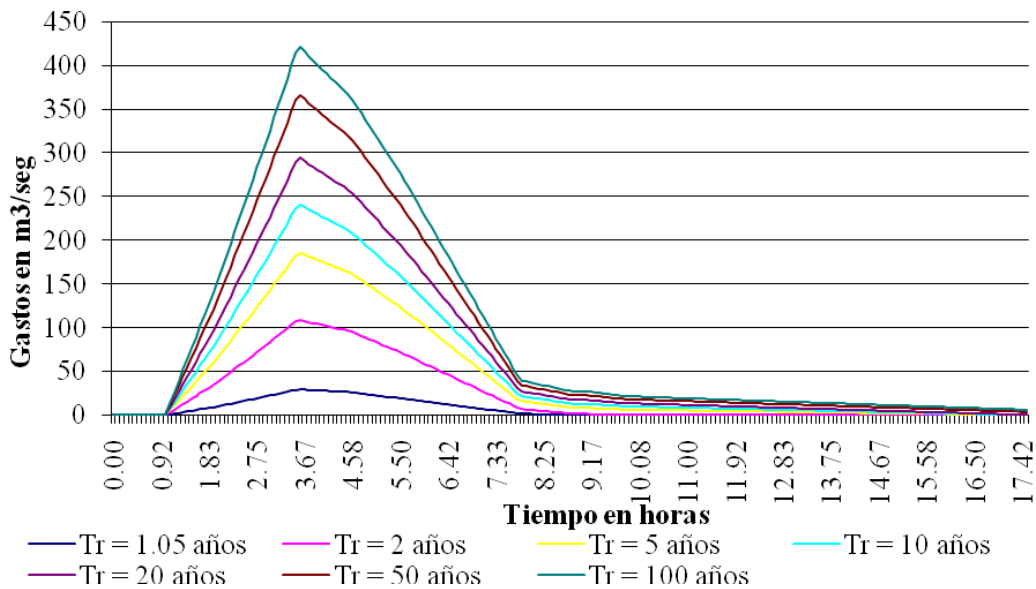


Figura 2.44. Hidrógrama Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Normales climatológicas 1971 – 2000, Servicio Meteorológico Nacional, SMN 2011.

2.11. MESAS DE CONCERTACIÓN Y REUNIONES

Se llevaron a cabo diferentes mesas de concertación y reuniones, donde asistieron y participaron representantes municipales, asociaciones y población local, esto para conocer su participación dentro del área de estudio.

La finalidad de las mesas de concertación y reuniones fue tener el apoyo de los actores del área de estudio, conocer a través de estos, las áreas más afectadas por las inundaciones recientes, así como las acciones implementadas durante la ocurrencia de lluvias extraordinarias e inundaciones, también se logró la autorización para la realización de los recorridos en Cuenca Arroyo Xhosda, con los cuales se observó el estado actual de la infraestructura hidráulica existente, y se logró identificar parte de la problemática y las causas de las inundaciones recientes.



Figura 2.45. Mesa de concertación con representantes municipales y población.



Figura 2.46. Reunión con representantes municipales y población.

Los asistentes a las mesas de concertación y reuniones, corresponde a instancias municipales, asociaciones y población de zona urbana de la ciudad de San Juan del Río; entre los asistentes se encuentran personas que habitan las comunidades de Vistha, San Pedro Ahuacatlán, Santa Cruz Nieto, Banthí, Cerro Gordo, El Sitio, La Fuente, Paso de Mata, Puerta de Palmilla y San Miguel Arcángel, localidades que se recorrieron para conocer la problemática y parte de las causas de las inundaciones recientes.



CAPÍTULO III.

DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL

3. DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL

3.1. RECORRIDOS EN CUENCA ARROYO XHOSDA

Por medio de recorridos de campo, se identificaron las características más importantes de la cuenca de aportación al arroyo Xhosda, como son grado de conservación, conectividad de los cauces e infraestructura existente. Identificar la existencia de indicios de la forma en que responde la cuenca, así como ubicación de estructuras hidráulicas antiguas que puedan delimitar una zona de riesgo o de inundación.

Los recorridos se realizaron considerando que una cuenca tiene tres partes (Racero, 2010):

Cuenca alta, que corresponde a la zona donde nace el río, el cual se desplaza por una gran pendiente.

Cuenca media, la parte de la cuenca en la cual hay un equilibrio entre el material sólido que llega traído por la corriente y el material que sale. Visiblemente no hay erosión.

Cuenca baja, la parte de la cuenca en la cual el material extraído de la parte alta se deposita en lo que se llama cono de deyección.

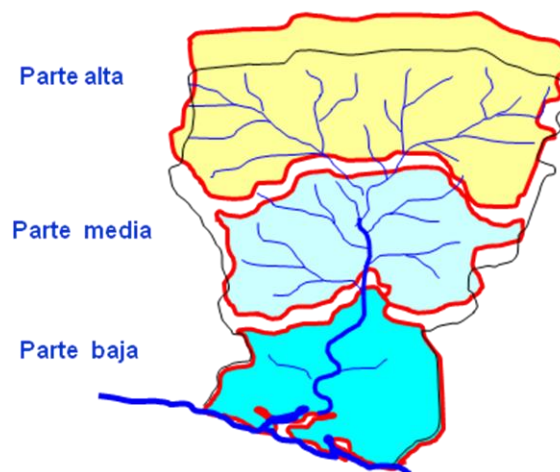


Figura 3.1. Partes de una cuenca.

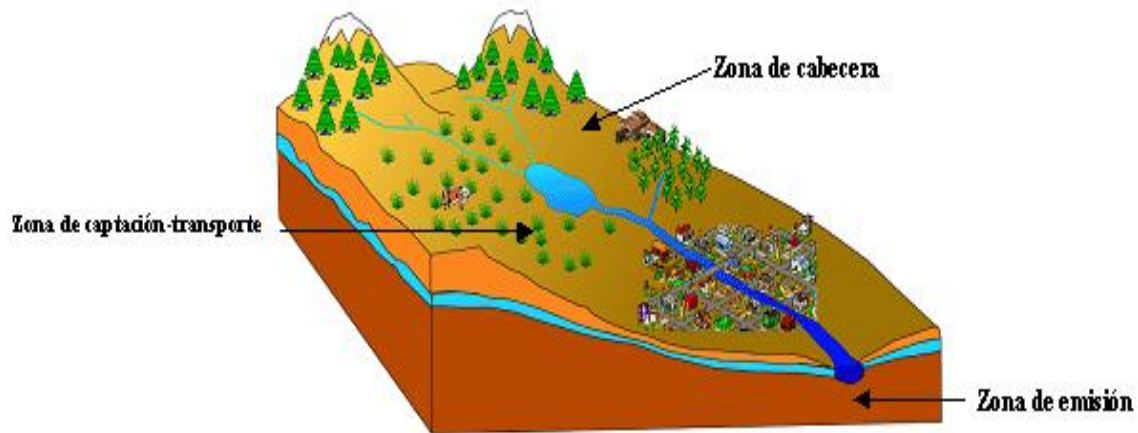


Figura 3.2. Zonas de una cuenca.

Donde:

Zona de Cabecera (cuenca alta): Es la zona donde nacen las corrientes hidrológicas, por ende se localizan en las partes más altas de la cuenca. Generalmente la rodean y por su función, principalmente de captación de agua, presentan la mayor fragilidad hidrológica.

Zona de Captación–Transporte (cuenca media): Es la porción de la cuenca que en principio se encarga de captar la mayor parte del agua que entra al sistema, así como de transportar el agua proveniente de la zona de cabecera. Esta zona puede considerarse como de mezcla ya que en ella confluyen masas de agua con diferentes características físico-químicas.

Zona de Emisión (cuenca baja): Se caracteriza por ser la zona que emite hacia una corriente más caudalosa el agua proveniente de las otras dos zonas funcionales.

La división por zonas resulta útil no solo para analizar el comportamiento de los diferentes componentes de la cuenca; también apoya la delimitación de las zonas funcionales de la cuenca.



3.1.1. CUENCA BAJA

Por medio de inspecciones de la cuenca corroborar el estado de conservación de esta parte de la cuenca, así como los principales vestigios de estructuras existentes o en desuso que permitan delimitar su zona de influencia. Analizar la forma de responder de la cuenca ante eventos menores o anuales, que permitan validar o ajustar la información hidrológica calculada en apartados posteriores.

Por medio de la cartografía básica de la cuenca y las imágenes de satélite, se identificaron las zonas de interés, así como la forma de acceder y los caminos o veredas que permitieran llegar a la infraestructura existente.

Se comenzaron las visitas de campo en la parte alta de la cuenca, continuando indistintamente por la parte baja o parte central, con la finalidad de detectar los elementos generadores de escorrentía, así como los efectos en la parte baja y media de la cuenca. Se han realizado las visitas de campo en la parte media de la cuenca analizando desde el Cerro Banthí, correspondiente a la delimitación de la cuenca. Desde este punto se determina la zona urbana existente y el grado de alteración de la planicie, en donde predominantemente se observa uso de suelo urbano.

Desde este punto se puede apreciar el desarrollo del dren hacia aguas abajo, hasta la confluencia con el dren La Floresta y se observa también la existencia de varios represamientos abandonados o en desuso que indican que la zona de estudio era empleada principalmente como zona de cultivo en donde las estructuras de riego (presas derivadoras o de almacenamiento) podían hacer la función de vasos reguladores de los caudales hacia la zona baja de la cuenca.

Se recorrió la parte oriente de la cuenca en la zona conocida como El Sitio y en cuya población se identifica la existencia de viviendas rurales con un estado de conservación aceptable de la cuenca. Por otra parte la existencia de estas comunidades



permite que los usos de suelo sean restringidos a actividades agropecuarias lo cual beneficia a la zona baja de la cuenca en cuanto a los caudales de escurrimiento totales.

En esta localidad se puede apreciar uno de los arroyos aportadores al arroyo Bantí, el cual nace de las pequeñas cañadas de esta zona. En este punto el cauce es de una capacidad pequeña (máximo de 1 m de ancho, figura 3.12) y no se aprecia erosión o arrastre de material aluvial de la cuenca alta lo que indica su grado de conservación. Por otra parte en la cuestión pecuaria, se cuenta con áreas destinadas al pastoreo de ganado (figura 3.14) de manera que este tipo de acciones evitan la alteración de la cuenca, de manera que los matorrales y pastizales se conservan sin ser dañados.

Adicionalmente en la zona se aprecian algunos cuerpos de agua que evitan el escurrimiento franco hacia aguas abajo, pero por ser estructuras que no cuenta con equipamiento adecuado (vertedor y obras de desfogue, figura 3.16), hacen que estas sean un riesgo latente ya que en caso de un rompimiento los caudales pueden afectar a la población de la parte media y baja de la cuenca.

Existen ciertas alcantarillas férreas (figura 3.18) cuyo principal objetivo es comunicar las partes opuestas de una cuenca segmentada, sin embargo lo que se genera en estas es una concentración de caudales que no son fácilmente desalojados y provocan encharcamientos de consideración.

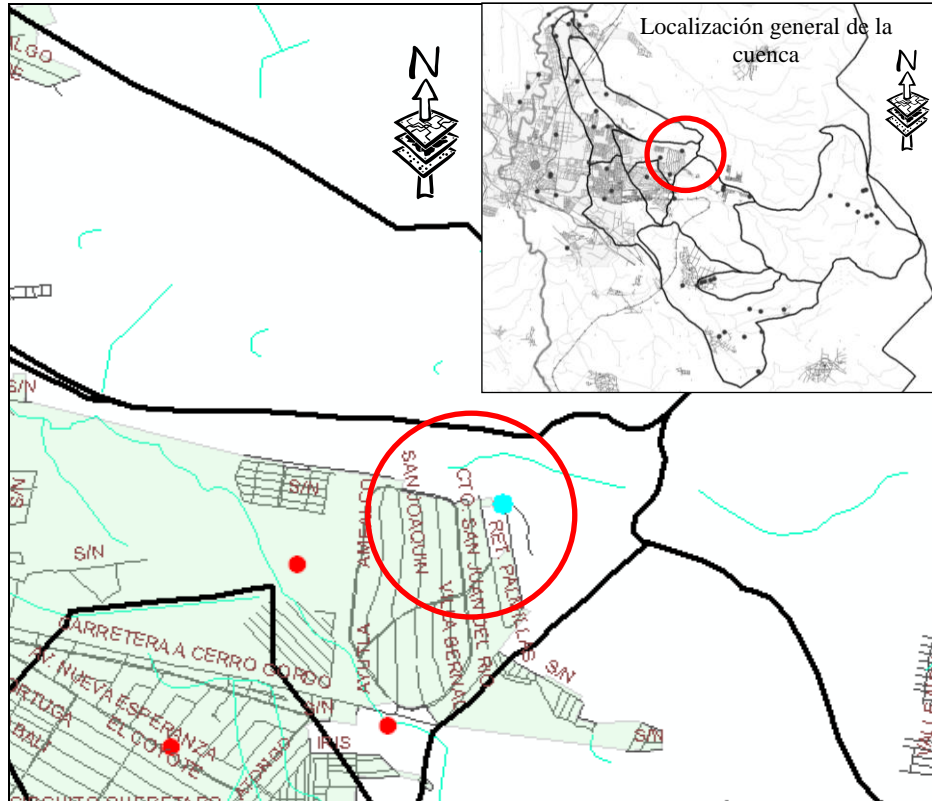


Figura 3.3. Vista de la cuenca del arroyo Banthí, de oriente a poniente.



Figura 3.4. Vista de la cuenca del arroyo Banthí, de oriente a poniente.

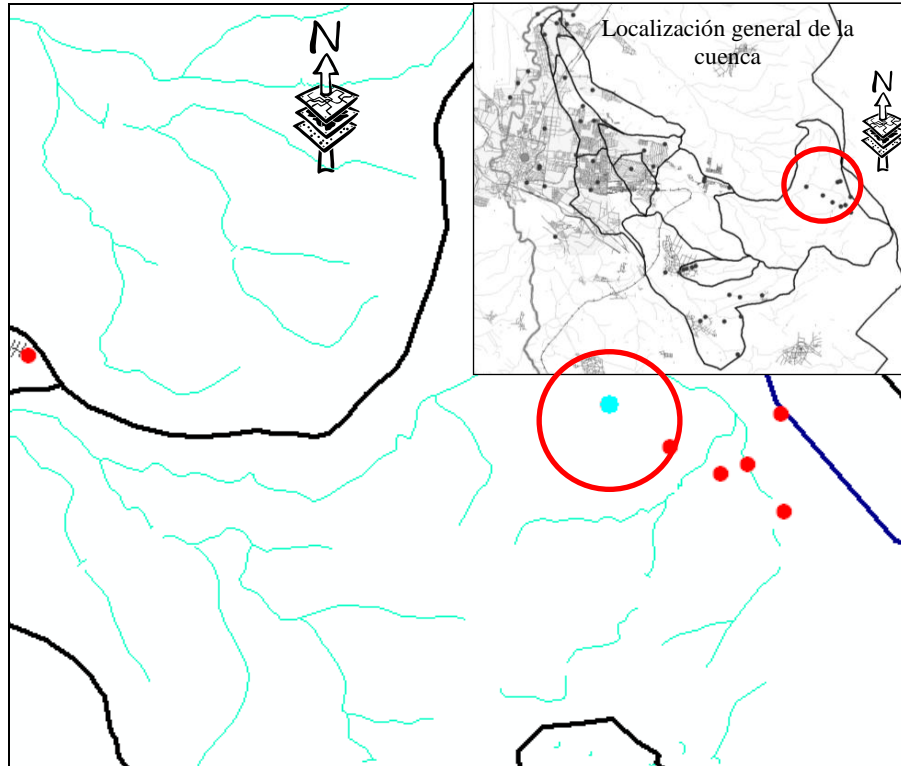


Figura 3.5. Vista de la cobertura vegetal en las cercanías de la localidad El Sitio.



Figura 3.6. Vista de la cobertura vegetal en las cercanías de la localidad El Sitio.

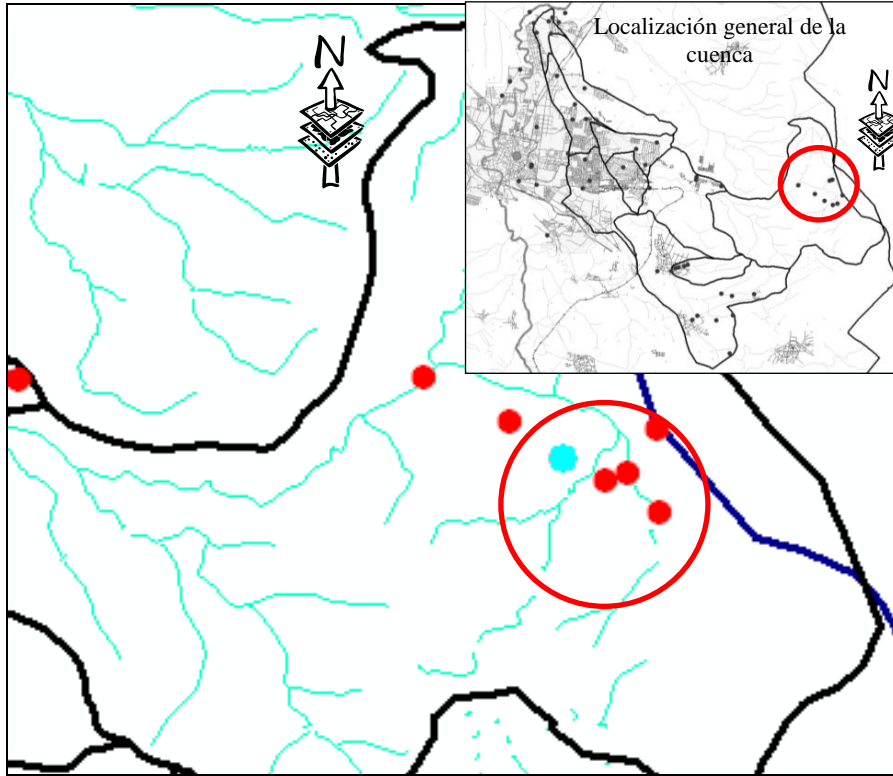


Figura 3.7. Vista general del grado de conservación de la cuenca en la localidad El Sitio.



Figura 3.8. Vista general del grado de conservación de la cuenca en la localidad El Sitio.

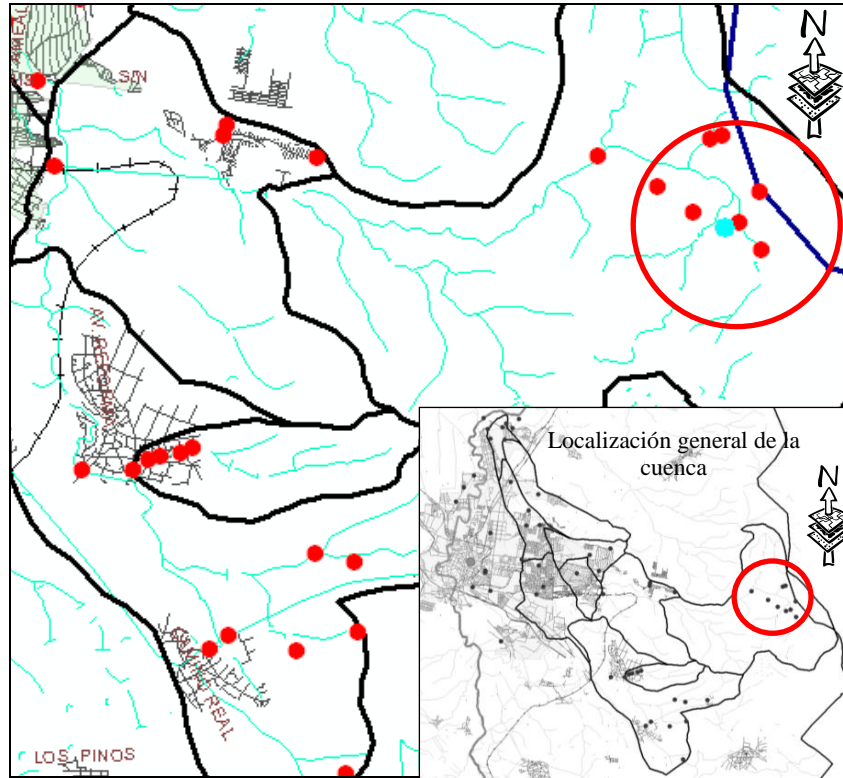


Figura 3.9. Vista general de la localidad El Sitio, donde se aprecian principalmente zonas de matorral y pastizales.



Figura 3.10. Vista general de la localidad El Sitio, donde se aprecian principalmente zonas de matorral y pastizales.

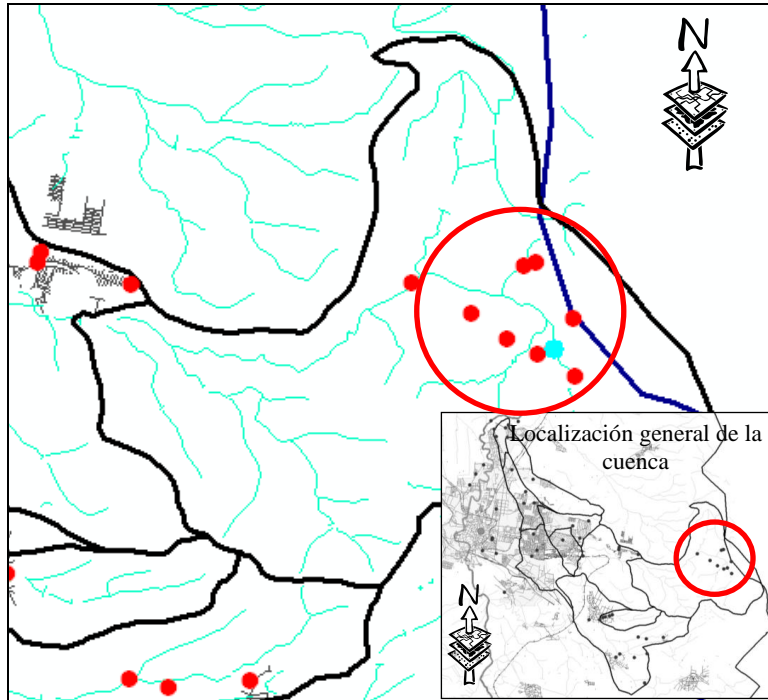


Figura 3.11. Vista de uno de los arroyos aportadores al río Banthí, en la localidad El Sitio.



Figura 3.12. Vista de uno de los arroyos aportadores al río Banthí, en la localidad El Sitio.

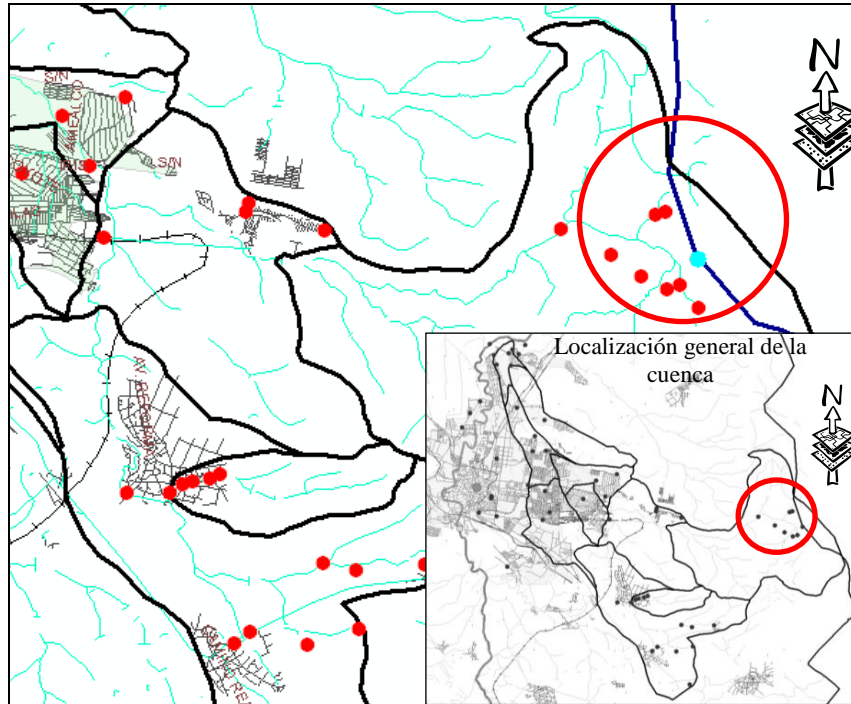


Figura 3.13. Confinamientos de pastoreo tecnificado, que permite un buen nivel de conservación de los suelos en la cuenca.



Figura 3.14. Confinamientos de pastoreo tecnificado, que permite un buen nivel de conservación de los suelos en la cuenca.

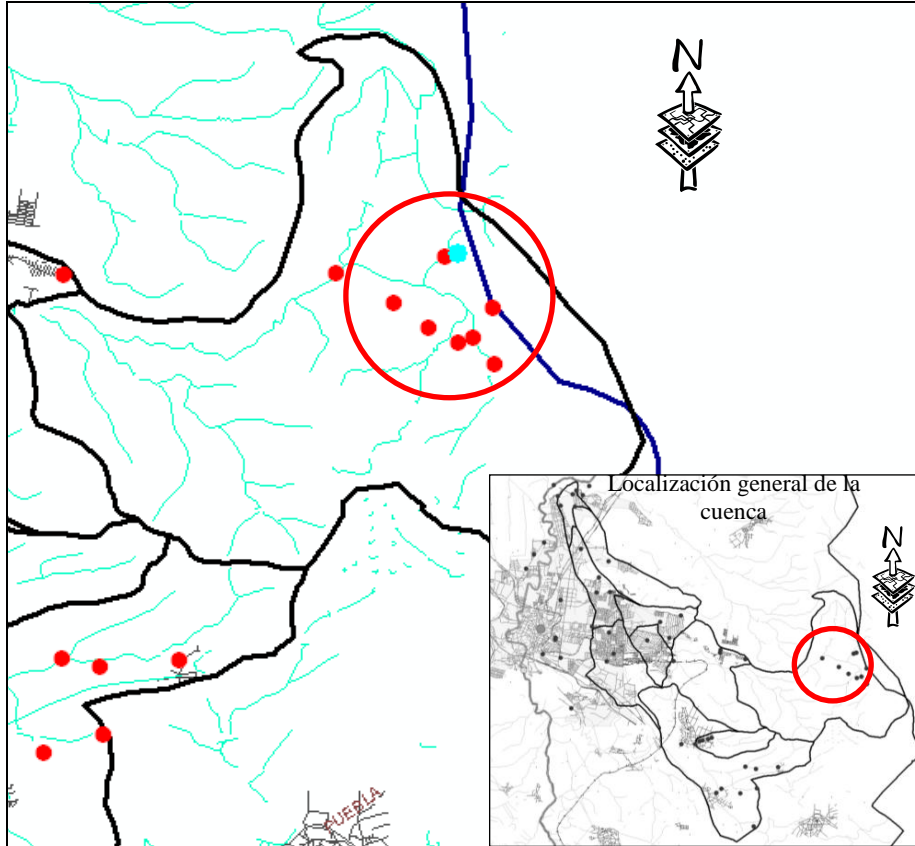


Figura 3.15. Vista general de un bordo de abrevadero, que cumple con funciones de retención de azolve, aunque puede representar un punto de riesgo en caso de rompimiento de la estructura.



Figura 3.16. Vista general de un bordo de abrevadero, que cumple con funciones de retención de azolve, aunque puede representar un punto de riesgo en caso de rompimiento de la estructura.

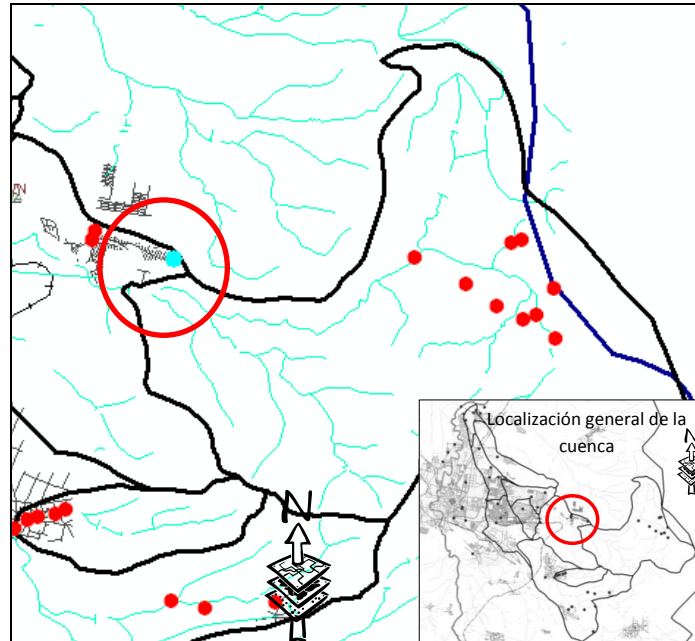


Figura 3.17. Vista de un paso vehicular, en donde actualmente se observan encharcamientos.



Figura 3.18. Vista de un paso vehicular, en donde actualmente se observan encharcamientos.



La segunda parte del recorrido se centro en la parte sur de la cuenca, iniciando en la localidad San Miguel Arcángel, del cual el parteaguas está definido por la carretera San Juan del Río a Huichapan (figura 3.20).

En la localidad San Miguel Arcángel, se observa que el uso de suelo actual es de cultivo y pastizales, los cuales favorecen a la esorrentía potencial que se presenta hacia agua abajo de la cuenca; posteriormente se llevó a cabo la visita a la zona de Puerta de Palmillas, donde se encuentra localizado un cuerpo de agua cuyo vertedero descarga directamente sobre las construcciones existentes en la localidad, lo que representa un riesgo potencial para la población (figura 3.22 y 3.24); se pueden emplear este tipo de estructuras para determinar la forma en que regulan los caudales que se generan, es un bordo de uso eminente de abrevadero y que no puede ser considerado para regular avenidas; por el contrario puede ser un punto de riesgo para la cuenca aguas abajo.

La siguiente localidad a visitar es Paso de Mata, en donde se puede apreciar un cruce vehicular sobre el cauce en donde comparando el área hidráulica de un cruce similar de ferrocarril, localizado aguas abajo, es significativamente mayor, por lo que la estructura no cuenta con la capacidad de conducir el caudal que genera la cuenca en este punto.

Se cuenta en la misma localidad una serie de 3 represamientos de agua que permiten almacenar agua, lo que de la misma manera que los mencionados anteriormente, constituyen un riesgo pues son estructuras que no están consideradas para regular avenidas y puede existir el riesgo de rupturas en su estructura.

Se observa en el tercero de ellos (figura 3.33) que se ha sobrelevado el vertedor, sin incrementar la elevación de la cortina del represamiento, lo cual provoca efectos de empujes sobre la estructura y en caso de una avenida extraordinaria, incrementos substanciales en la carga hidráulica sobre la cortina, la cual puede verse desbordada y ya que no se identifica un arropamiento de roca puede presentarse una falla de la estructura.

Hacia aguas abajo de estos cuerpos de agua, las excedencias son conducidas por callejones y derechos del río que han sido invadidos por lo pobladores, encontrando en el cauce muros, parcelas (figura 3.36) e infraestructura urbana (figura 3.37).

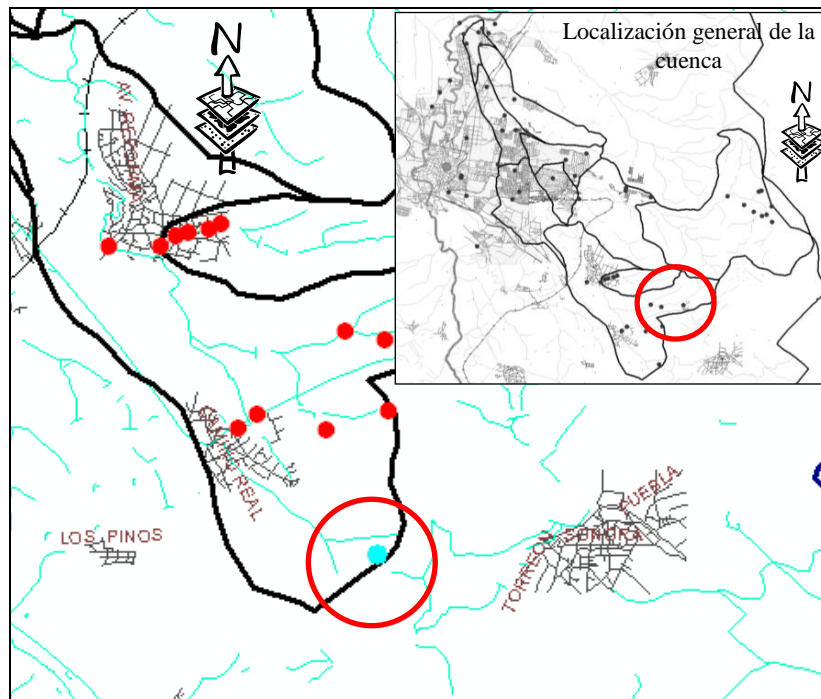


Figura 3.19. Carretera que delimita la cuenca de aportación del arroyo Banthí, en las cercanías de San Miguel Arcángel.



Figura 3.20. Carretera que delimita la cuenca de aportación del arroyo Banthí, en las cercanías de San Miguel Arcángel.

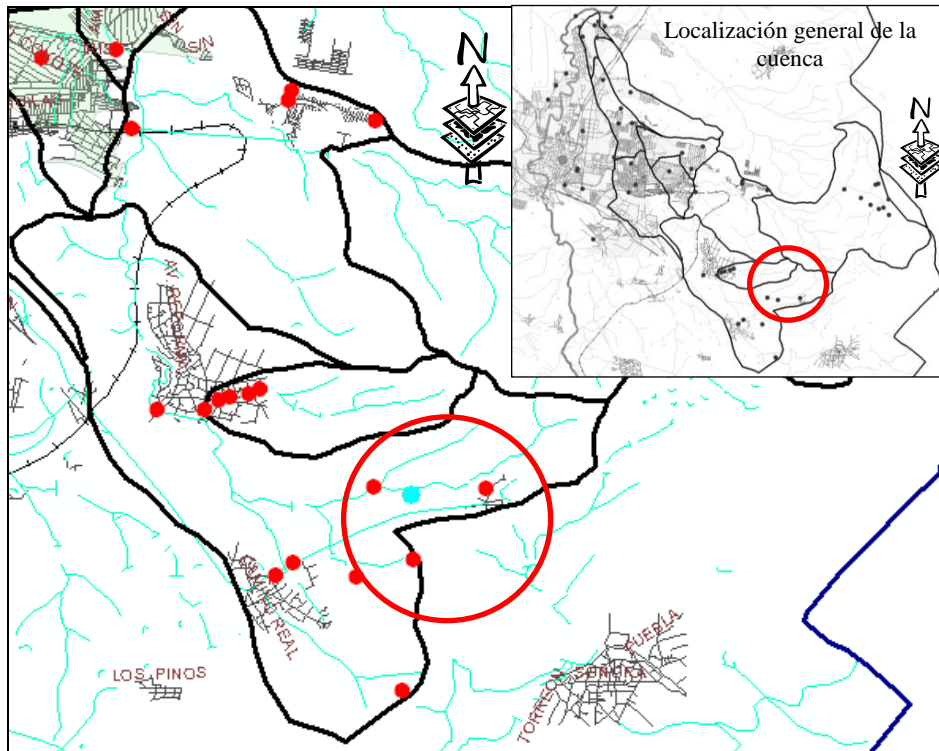


Figura 3.21. Vista general de la cobertura vegetal de la zona de estudio en San Miguel Arcángel.



Figura 3.22. Vista general de la cobertura vegetal de la zona de estudio en San Miguel Arcángel.

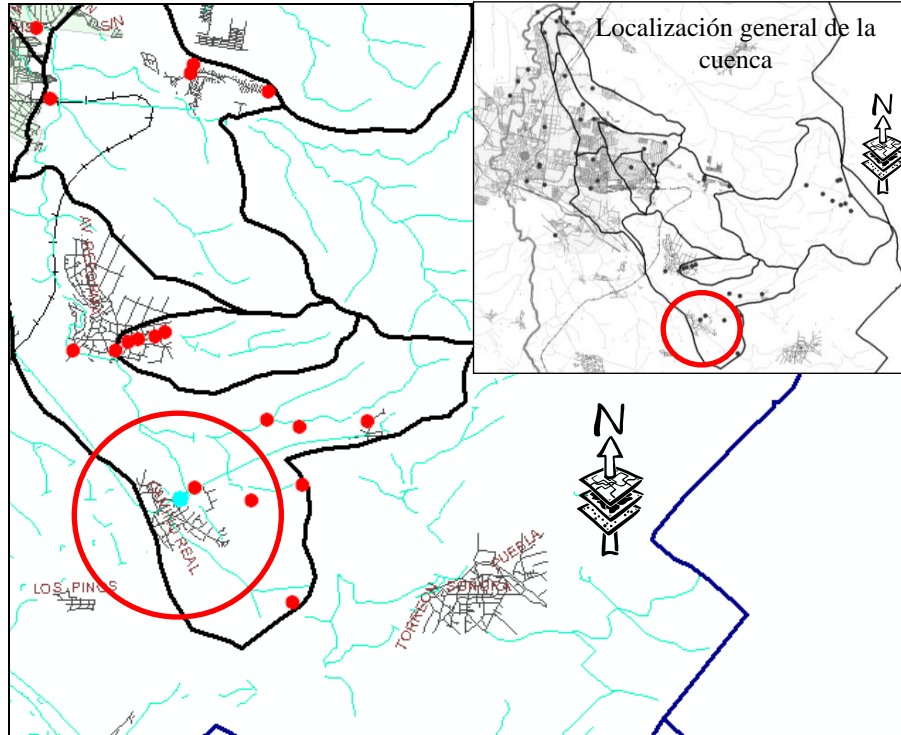


Figura 3.23. Cuerpo de agua localizado en la comunidad Puerta de Palmillas.



Figura 3.24. Cuerpo de agua localizado en la comunidad Puerta de Palmillas.

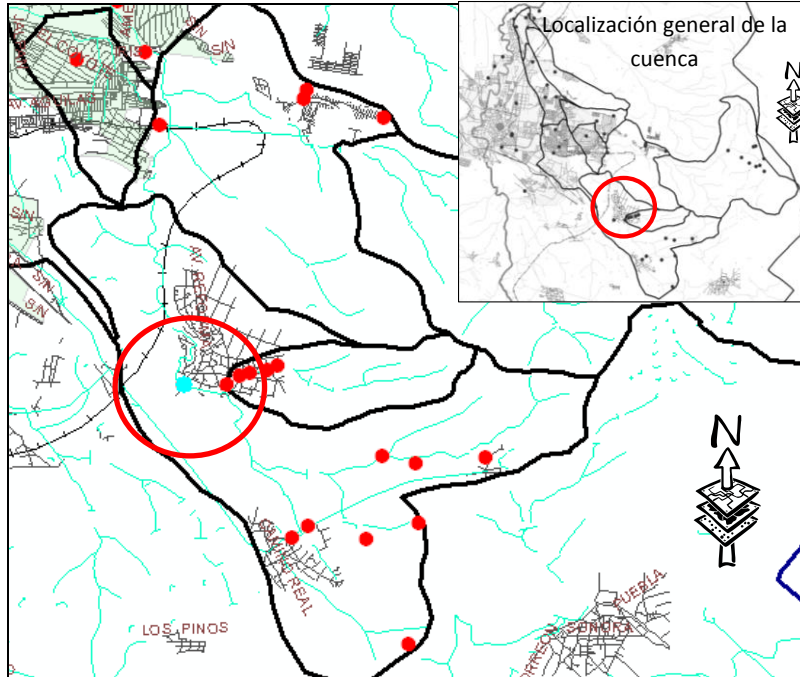


Figura 3.25. Vista del vertedor de demasías del cuerpo de agua en Puerta de Palmillas, localizado por la margen derecha y que descarga directamente a viviendas.



Figura 3.26. Vista del vertedor de demasías del cuerpo de agua en Puerta de Palmillas, localizado por la margen derecha y que descarga directamente a viviendas.



Figura 3.27. Vista de puente vehicular sobre el dren Banthí, en la localidad Paso de Mata.



Figura 3.28. Aguas abajo de la ubicación del puente antes descrito, vista de cruce férreo, de mayor amplitud de área hidráulica.

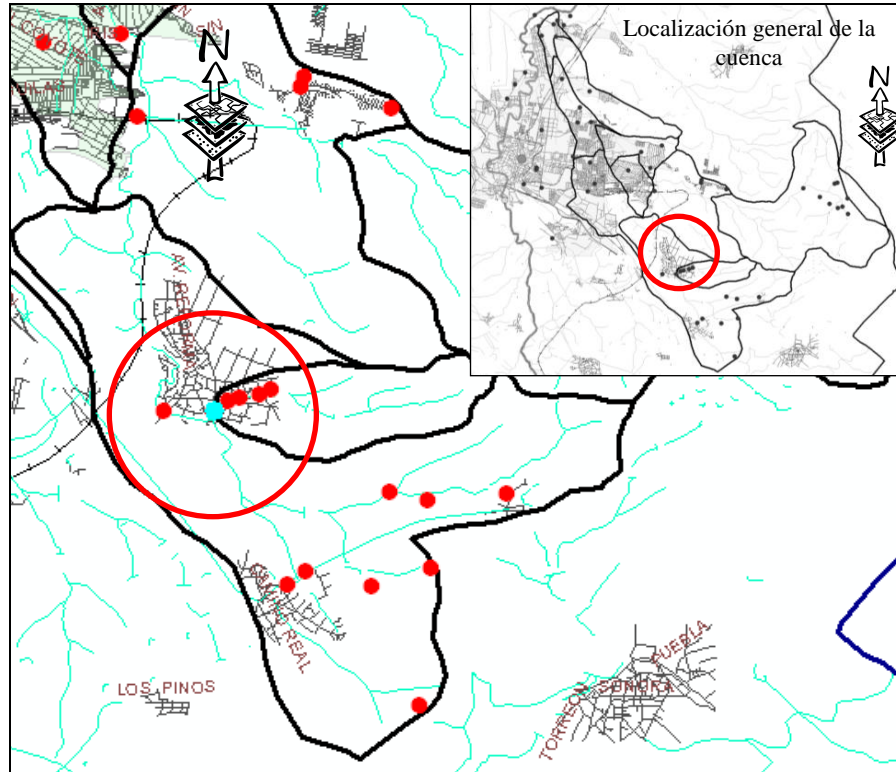


Figura 3.29. Vista de cuerpo de agua localizado en Paso de Mata, dentro de zona urbana.



Figura 3.30. Vista de cuerpo de agua localizado en Paso de Mata, dentro de zona urbana.

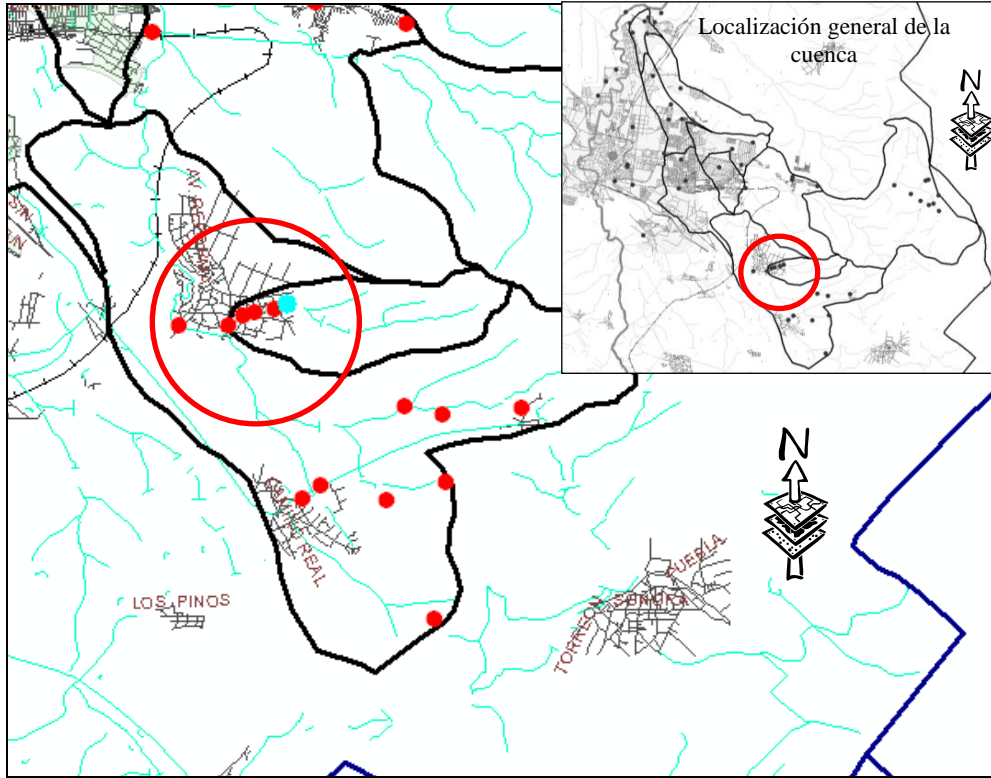


Figura 3.31. Vista de segundo cuerpo de agua localizado en Paso de Mata.



Figura 3.32. Vista de segundo cuerpo de agua localizado en Paso de Mata.



Figura 3.33. Vista general de vertedor por margen derecha, que ha sido sobrelevado, poniendo en riesgo la seguridad de la estructura.

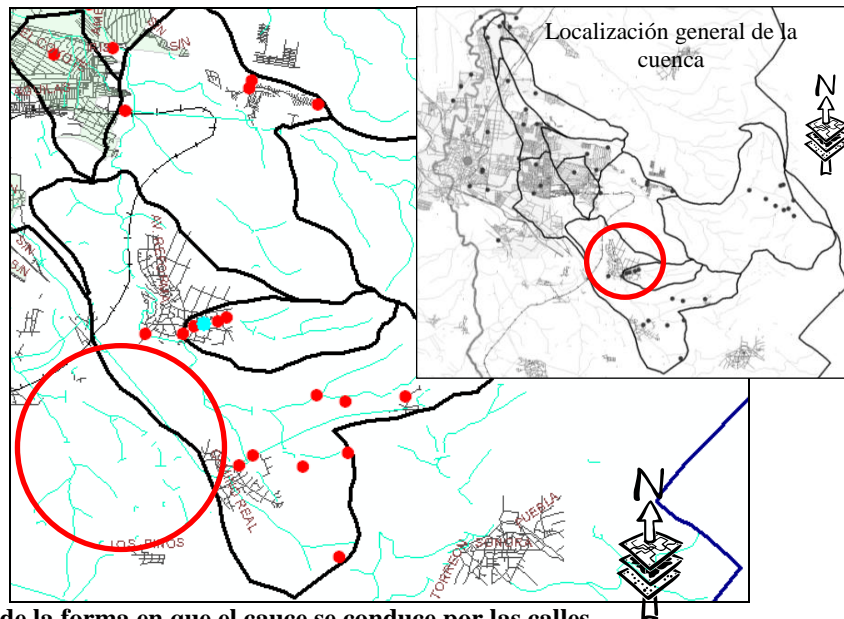


Figura 3.34. Vista de la forma en que el cauce se conduce por las calles.



Figura 3.35. Vista de la forma en que el cauce se conduce por las calles.



Figura 3.36. Invasión de la zona federal con construcciones de los vecinos de la localidad.

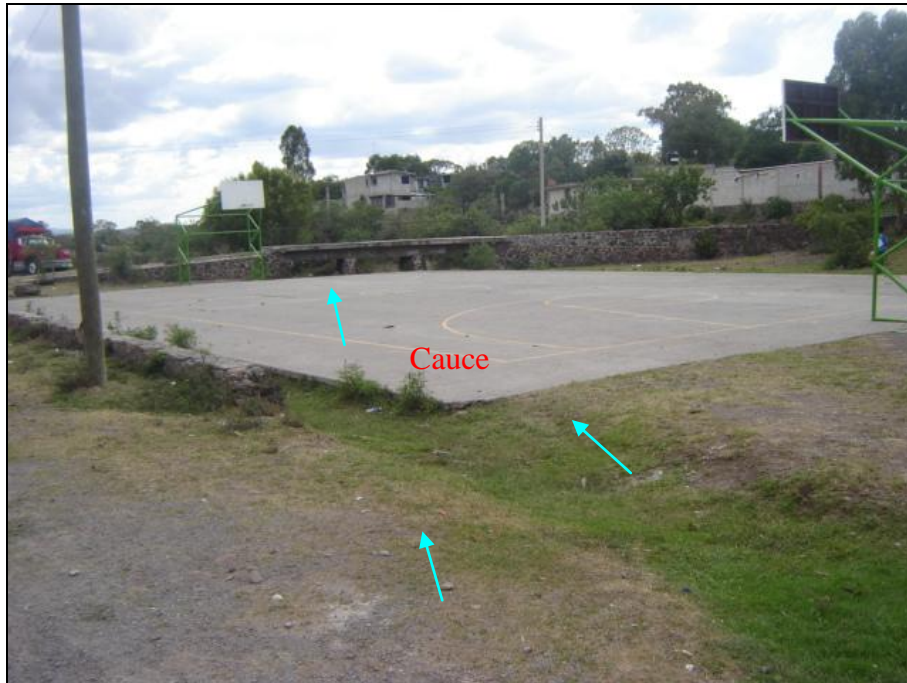


Figura 3.37. Vista de la infraestructura existente en la zona de paso del escurrimiento.



3.1.2. CUENCA ALTA

Por medio de inspecciones de la cuenca corroborar el estado de conservación de la zona norte de la cuenca, así como los principales vestigios de estructuras existentes o en desuso que permitan delimitar su zona de influencia.

Analizar la forma en que se canalizan los escurrimientos en esta zona de la cuenca la cual presenta pendientes muy bajas, además de poder determinar el funcionamiento ante los eventos climatológicos de diseño.

Como se indica en apartados anteriores, por medio de la cartografía básica de la cuenca y las imágenes de satélite, se identificaron las zonas de interés, así como los puntos de población y vialidades asociados a los cauces de la cuenca.

Se llevó a cabo el recorrido de campo iniciando en la localidad Visthá, la cual se localiza en la zona norte de la cuenca, en el puente que cruza el arroyo Xhosda, con la carretera a La Llave. En este punto se pueden apreciar vestigios de una estructura derivadora (figura 3.39 y 3.40) cuya finalidad era represar el agua para riego de las parcelas de la zona.

Esta estructura era operada anteriormente, por medio de compuertas deslizantes o guías que permitían regular los volúmenes en el vaso y los caudales a entregar hacia aguas abajo. Se lleva a cabo el recorrido por el perímetro el vaso para determinar si la zona de inundación se encuentra preservada; se accede por la zona norte de la localidad San Pedro Ahuacatlán en donde se aprecian invasiones al vaso regulador antes mencionado (figura 3.42).

De acuerdo a las inspecciones de campo en la misma zona de estudio se pudo apreciar el funcionamiento de la zona de inundación ante una avenida en el vaso, sin retener el agua en la represa y que como inicialmente se asume, en esta zona se concentran los escurrimientos, por lo que se considera un punto de riesgo del cual se debe preservar el uso

agrícola y evitar afectaciones por cambios de uso de suelo. En la misma localidad en la calle Emiliano Zapata, se puede observar un centro educativo que se encuentra dentro de la zona de influencia del vaso regulador (figura 3.45), el cual tiene alto riesgo de tener afectaciones por inundaciones.

Por otra parte los escurrimientos que acceden a San Pedro, son canalizados a las zonas bajas de la cuenca, pasando por los campos de cultivo (figura 3.47) y finalmente comunicándose aguas abajo por medio de una alcantarilla. Aguas abajo del puente de San Pedro Ahuacatlán, el cauce divaga (figura 3.49) hasta encontrar al río San Juan, pasando antes por zonas de planicies y que tienen como objetivo regar las tierras de cultivo.

A la altura de la localidad Santa Cruz Nieto, se ubica un bordo antiguo cuyo vaso se encuentra restringido por los usos agrícolas y que actualmente no se encuentra invadido, por lo que se recomienda que este tipo de predios mantengan su vocación actual y con esto evitar daños a la cuenca aguas abajo.

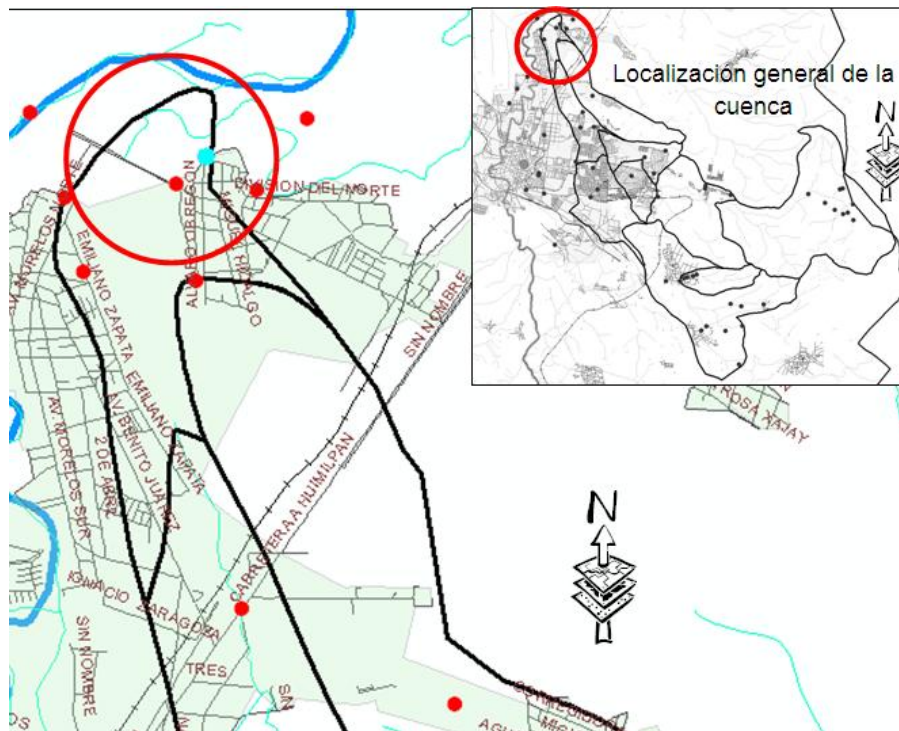


Figura 3.38. Vista del vaso regulador en Visthá, en el cruce con la carretera a La Llave.



Figura 3.39. Vista del vaso regulador en Visthá, en el cruce con la carretera a La Llave.



Figura 3.40. Vista del puente en su parte superior, se observa al fondo el vaso regulador.

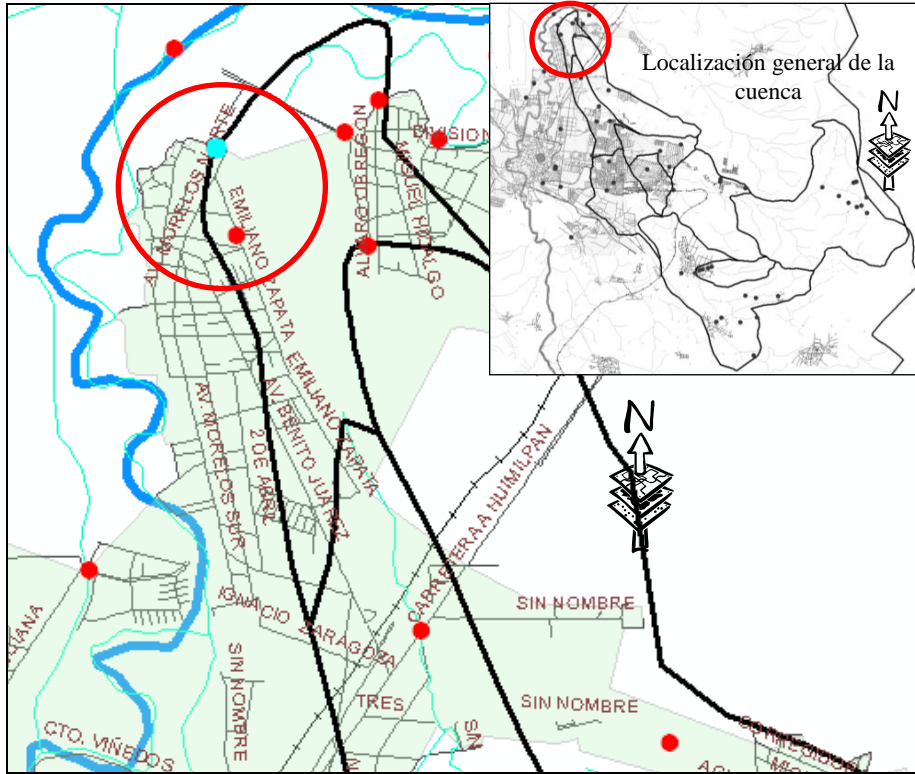


Figura 3.41. Vista comparativa general del bordo en San Pedro Ahuacatlán, invadido por asentamientos e infraestructura, ante un evento de inundación del vaso.



Figura 3.42. Vista comparativa general del bordo en San Pedro Ahuacatlán, invadido por asentamientos e infraestructura, ante un evento de inundación del vaso.



Figura 3.43. Vista de los asentamientos humanos e infraestructura urbana que delimitan el contorno del bordo en San Pedro Ahuacatlán.

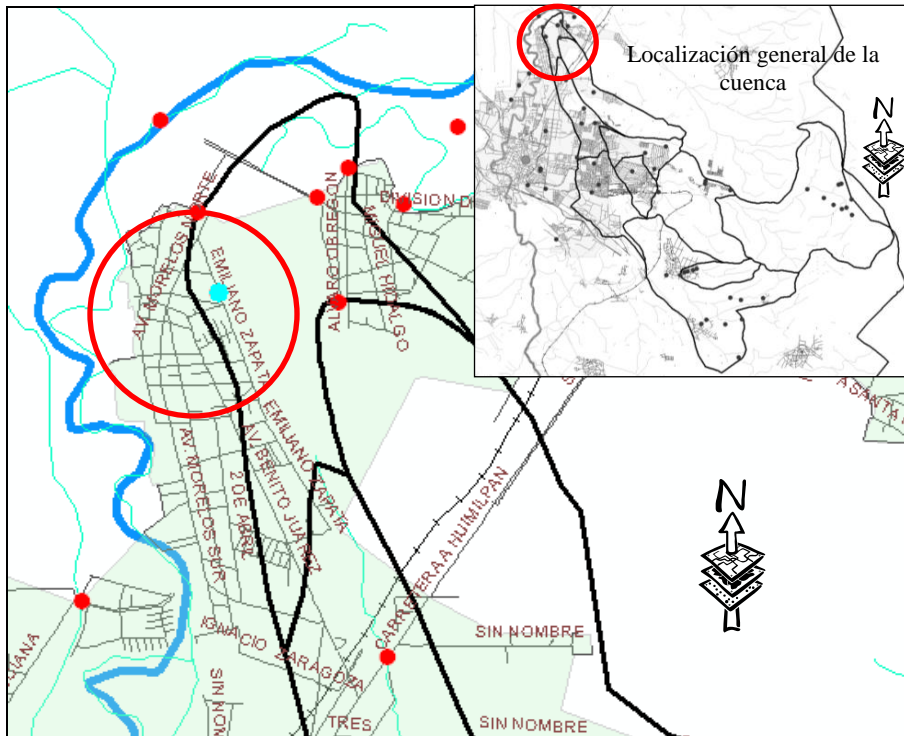


Figura 3.44. Vista de los asentamientos humanos e infraestructura urbana que delimitan el contorno del bordo en San Pedro Ahuacatlán.



Figura 3.45. Instalaciones del centro educativo ubicado en la zona de influencia del vaso regulador.

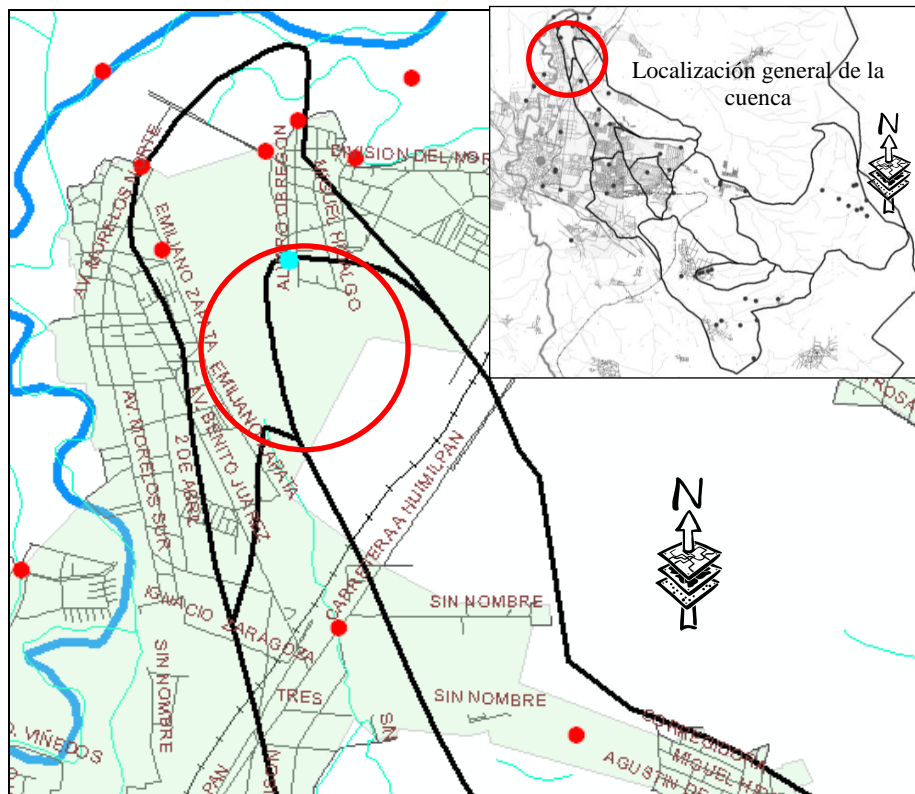


Figura 3.46. Instalaciones del centro educativo ubicado en la zona de influencia del vaso regulador.



Figura 3.47. Vista del acceso del arroyo Xhosda, por los campos de cultivo y que cruza la carretera a La Llave por una alcantarilla.

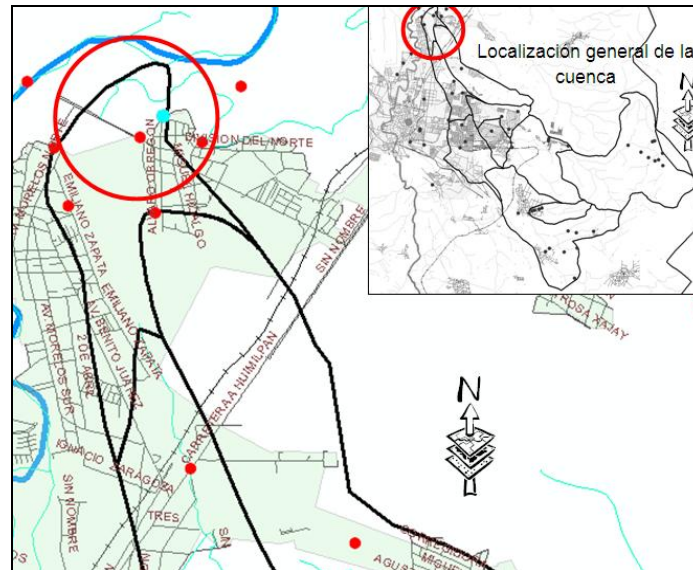


Figura 3.48. Vista del acceso del arroyo Xhosda, por los campos de cultivo y que cruza la carretera a La Llave por una alcantarilla.



Figura 3.49. Vista de la forma en que los escurrimientos se conducen por los campos de cultivo de la localidad Visthá, antes de unirse al río San Juan.

En el cruce de la carretera a Tequisquiapan, se observa un cruce del arroyo Xhosda (figura 3.51). Este punto se considera de especial atención ya que los arrastres del cauce producto de las avenidas de diseño o por rompimientos de abrevaderos, pueden afectar la vialidad e incomunicar la avenida central. Las partes donde se cuenta con aprovechamiento de las tierras de la zona de Santa Cruz Escandón se encuentran en buenas condiciones ya que se aplican en cultivo y se recomienda que estos predios sigan manteniendo su uso de suelo para evitar así incrementos en los caudales que escurren hacia aguas abajo.

Al centro norte de la cuenca se observa la confluencia del arroyo Banthí y dren La Floresta (figura 3.57), los cuales conforman el arroyo Xhosda. Es de importancia mencionar que aguas abajo de este punto de unión de ambos cauces, se definía la estructura de un bordo o presa derivadora (figura 3.58) utilizada para riego de los sembradíos de la zona y que ha cambiado su uso de agrícola a urbano.

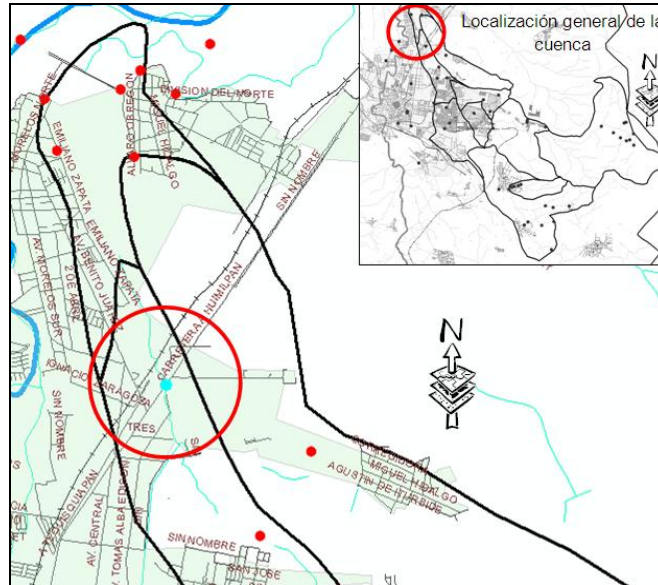


Figura 3.50. Vista del cruce del arroyo Xhosda, en su intersección con la carretera a Tequisquiapan.



Figura 3.51. Vista del cruce del arroyo Xhosda, en su intersección con la carretera a Tequisquiapan.

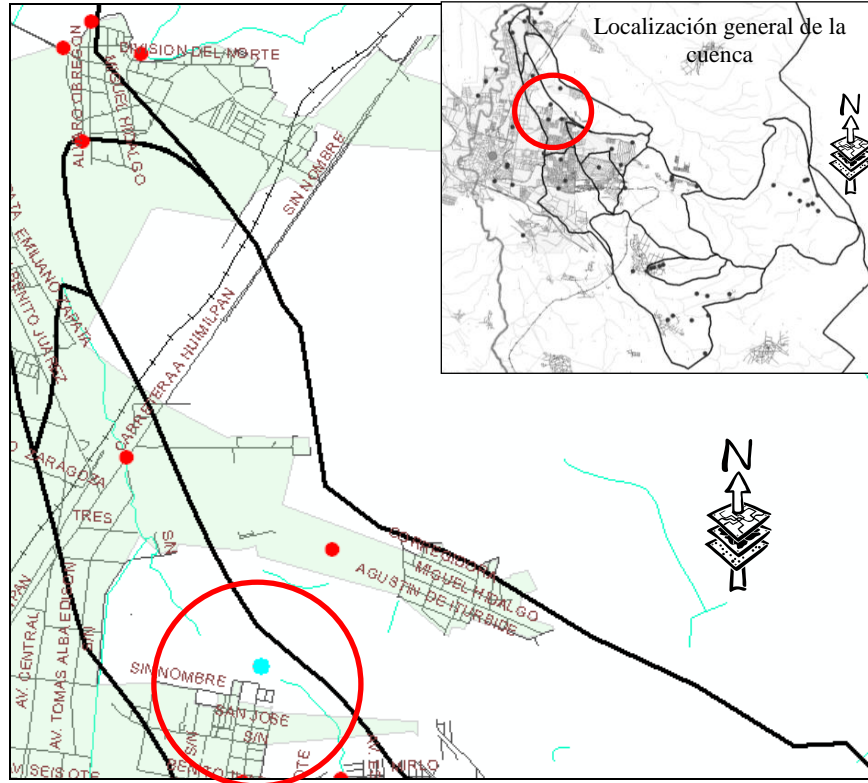


Figura 3.52. Zona del vaso de un bordo antiguo que se encuentra actualmente empleado en uso agrícola, en Santa Cruz Nieto.



Figura 3.53. Zona del vaso de un bordo antiguo que se encuentra actualmente empleado en uso agrícola, en Santa Cruz Nieto.

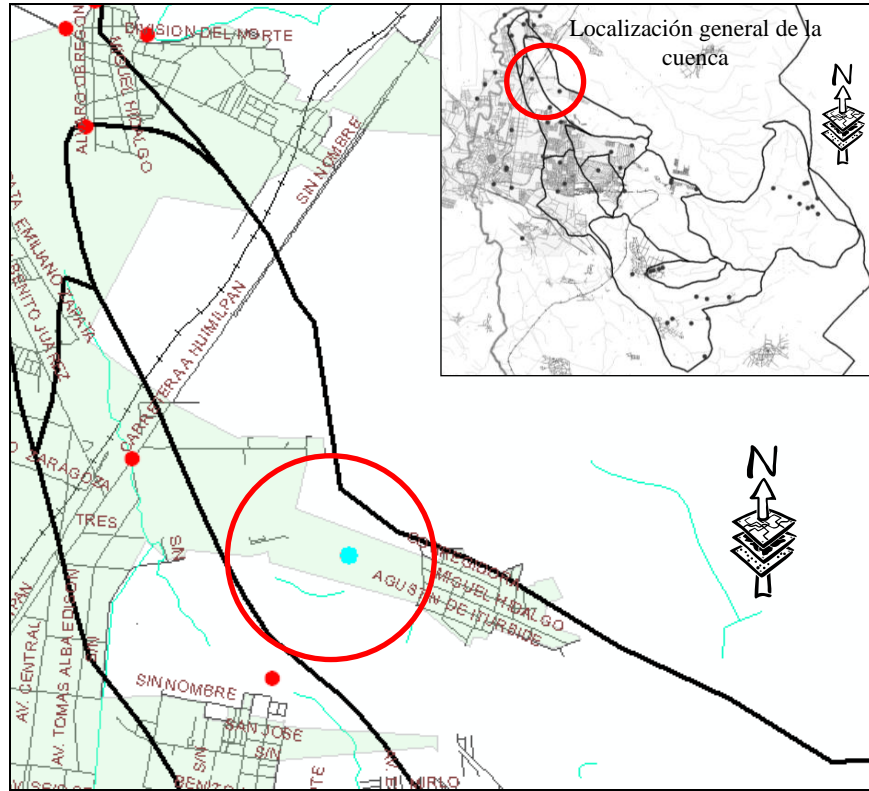


Figura 3.54. Zona de la cuenca en Santa Cruz Escandón, donde se observa uso agrícola y que corresponde a la zona donde se localiza el parteaguas de la cuenca.



Figura 3.55. Zona de la cuenca en Santa Cruz Escandón, donde se observa uso agrícola y que corresponde a la zona donde se localiza el parteaguas de la cuenca.

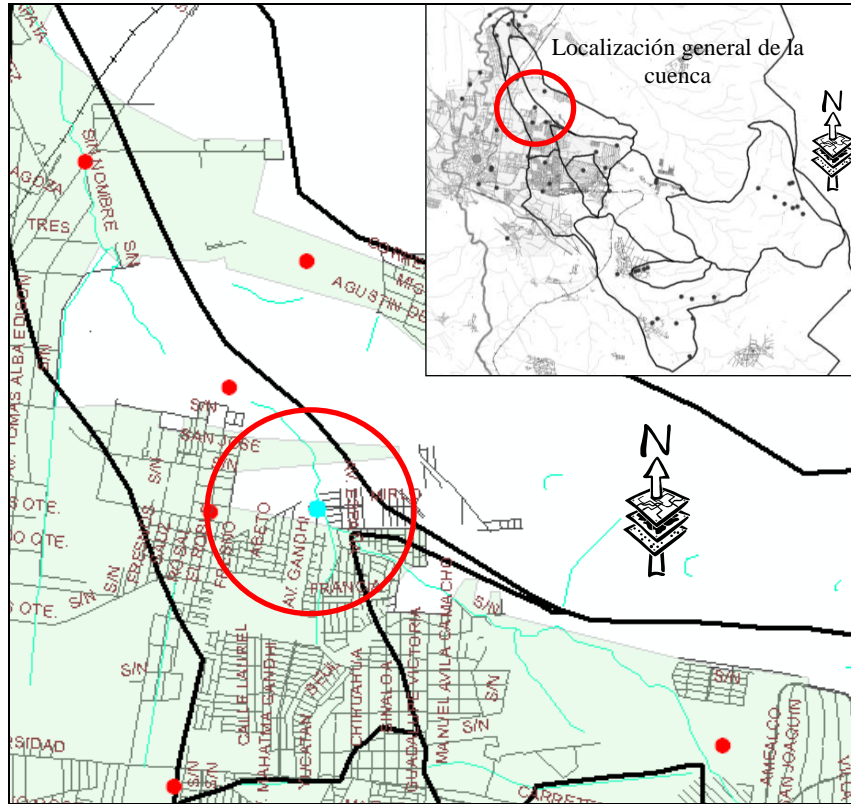


Figura 3.56. Vista de la confluencia de los drenes Floresta y Banthí.



Figura 3.57. Vista de la confluencia de los drenes Floresta y Banthí.



Figura 3.58. Vista general de los vestigios de la estructura de almacenamiento en el dren Banthí y dren La Floresta.



3.1.3. CUENCA MEDIA

Se obtuvo información adicional de la cuenca de estudio, con la finalidad de complementar los datos para el estudio hidrológico y se realizó un recorrido para identificar los límites de la cuenca aportadora, ya afectada por la traza urbana y parte de la cuenca alta, identificar la dirección y confluencia de los arroyos hacia las partes bajas de la cuenca, así como identificar las principales medidas de protección contra inundaciones y el manejo de la cuenca.

Identificar los rasgos característicos de la cuenca, así como las zonas en donde es posible la incorporación de obras de ingeniería que permitan el paso regulado de los escurrimientos de las zonas altas de la cuenca, de manera que se minimicen los riesgos por inundaciones a la población e infraestructura urbana.

Esta visita se llevo a cabo con personal de la SEDUOM, iniciando en la localidad de Rancho de en Medio, en este punto se visitó un bordo ubicado al sur-poniente de la localidad (figura 3.59), este embalse capta los escurrimientos excedentes y que aportan los bordos de la localidad de “Paso de Mata”, ubicada aguas arriba.

Aguas arriba del embalse se encontró una cortina conformada por rocas, cuya función aparente es la de evitar el paso de azolve hacia el embalse propiciando con ello que el bordo no pierda capacidad, por otra parte se puede recomendar que esa cortina sirva como rompe picos.



Figura 3.59. Bordo en la Localidad Rancho de Enmedio.



Figura 3.60. Vista Aguas Arriba del Embalse del Bordo de Rancho de Enmedio.



Figura 3.61. Alcantarilla aguas abajo del bordo.

Aguas abajo de la cortina de este bordo se tiene una alcantarilla, (ver figura 3.61), que atraviesa la vía del ferrocarril, en este punto se recomienda colocar entre la sección de esa alcantarilla un par de columnas para dar un poco de tiempo de retención al flujo excedente del bordo y también sería conveniente reforzar los taludes de la vía del tren.

De ese lugar se acudió a buscar un punto alto de observación para tener una panorámica de la zona, ese lugar se indica en la figura 3.59. De acuerdo a lo observado desde ese punto el bordo visitado corresponde al cauce del arroyo Xhosdá.

Durante el recorrido llamó la atención que en la colonia “Las Palomas”, (ver figura 3.62), se tiene un pequeño dren de una sección aproximada de 1 m^2 , el cual sigue hacia el norte por la calle “Camino a Rancho de En medio” y hace un quiebre casi a noventa grados en dirección Oriente pasando la calle “Santa Alicia” pasando atrás de varias casas, después se observa que el sentido del escurrimiento vuelve hacer otro cambio brusco de dirección ahora hacia el norte siguiendo entre las casas encontrar de nueva cuenta la calle “Camino a Rancho de En medio” en donde se deja escurrir por esa vialidad y encontrarse con el camino a “Cerro Gordo”.



Figura 3.62. Trayecto del dren existente de la colonia Las Palomas, localidad Rancho de Enmedio.

En ese punto se debió haber seguido el trazo de ese dren por la calle Camino a Rancho de Enmedio hasta hacerlo llegar por lo menos hasta el bordo que se ubica pasando el camino a Cerro Gordo, (ver figura 3.62), de lo anterior se recomienda adecuar ese dren y continuarlo como se menciona hasta el bordo. Otro punto que llamó la atención durante la visita es en la colonia “Granjas Banthi” donde se observa que la mayor parte de lo que escurre en esa colonia sigue por la calle “Tolimán” y sigue el trazo que se marca en la figura 3.63, hasta reconocer al bordo.

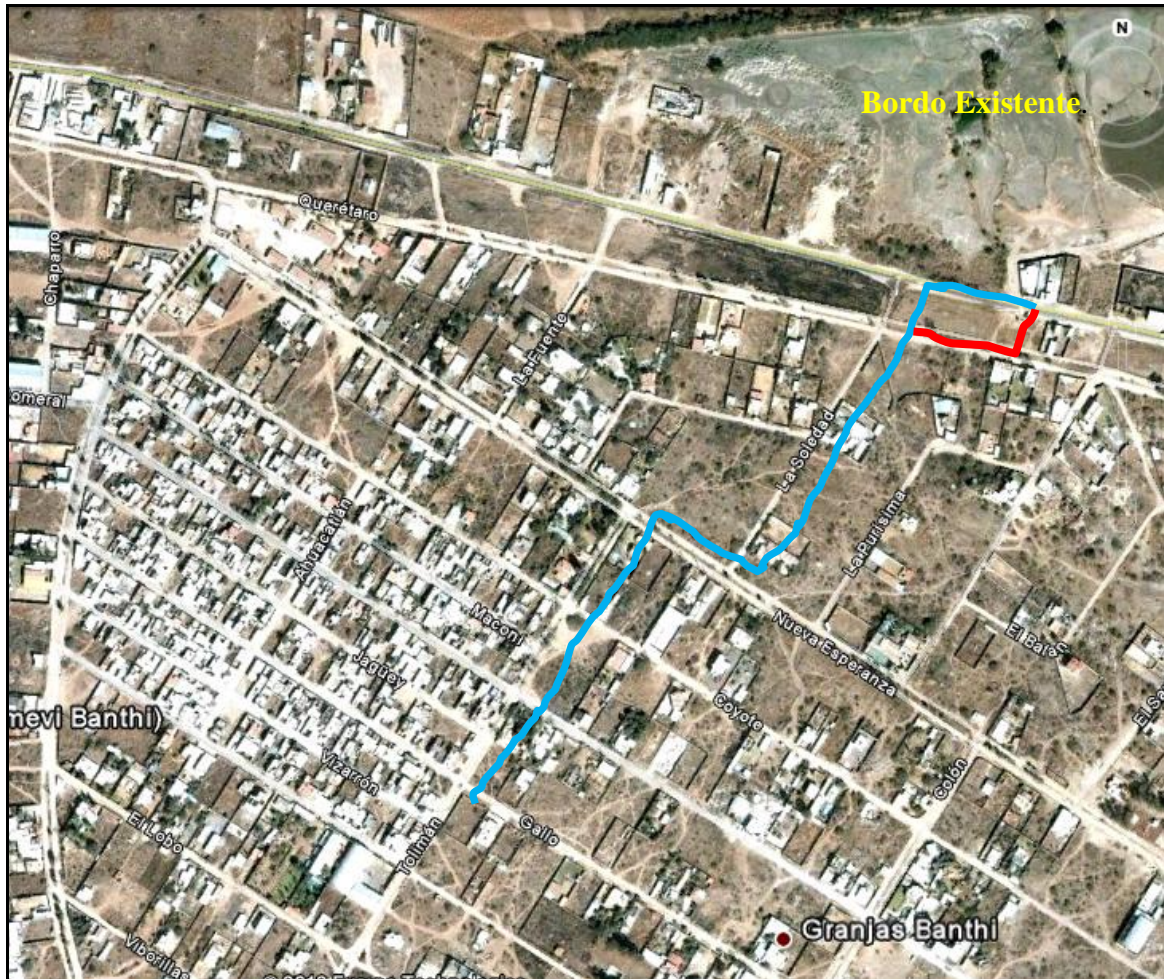


Figura 3.63. Recorrido que sigue el escurrimiento en la colonia Granjas Banthi.

Se observa en esa parte, dados los rastros de erosión y arrastre que el agua llega a escurrir como se marca con línea azul, en lugar de seguir como se muestra en la línea roja hasta llegar a la alcantarilla que se muestra en la figura 3.64.



Figura 3.64. Vista Aguas abajo de la Alcantarilla de la Colonia Granjas Banthí, que atraviesa el Camino a Cerro Gordo.

Los escurrimientos de esa colonia como se ha mencionado llegan hasta un bordo, que actualmente ya presenta indicios de invasiones, esto puede ocasionar problemas debido a que es una zona de inundación y por ende de alto riesgo, esa superficie es una zona de regulación natural que debe conservarse como tal, se recomienda que su uso de suelo no sea modificado y que se utilice como una zona de control.

Continuando con el recorrido al sur-poniente del mencionado bordo, se llegó hasta un puente el cual nos comenta personal de la SEDUOM que en una avenida fuerte fue derribado por el flujo y que solo se volvió a colocar sin estudios previos, aparentemente se observa que el cauce del Arroyo Xhosdá fue modificado y eso está provocando problemas de socavación en la estructura de este puente por lo que sería conveniente revisar si hidráulicamente tiene la capacidad para soportar una avenida fuerte.



Figura 3.65. Vista aguas debajo de la alcantarilla de la Kimberly Clark, en la zona de inundación que funciona como vaso regulador.

Con la finalidad de delimitar la cuenca del área de estudio, en su parte poniente, se recorrió lo que es Paseo Central y se encontró que el parte aguas precisamente es esta avenida en su tramo de la Kimberly Clark hasta un poco delante de la zona deportiva. En paseo central se tienen problemas de encharcamientos severos, esto se debe a que la zona de aportación supera a la de diseño del colector pluvial que va por esa vía, por lo que se recomienda la construcción de otro colector paralelo para ayudarle al existente.

Con la finalidad de ubicar el trazo del arroyo Xhosdá, se llegó a un sitio que se ubica detrás del Motel San Juan Park, en esta parte el cauce sigue un trayecto muy irregular el cual parte desde un antiguo bordo y llega hasta este punto siguiendo el trayecto mostrado en la figura 3.65, sería recomendable hacer una rectificación del arroyo Xhosdá en este tramo.

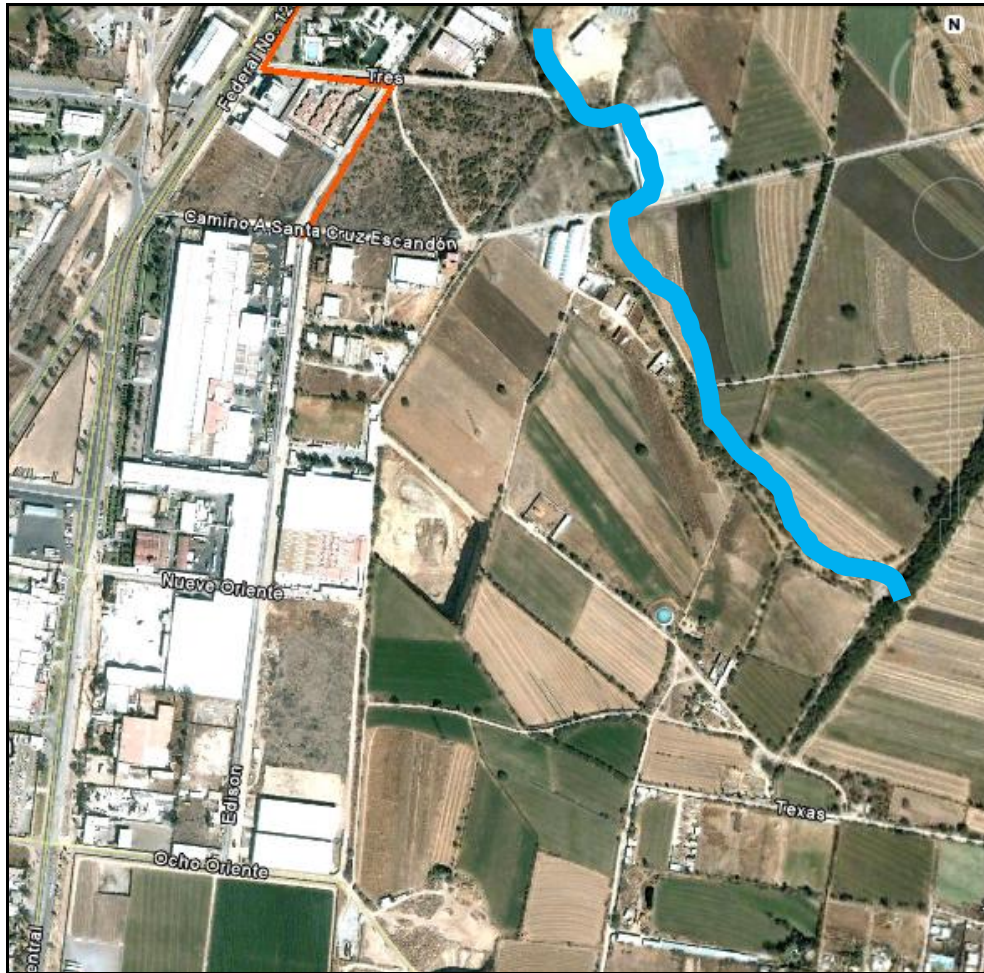


Figura 3.66. Recorrido del arroyo Xhosdá desde el bordo antiguo hasta cruce con Camino a Santa Cruz Escandón.

Finalmente como último punto del recorrido se llegó a lo que fue un antiguo bordo de almacenamiento que servía para contener agua y poder regar las parcelas ubicadas aguas abajo, actualmente los escurrimientos del Xhosdá se encauzan por pequeños surcos como se observa en la figura 3.66, y cuando son avenidas extraordinarias el bordo hace su función, obviamente que las parcelas que están aguas arriba se ven afectadas. En este punto se recomienda que el arroyo Xhosdá sea rectificado con la finalidad que reconozca su antiguo cauce de tal manera que las parcelas vecinas sigan aprovechando ese flujo.

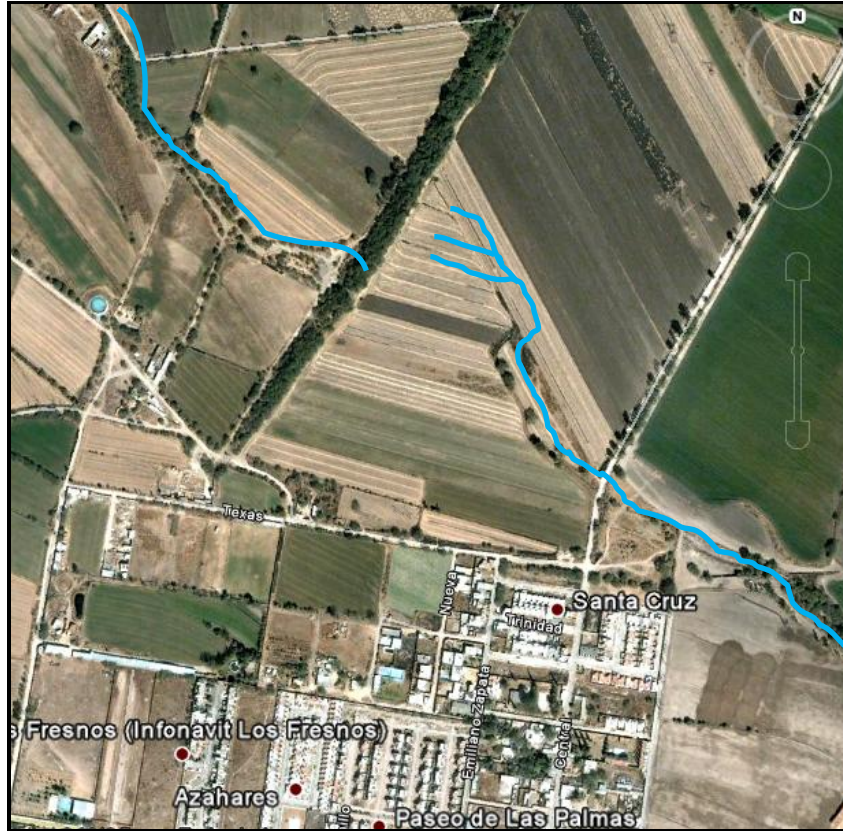


Figura 3.67. Cauce actual del Arroyo Xhosdá, el arroyo cauce se distribuye entre las parcelas. La zona arbolada es la cortina del bordo.

Con este punto se dio por finalizado el recorrido y las visitas de campo, la siguiente fase será determinar a nivel conceptual las obras de protección y control de toda la cuenca a partir de su comportamiento hidrológico.

3.2. INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EN CUENCA ARROYO XHOSDA

3.2.1. BORDOS DE CONTROL DE AVENIDAS

Actualmente en la cuenca del arroyo Xhosdá, se localizan varios cuerpos de agua cuya principal finalidad, en el momento de su construcción, fue almacenar agua y derivar los excedentes a las zonas agrícolas por medio de canales superficiales que han desaparecido dados los continuos cambios de uso de suelo en la planicie, principalmente a uso urbano, no obstante lo anterior, no cuentan con las condiciones suficientes para garantizar la regulación de los caudales provenientes de las partes altas de la cuenca.

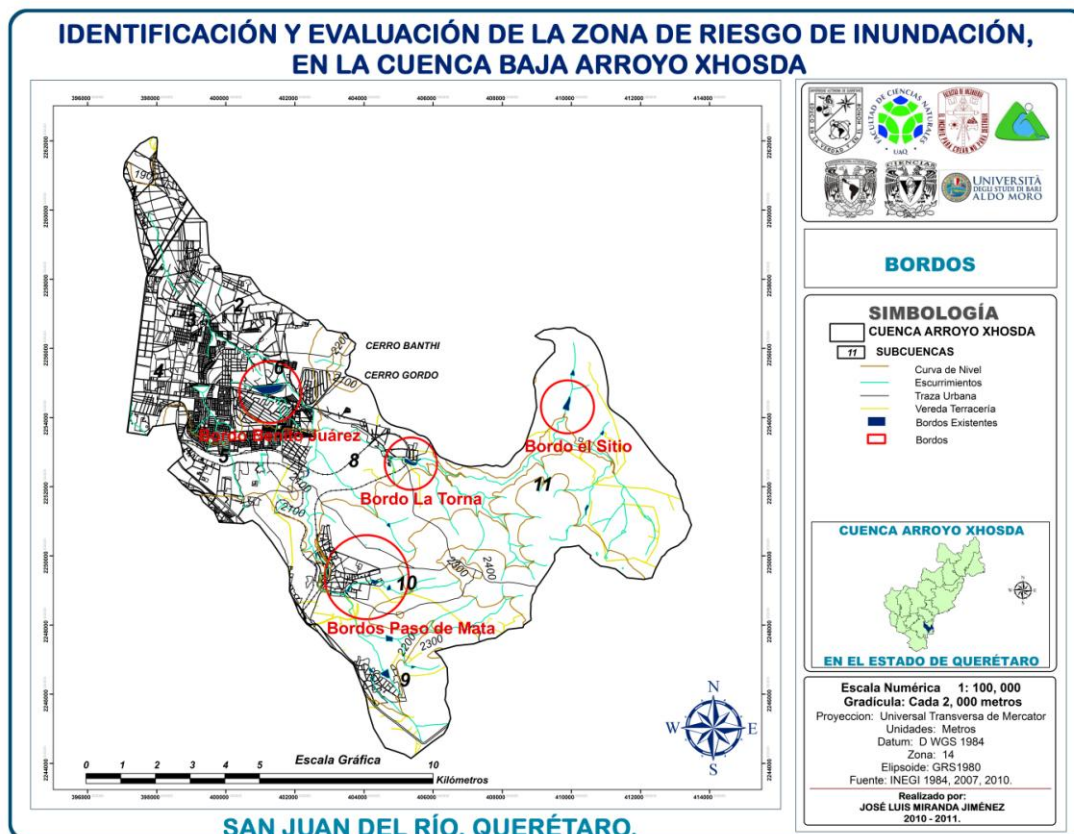


Figura 3.68. Vista en planta de la localización de los cuerpos de agua ubicados en Cuenca Arroyo Xhosda.

3.2.2. BORDOS EL SITIO Y SAN MIGUEL ARCÁNGEL

Los diversos cuerpos retenedores de agua que se localizan en la zona de estudio son de características muy similares pues la gran mayoría de ellos carecen de estructuras formales de excedencias, que permitan un desalojo controlado de los caudales hacia la cuenca aguas abajo, como el que se aprecia en la figura 3.69, el cual se encuentra localizado en las cercanías de la comunidad El Sitio (ver figura 3.70).

Esta estructura cuenta con una longitud aproximada de 50 metros de corona que permite un almacenamiento máximo de 3,000 a 7,000 m³ y que como se mencionó no cuenta con estructura de demasías ni obras de desfogue, lo que como muchas de las estructuras de la zona constituyen un riesgo para la zona baja de la cuenca.

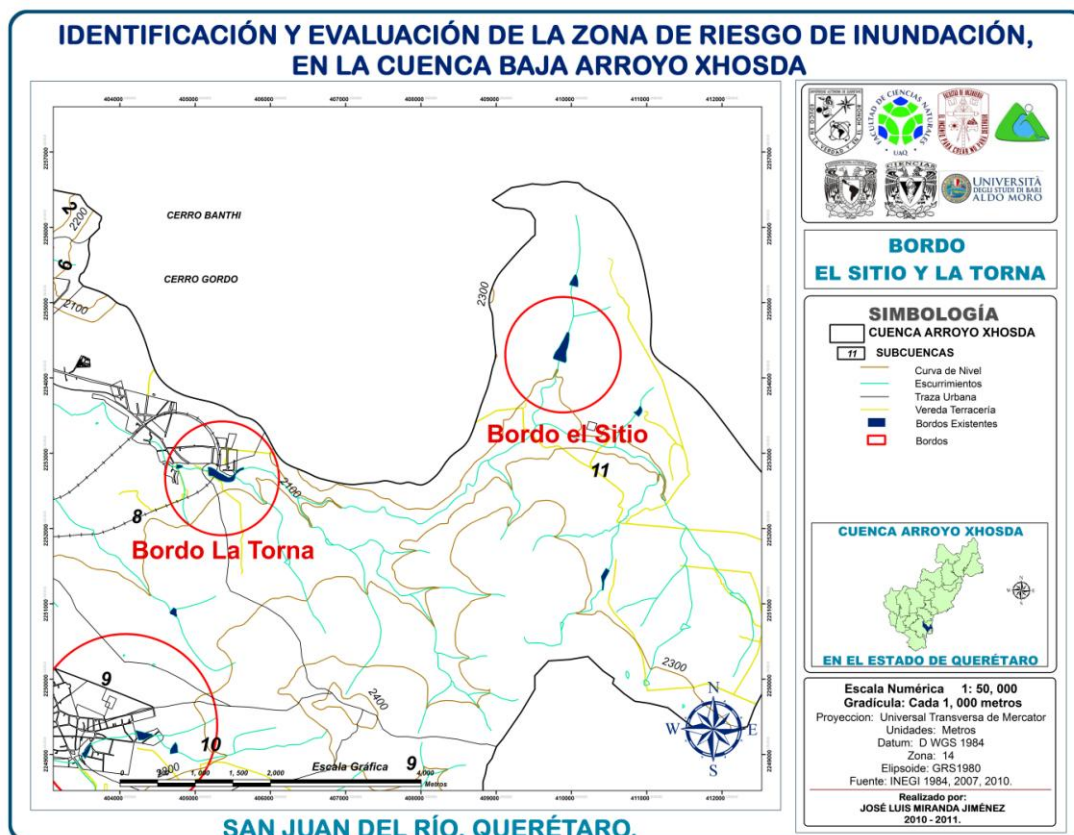


Figura 3.69. Vista en planta de la localización de los cuerpos de agua ubicados cerca de la localidad El Sitio y La Torna.

Cabe mencionar que en esta parte de la cuenca las pendientes del cauce central en este punto son del orden de 3.50 a 4.50% aproximadamente, lo cual implica que un rompimiento de estas estructuras puede afectar de manera significativa a la parte baja de la cuenca.



Figura 3.70. Vista general de la cortina del bordo localizado en El Sitio y que muestra la forma en que están conformados los cuerpos de agua de la zona.

Antes de acceder a la zona urbana de San Juan del Río, el arroyo proveniente de El Sitio, encuentra en su trayecto un bordo pequeño del orden de $4,000 \text{ m}^3$ de capacidad, de mampostería (figura 3.71), que como el caso anterior no cuenta con obra de toma ni excedencias, de manera que este tipo de estructuras al estar permanentemente llenas, no son consideradas para regulación de avenidas y en todo caso pueden tener una función primaria que es atenuar la energía cinética del flujo, acumulando azolve que permite una disminución de las pendientes longitudinales de este tramo y por tanto la velocidad.

Por otra parte se genera una retención de suelos en su vaso lo que es conveniente ya que el material granular (rocas o troncos) no accede libremente a las partes bajas de la cuenca, sin embargo se debe monitorear que las obstrucciones en el cauce no generen diques naturales que pueden ocasionar flujos concentrados en caso de un rompimiento.



Figura 3.71. Vista hacia aguas abajo del bordo localizado en La Torna, aguas abajo de las vías del tren.

3.2.3. BORDO PASO DE MATA

En la localidad Paso de Mata se puede observar una serie de varios cuerpos de agua de los cuales el que puede ser operado para control de avenidas puede ser el que existe en la Calle Río Grande (figura 3.73), el cual cuenta con vertedor alojado en la margen izquierda (figura 3.74) y que en este lugar cuenta con una compuerta deslizante (figura 3.75) que permite desalojar los excedentes de agua en caso de ser necesario y vaciarlo.

Se identifican un par de bordos más los cuales no cuentan con las condiciones de regulación del antes descrito ya que no se identifica un vertedor adecuado y no se cuenta con obras de desfogue que permitan operar a estos en caso de requerirlo.

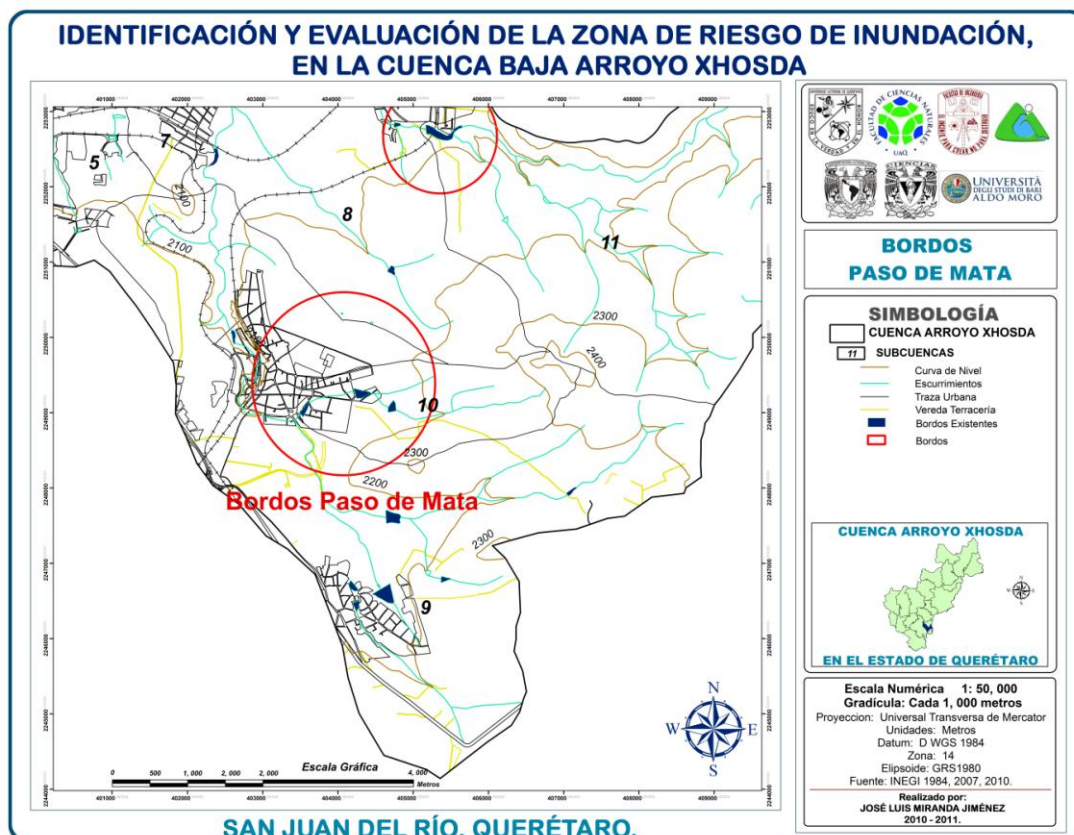


Figura 3.72. Cuerpos de agua existentes en la localidad Paso de Mata.



Figura 3.73. Vista general del bordo que se encuentra en la Calle Río Grande.



Figura 3.74. Vista del vertedor existente por la margen izquierda del bordo.



Figura 3.75. Vista de la compuerta alojada en el vertedor (en margen izquierda) que permite desfogar el bordo.



3.2.4. BORDO BENITO JUÁREZ

El bordo Benito Juárez, tiene una cuenca de aportación de un poco más de 9 km², de los cuales una gran parte de ellos se encuentra en proceso de urbanización y en donde en la parte media central de la cuenca se localiza una de las zonas industriales que actualmente se encuentra en crecimiento.

El bordo actualmente presenta daños en su estructura central producto de un rompimiento de su estructura en el centro del claro. Este cuerpo regulador es una estructura diseñada para control de inundaciones hacia la parte baja, pero que dado el crecimiento poblacional en la zona urbana, ha ocasionado que esta estructura sea insuficiente con las condiciones con las que actualmente cuenta.

En la figura 3.76, se muestra la localización de la cortina del bordo, en la figura 3.77 se muestra el bordo con la escotadura que se abrió producto del efecto de oleaje el sobre vertido sobre la corona del bordo y finalmente en la figura 3.78, se muestra el vertedor existente, el cual es insuficiente para las avenidas que actualmente pueden presentarse en la cuenca.

Por otra parte en esta zona se identifican altas pendientes en la zona alta de la cuenca, lo cual se continúa en el dren que se desarrolla por la calle Zacatecas (ver figura 3.79), en donde es de vital importancia disminuir las altas pendientes para evitar que los flujos puedan ocasionar daños por arrastre de rocas y basura a la parte baja de la cuenca.

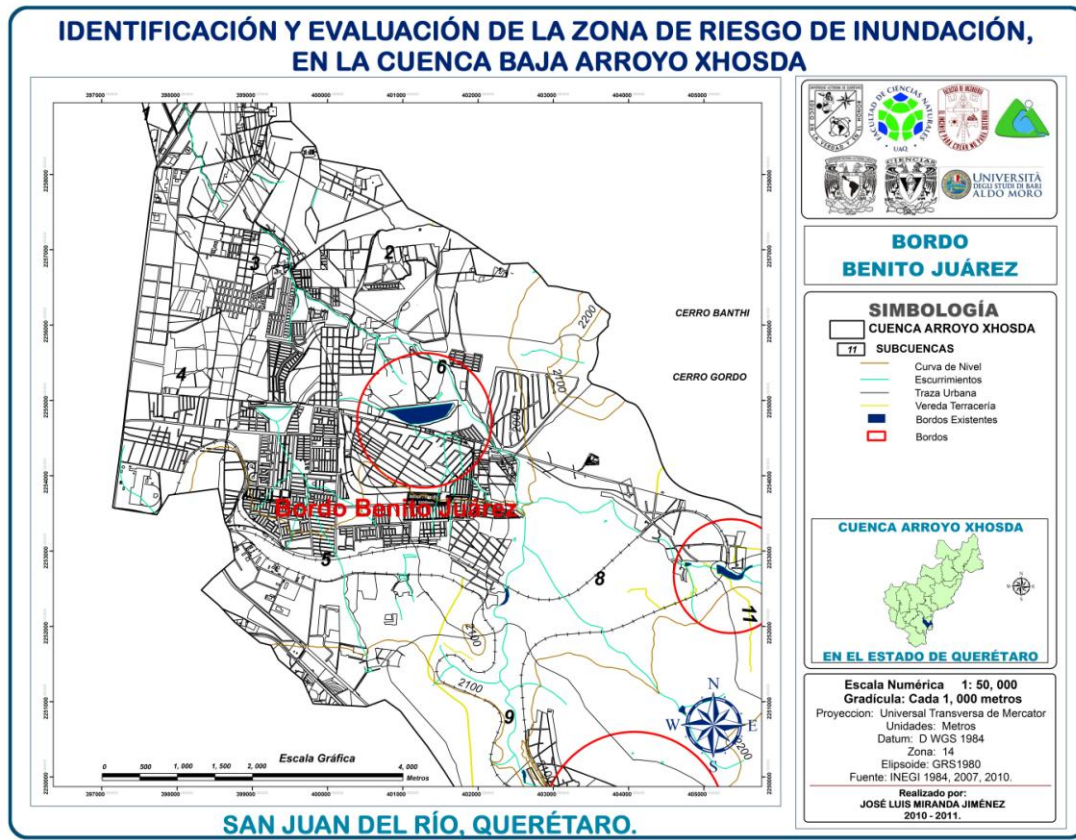


Figura 3.76. Vista general de la cuenca de aportación del bordo Benito Juárez.



Figura 3.77. Vista de la abertura generada en el bordo Juárez en la temporada de lluvias de Septiembre de 2010.



Figura 3.78. Vista del vertedor de excedencias localizado por la margen derecha del bordo Juárez.



Figura 3.79. Vista del dren que baja por calle Zacatecas y el cual cuenta con altas pendientes lo que ocasiona erosión y arrastre de material sólido hacia aguas abajo.

3.2.5. CANAL DE AVENIDA CENTRAL

Se identifica un canal existente de concreto armado que se desarrolla paralelo a la Avenida Constituyentes (carretera de Tequisquiapan), el cual desemboca al Arroyo Xhosdá, de dimensiones aproximadas 2 metros de ancho por 2.20 de altura (ver figura 3.80).

La pendiente aproximada se estima del orden de 5 al millar en el tramo analizado, sin embargo se debe llevar a cabo el levantamiento para conocer con detalle su capacidad hidráulica.

El terminado de la estructura de dren de concreto es liso, con cara aparente de concreto, por lo que se estima que para su funcionamiento hidráulico el coeficiente de Manning se puede estimar de orden 0.014.



Figura 3.80. Vista del dren de concreto localizado en la Avenida Constitución.

3.3. PROBLEMÁTICA EN CUENCA ARROYO XHOSDA

A partir de las visitas de campo realizadas, y con la ayuda de las imágenes de satélite de la información recabada (google e imagen proporcionada) se obtuvo el siguiente diagnóstico de la Cuenca del Arroyo Xhosda.

La parte alta de la cuenca presenta un suelo casi impermeable lo que provoca que los escurrimientos sean inmediatos, así mismo se observa que la cobertura vegetal de la cuenca del Sitio esta conservada, con algunos bordos que pueden utilizarse como pequeños vasos reguladores en época de avenidas. (ver figura 3.81).



Figura 3.81. Bordo de regulación, parte alta de la cuenca.

Los escurrimiento sobre esta cuenca son una mezcla de agua y sedimento fino, en virtud de que dicha cuenca alta, con base a la curva hipsométrica ya se encuentra en un estado de vejez lo que limita el transporte de material grueso, hacia aguas abajo a la parte media de la cuenca, en donde se localiza ya un crecimiento de la mancha urbana por los asentamientos de casas habitación que se presentan, (ver figura 3.82).



Figura 3.82. Panorámica, cuenca natural y urbana.

En la cuenca donde se ubica el poblado de San miguel arcángel se observa que se tiene una vegetación conservada, así como también la existencia de bordos que podrán ser utilizados en época de lluvias como pequeñas zonas de regulación de flujo, asimismo los límites entre parcelas realizados con cerca de piedra en esta zona, han ayudado a mantener el suelo más tiempo sobre la zona tal y como se aprecia en la figura 3.83.



Figura 3.83. Vista cobertura vegetal, San Miguel Arcangel.

En la cuenca del poblado de Paso de Mata, se tiene un par de bordos que permiten una regulacion del flujo hacia la zona urbanizada de dicha poblacion, existe un problema en el bordo que esta en los limites de la zona urbana, ya que dicho bordo presenta una sobreelevacion en su vertedor , que si bien permite contener un volumen adicional de agua, este puede presentar un riesgo mayor ya que dicha sobreelevación (ver figura 3.84) puede llegar a ocasionar una mayor presion en la base del bordo lo que puede llevar a que se presente un fenomeno de tubificacion y con ello la falla del bordo, ya que el diseño del mismo era para las condiciones tecnicas con la cual fue diseñado tanto su altura como la altura del vertedor, esta sobre elevacion fue por un evento extraordinario que causo daños a las casas habitacion localizadas aguas abajo del bordo.



Figura 3.84. Bordo de regulación, Paso de Mata, presenta alteración en capacidad.

El bordo que se localiza aguas abajo ya dentro del poblado de Paso de Mata y que le llegan los escurrimientos de la cuenca de San Miguel Arcangel tambien presenta riesgos hacia las casa habitacion de agua abajo en virtud de que estas, estan localizadas sobre la descarga del vertedor que se encuentra sobre la margen derecha. (ver figura 3.85).



Figura 3.85. Población asentada en salida del bordo.

En el acceso a dicha población, se localiza un puente vehicular que no cumple con la capacidad hidráulica del arroyo, ya que se observa aguas abajo un puente por donde pasan las vías de ferrocarril mismo que tiene un dimensionamiento mucho mayor a este, tal y como se observa en las figuras 3.86 y 3.87.



Figura 3.86. Puente que no corresponde a la capacidad hidráulica del arroyo.



Figura 3.87. Paso de vías de ferrocarril, estructura realizada mediante estudio hidrológico.

Sobre la cuenca de Rancho de En medio en donde son los límites actuales de crecimiento de la zona urbana en la parte media alta se localiza un bordo que puede también ser utilizado como regular de flujo líquido, así mismo en esta cuenca se observa de la misma manera la vegetación totalmente conservada lo que permite que los tiempos de concentración sean cercanos a comportamientos naturales de escurrimiento. (ver figuras 3.88 y 3.89).



Figura 3.88. Bordo Rancho de Enmedio.



Figura 3.89. Esgurrimientos a Bordo Rancho de Enmedio.

Aguas abajo de la confluencia de los escurrimientos provenientes de la cuenca del Sitio y la de Rancho de En medio se tiene un puente vehicular cuya estructura en cuanto a su comportamiento hidráulico no es recomendable ya que las ventanas limitan el paso natural del flujo lo que provoca efectos de socavación sobre la base de estas y que puede tener el riesgo de falla cuando se presente una avenida de un cierto periodo de retorno, así mismo se observa en la foto que ya presenta efectos de socavación en donde se aprecia que sobre la base de cimentación existe material aluvial en donde fue desplantado y que ello

indica que el arroyo presento en otros tiempo un fuerte arrastre de sedimentos como consecuencia de la velocidad del flujo presente en la cuenca, tal y como se aprecia en las figuras 3.90 y 3.91.



Figura 3.90. Puente vehicular, de acuerdo al comportamiento de los escurrimientos de agua.



Figura 3.91. Puente vehicular, de acuerdo al comportamiento de los escurrimientos de agua.

Sobre la cuenca urbana se pudo observar que la mayor parte de los fraccionamientos presentes en ella carecen de sistemas pluviales de desalojo de agua, por otro lado existen pequeños drenes que no cumplen con las condiciones de diseño tal y como se aprecia en la figura 3.92.



Figura 3.92. Porción del dren sin mantenimiento.

Por otro lado, es recomendable que en las partes altas de las cuencas urbanas se sigan manteniendo las vialidades con empedrado a fin de darle al escurrimiento superficial un comportamiento cercano al natural (Ver Figura 3.93).



Figura 3.93. Vialidades empedradas en cuenca alta, que ayudan al comportamiento del escurrimiento.

Un problema que esta muy marcado dentro de esta cuenca es la invasión de zonas de riesgo, ya que existen zonas habitacionales que se localizan, ya sea aguas abajo de los bordos o dentro de los mismo, en algunos casos existen terrenos y casas en venta, las figura 3.94 y 3.95 son una muestra de ello.



Figura 3.94. Venta de lotes en Bordo San Pedro.



Figura 3.95. Zona habitacional, dentro de Bordo San Pedro.

Y la imagen de satelite (ver figura 3.96), se visualiza la zona de riesgo latente aguas abajo del bordo Bordo Benito Juárez, que el pasado domingo 19 de septiembre causo daños a dicha zona habitacional, por la falla de este bordo.



Figura 3.96. Imagen de satélite, Bordo Benito Juárez.

Tal y como se muestra en la imagen siguiente, se tienen una serie de bordos dentro de la Cuenca Arroyo Xhosda, mismo que carecen de mantenimiento y además que no tiene la utilización como zonas de regulación, solo mantienen por espacios pequeños de tiempo una mínima cantidad del escurrimiento que se presenta en la cuenca, cabe aclarar que dichos bordos en un tiempo permitían el control total del flujo de esta cuenca, algunos de ellos actualmente ya han sido ocupados por fraccionamientos y otros son utilizados como zonas de cultivos.



Figura 3.97. Imagen de satélite, bordos existentes y vestigios de bordos no utilizados.

Ya en la parte baja en la confluencia con el Rio San Juan, existe un bordo de gran capacidad que actualmente esta utilizado por una parte de zona agricola, otra con trazos de vialidades y ademas esta localizada una pequeña escuela rural, cabe aclarar que si bien los escurrimientos de esta cuenca no han sido tan grandes en el tiempo, es evidente que los periodos de retorno de influencia son mas cercanos, lo que puede llegar a ocasionar daños de grandes magnitudes si se permite que el crecimiento urbano se haga presente en estas zonas de alto riesgo, tal y como esta proyectado en el plan de desarrollo municipal.



3.4. CAUSAS DE LAS INUNDACIONES RECIENTES

Las lluvias extraordinarias se presentaron en Junio 10 y septiembre 19 de 2010, las casionaron inundaciones, y en lo particular la de 19 afecto la infraestructura urbana: principalmente 20 localidades, perdida total del Hospital General y 10 mil damnificados, cabe mencionar que este suceso, fue consecuencia del rompimiento del bordo Benito Juárez (*Presidencia Municipal, Octubre 2010*), el cual se desjajo ya que la insuficiencia hidraulica de los drenes existenes, no ebedece al escurrimiento de aguas abajo, y que fueron construidos sin considerar un estudio hidrológico del área.

Aunado a esto, parte de la infraestructura hidraulica que si identificón en Cuenca Arroyo Xhosda, presenta alguna de las siguientes deficiencias:

- a) Se encuentra sin mantenimiento y sin impieza.
- b) Dentro de los bordos, se encuentran ya establecidas zonas habitasionesales y se continua con la venta de lotes en esta área, lo que anteriormentes era un bordo de reguñacion de escurrimientos, y que al modificarlo incrementa el riesgo en esta zona.
- c) Los drenes existentes, no presentan insuficiencia hidráulica: ocasiono la ruptura del bordo y los daños de 19 septiembre.
- d) Dren presenta un ángulo de 90° en el entronque al hospital lo cual incremento el golpe del agua y las afectaciones.



Figura 3.98. Afectaciones a cobertura vegetal cuenca alta-media.



Figura 3.99. Afectaciones a vías férreas cuenca alta-media.



Figura 3.100. Afectaciones a alcantarillas cuenca alta-media.



Figura 3.101. Afectaciones a infraestructura educativa cuenca baja.



Figura 3.102. Rompimiento del Bordo Benito Juárez cuenca baja.



Figura 3.103. Afectaciones a dren cuenca baja.



Figura 3.104. Inundación y afectación del Hospital General cuenca baja.



Figura 3.105. Afectación a cauce y cobertura vegetal cuenca baja.



Figura 3.106. Inundación y afectación a zonas habitacionales cuenca baja.



Figura 3.107. Inundación y afectación a zonas habitacionales cuenca baja.



CAPÍTULO IV.

IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA INUNDABLE



4. IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA INUNDABLE

4.1. SOFTWARE FLO-2D

Para identificar el área de inundación, se recurre a una tecnología SIG, conocida como FLO-2D, este es un modelo hidráulico bidimensional implementado para simular inundaciones, basado en una malla cartesiana de diferencias finitas. Es además, una herramienta útil para delinear zonas de amenazas por inundaciones, regular llanuras inundables o diseñar obras de mitigación de inundaciones de agua o lodos (O'Brien, Jorgensen 2009).

FLO-2D transporta en forma numérica un hidrógrama de crecientes y predice el área de inundación, considerando cantidad y velocidad del agua y la profundidad del terreno. El modelo es efectivo para analizar desbordamientos de ríos, flujo no confinado sobre terrenos de topografía compleja, flujo de lodo y escombros e inundaciones en zonas urbanizadas (O'Brien, Jorgensen 2009).

También permite la generación de la escorrentía, que permite evaluar el riesgo resultante a la inundación de un curso de agua, a través de la representación gráfica de las zonas inundadas o desbordadas.

El modelo también simula:

- Las salidas limitadas por superficies topográficamente complejas;
- Las salidas a lo largo de los canales de una sola dimensión y / o cursos de agua;
- Las salidas de concentrados;
- los escombros y el barro;
- el transporte de sedimentos.

Las aplicaciones típicas del modelo puede completarse con otros componentes tales como:

- un modelo de Precipitación-escorrentía;
- el flujo en las alcantarillas;
- el efecto de las estructuras (puentes, muros de contención u obstrucciones al flujo).

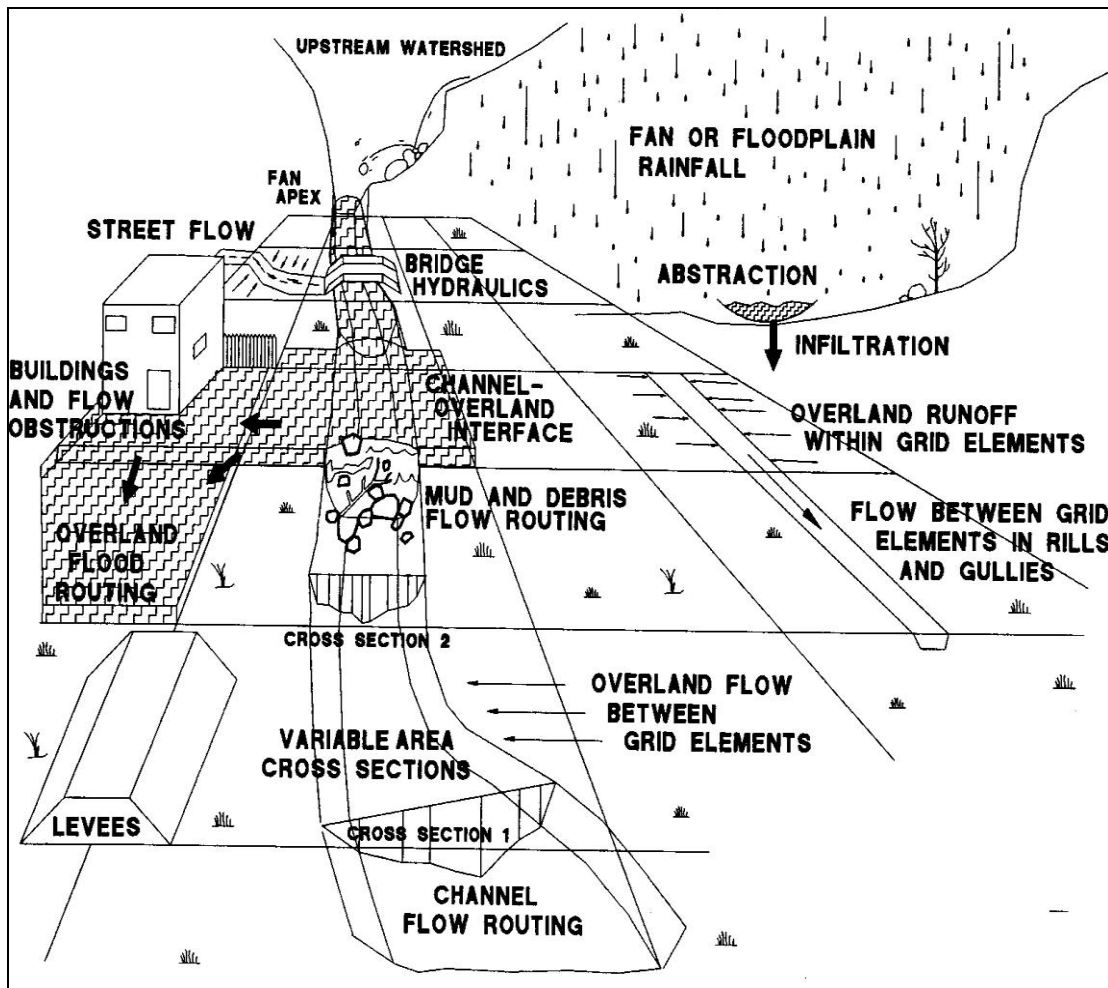


Figura 4.1. Componentes del modelo FLO-2D.

Fuente: Manual de usuario FLO-2D 2009.



4.2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El principio en el cual se basa el modelo, es la preservación de los volúmenes de entrada, salida y en el acumulado en el sistema y la mitigación de la onda de inundación, durante la propagación de las salidas.

La superficie en la que se propaga la onda de crecida, se obtiene de un modelo digital del terreno (MDT), que se basa en una cuadrícula que tiene un tamaño de malla predeterminada.

El flujo se distribuye en las ocho direcciones relativas posibles para cada malla y los parámetros hidráulicos, tales como la altura del agua y la velocidad, se calculan para las iteraciones sucesivas, a intervalos de hasta el orden de segundos.

Para efectuar la simulación es necesario, insertar un hidrógrama de entrada al sistema y uno de salida; hidrógramas que se pueden derivar a través de la aplicación del modelo de precipitación-escorrentía de la cuenca aguas arriba.

El modelo genera la escorrentía mediante la integración numérica de la ecuación de continuidad y las ecuaciones de movimiento en las direcciones x/y del movimiento.



4.3. SIMULACIÓN DE LA INUNDACIÓN

El primer paso para generar la simulación de la inundación, es realizar la construcción de la base de datos morfológicos, requeridos por el modelo.

4.3.1. GENERACIÓN DE DATOS MORFOLÓGICOS

La base de datos morfológicos que requiere el modelo, es la representación de la superficie y el cauce principal en una gradícula particular. Para su construcción en necesario insertar las curvas de nivel digital en forma de puntos, los cuales deben contener la elevación, después de haber creado un conjunto de puntos enumerados (DTM), se genera la cuadrícula, que para el caso se construyo de 50 por 50 metros y se interpola el modelo digital de terreno.

Considerando que una cuenca se integra por tres zonas, las cuales son;

La Cuenca Alta, corresponde a la zona de cabecera de la cuenca.

La Cuenca Media, corresponde a la zona de captación-transporte de la cuenca.

La Cuenca Baja, corresponde a la zona de emisión de la cuenca.

De acuerdo al objetivo planteado, “identificar y evaluar el riesgo de inundación, en la Cuenca Baja Arroyo Xhosda”, la simulación se realizó solo en la zona de emisión de la cuenca, ya que es la zona donde confluyen los escurrimientos de la cuenca.

Y tal y como se observa en las curvas de nivel, que permiten observar detalladamente la morfometría de la cuenca, distinguiendo la cuenca baja de la cuenca media y alta. En las siguientes imágenes podemos observar la morfometría y la cuadrícula de la Cuenca Baja Arroyo Xhosda, así como el curso de agua del cauce principal.

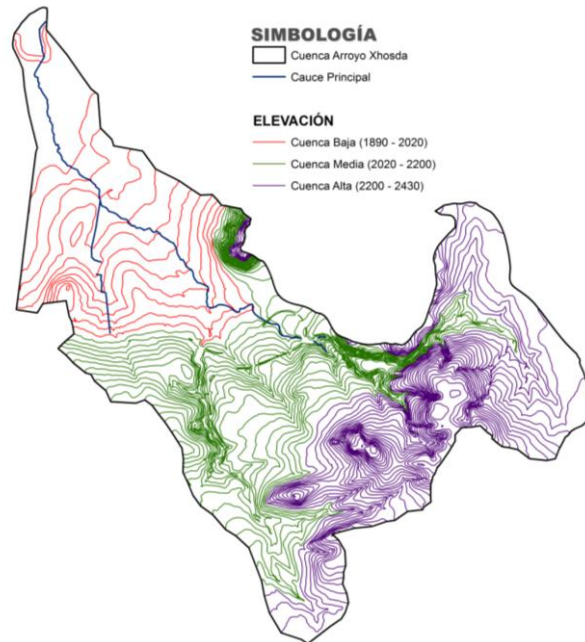


Figura 4.2. Delimitación por zonas de Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

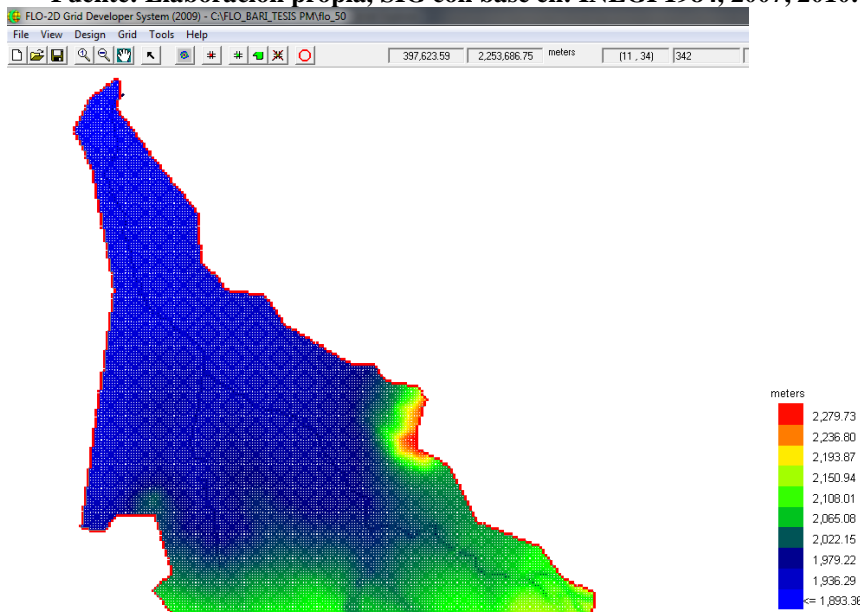


Figura 4.3. Modelo digital de elevación Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

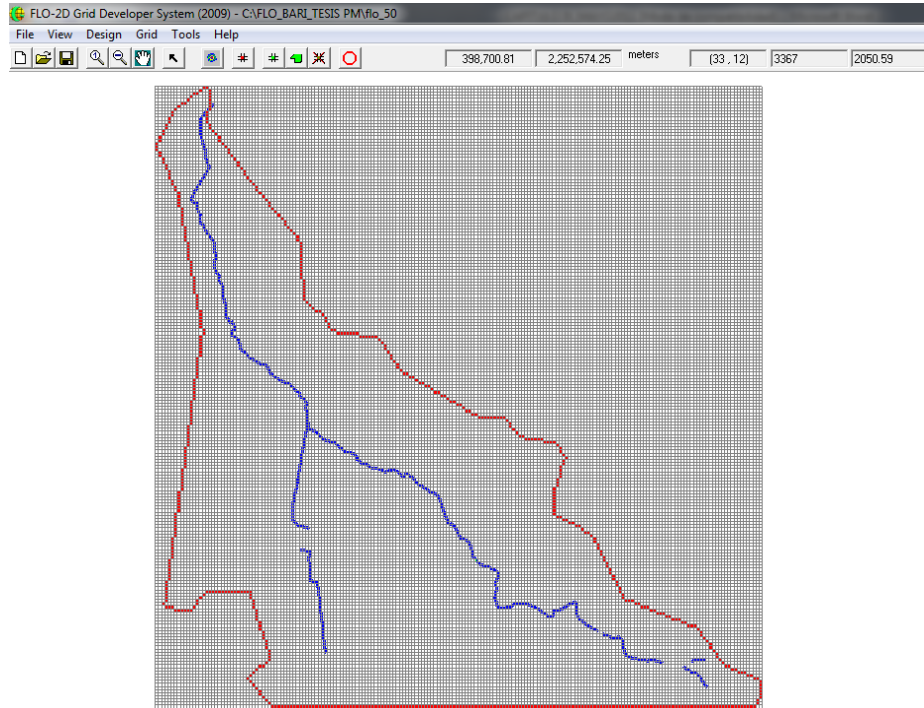


Figura 4.4. Gradícula GDS Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia en FLO-2D, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

El modelo durante la simulación, utiliza la cuadrícula completa de 50 por 50 metros y los cauces, esto para generar la simulación concorde con la dirección y forma del cauce, sea este artificial o natural.

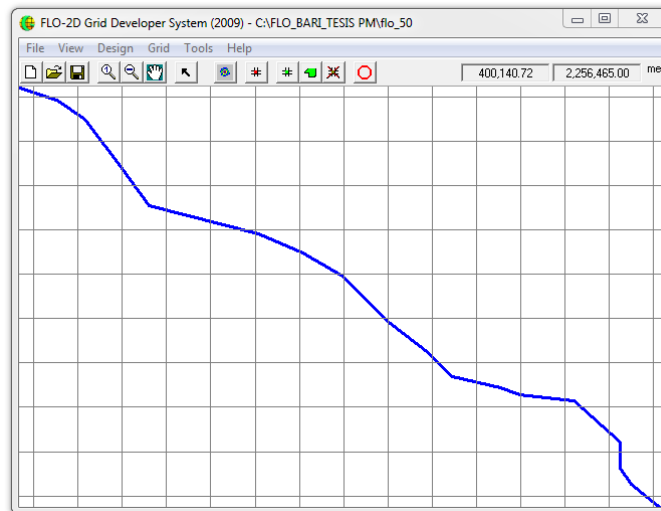


Figura 4.5. Gradícula GDS, Sección natural Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia en FLO-2D, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

4.3.2. IMAGEN DE SATELITE

La imagen de satélite de la cuenca baja, se inserta para que el software visualice el comportamiento del curso de agua en la superficie, y para visualizar las áreas aledañas al río o cauce artificial.



Figura 4.6. Imagen de satélite Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: H. Ayuntamiento San Juan del Río, Querétaro, 2010.

4.3.3. COEFICIENTE DE MANNING

Durante la simulación es necesario indicar el valor de algunos parámetros hidráulicos: en este caso uno importante se refiere a la rugosidad del suelo, denominado coeficiente de manning, valor de flujo unidimensional que es asignado a la superficie, y que durante una simulación el modelo aumenta el valor de la unidad de manning 0,001 a mantener el impulso siempre por debajo de estado crítico, y durante la fase descendente del hidrógrama la rugosidad disminuye hasta el valor original. Se asigna el valor de coeficiente de manning, de acuerdo al uso de suelo y tipo de vegetación.

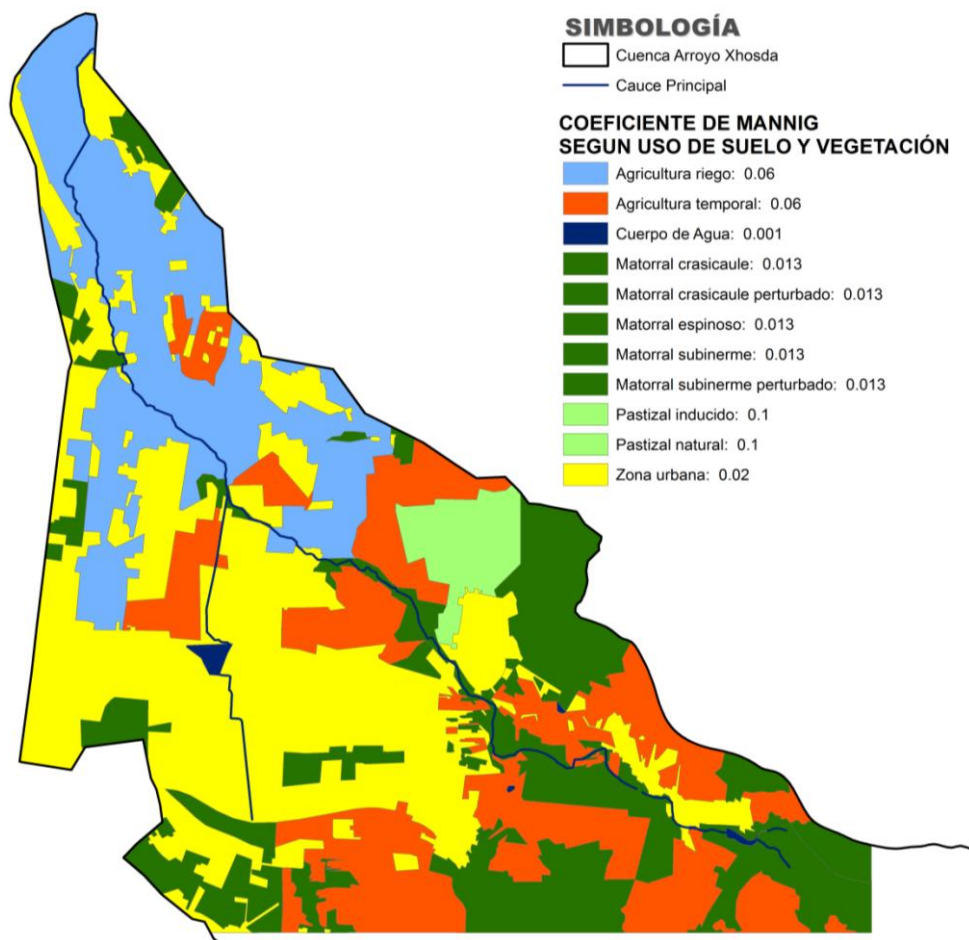


Figura 4.7. Coeficiente de manning Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; SEDESU 2010.

4.3.4. PERIODOS DE RETORNO ESPECÍFICOS A 50 AÑOS

Para la selección del periodo de retorno a implementar en la simulación, se consideraron criterios que tienen que ver con la hidrología urbana, ya que el área inundable es parte del área urbana de San Juan del Río, consideramos la actividad industrial y comercial, y los servicios públicos, donde se recomiendan periodos de retorno de 5 años. Breña Puyol propone un periodo de retorno de 5 años para proteger zonas industriales, mientras que Campos Aranda recomienda periodos de retorno de 50 a 100 años en encauzamientos. Considerando estos criterios, se propone implementar para la simulación un periodo de retorno de 50 años.

Horas	Minutos	50	Horas	Minutos	50	Horas	Minutos	50	Horas	Minutos	50
0.00	0	0.000	2.50	150	105.806	5.00	300	139.935	7.50	450	24.475
0.08	5	0.012	2.58	155	112.214	5.08	305	136.327	7.58	455	20.564
0.17	10	0.024	2.67	160	118.612	5.17	310	132.718	7.67	460	16.653
0.25	15	0.036	2.75	165	125.009	5.25	315	129.110	7.75	465	12.742
0.33	20	0.048	2.83	170	131.407	5.33	320	125.501	7.83	470	10.256
0.42	25	0.060	2.92	175	137.804	5.42	325	121.893	7.92	475	9.689
0.50	30	0.072	3.00	180	144.202	5.50	330	118.284	8.00	480	9.122
0.58	35	0.084	3.08	185	150.793	5.58	335	114.537	8.08	485	8.555
0.67	40	0.096	3.17	190	157.384	5.67	340	110.618	8.17	490	7.988
0.75	45	0.108	3.25	195	163.975	5.75	345	106.700	8.25	495	7.421
0.83	50	0.120	3.33	200	170.567	5.83	350	102.782	8.33	500	6.854
0.92	55	0.132	3.42	205	177.158	5.92	355	98.863	8.42	505	6.287
1.00	60	0.144	3.50	210	183.749	6.00	360	94.945	8.50	510	5.720
1.08	65	5.741	3.58	215	186.340	6.08	365	91.027	8.58	515	5.154
1.17	70	11.337	3.67	220	184.002	6.17	370	87.108	8.67	520	4.587
1.25	75	16.934	3.75	225	181.664	6.25	375	83.190	8.75	525	4.020
1.33	80	22.531	3.83	230	179.326	6.33	380	79.272	8.83	530	3.662
1.42	85	28.128	3.92	235	176.989	6.42	385	75.353	8.92	535	3.586
1.50	90	33.725	4.00	240	174.651	6.50	390	71.435	9.00	540	3.510
1.58	95	39.322	4.08	245	172.353	6.58	395	67.517	9.08	545	3.405
1.67	100	44.919	4.17	250	170.055	6.67	400	63.598	9.17	550	3.265
1.75	105	50.516	4.25	255	167.757	6.75	405	59.680	9.25	555	3.125
1.83	110	56.112	4.33	260	165.459	6.83	410	55.765	9.33	560	2.985
1.92	115	61.709	4.42	265	163.161	6.92	415	51.853	9.42	565	2.845
2.00	120	67.306	4.50	270	160.863	7.00	420	47.942	9.50	570	2.705
2.08	125	73.723	4.58	275	157.978	7.08	425	44.031	9.58	575	2.565
2.17	130	80.139	4.67	280	154.370	7.17	430	40.120	9.67	580	2.425
2.25	135	86.556	4.75	285	150.761	7.25	435	36.209	9.75	585	2.285
2.33	140	92.973	4.83	290	147.153	7.33	440	32.298	9.83	590	2.195
2.42	145	99.389	4.92	295	143.544	7.42	445	28.386			

Cuadro 4.1. Periodo de retorno a 50 años Cerró Gordo Cuenca Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; SMN 2011.



Horas	Minutos	50	Horas	Minutos	50	Horas	Minutos	50	Horas	Minutos	50
0.00	0	0.000	2.50	150	40.206	5.00	300	53.175	7.50	450	9.301
0.08	5	0.005	2.58	155	42.641	5.08	305	51.804	7.58	455	7.814
0.17	10	0.009	2.67	160	45.073	5.17	310	50.433	7.67	460	6.328
0.25	15	0.014	2.75	165	47.503	5.25	315	49.062	7.75	465	4.842
0.33	20	0.018	2.83	170	49.935	5.33	320	47.690	7.83	470	3.897
0.42	25	0.023	2.92	175	52.366	5.42	325	46.319	7.92	475	3.682
0.50	30	0.027	3.00	180	54.797	5.50	330	44.948	8.00	480	3.466
0.58	35	0.032	3.08	185	57.301	5.58	335	43.524	8.08	485	3.251
0.67	40	0.036	3.17	190	59.806	5.67	340	42.035	8.17	490	3.035
0.75	45	0.041	3.25	195	62.311	5.75	345	40.546	8.25	495	2.820
0.83	50	0.046	3.33	200	64.815	5.83	350	39.057	8.33	500	2.605
0.92	55	0.050	3.42	205	67.320	5.92	355	37.568	8.42	505	2.389
1.00	60	0.055	3.50	210	69.825	6.00	360	36.079	8.50	510	2.174
1.08	65	2.182	3.58	215	70.809	6.08	365	34.590	8.58	515	1.959
1.17	70	4.308	3.67	220	69.921	6.17	370	33.101	8.67	520	1.743
1.25	75	6.435	3.75	225	69.032	6.25	375	31.612	8.75	525	1.528
1.33	80	8.562	3.83	230	68.144	6.33	380	30.123	8.83	530	1.392
1.42	85	10.689	3.92	235	67.256	6.42	385	28.634	8.92	535	1.363
1.50	90	12.816	4.00	240	66.367	6.50	390	27.145	9.00	540	1.334
1.58	95	14.942	4.08	245	65.494	6.58	395	25.656	9.08	545	1.294
1.67	100	17.069	4.17	250	64.621	6.67	400	24.167	9.17	550	1.241
1.75	105	19.196	4.25	255	63.748	6.75	405	22.678	9.25	555	1.188
1.83	110	21.323	4.33	260	62.874	6.83	410	21.191	9.33	560	1.134
1.92	115	23.449	4.42	265	62.001	6.92	415	19.704	9.42	565	1.081
2.00	120	25.576	4.50	270	61.128	7.00	420	18.218	9.50	570	1.028
2.08	125	28.015	4.58	275	60.032	7.08	425	16.732	9.58	575	0.975
2.17	130	30.453	4.67	280	58.661	7.17	430	15.246	9.67	580	0.922
2.25	135	32.891	4.75	285	57.289	7.25	435	13.759	9.75	585	0.868
2.33	140	35.330	4.83	290	55.918	7.33	440	12.273	9.83	590	0.834
2.42	145	37.768	4.92	295	54.547	7.42	445	10.787			

Cuadro 4.2. Periodo de retorno a 50 años Dren Benito Juárez y La Floresta Cuenca Arroyo Xhosda.
Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; SMN 2011.

4.3.5. HIDRÓGRAMAS CON PERIODO DE RETORNO ESPECÍFICO A 50 AÑOS

Para los estudios de simulación de inundaciones, la implementación de los períodos de retorno puede variar entre los 50 y 100 años. Considerando que el tiempo de concentración es más largo, podrían ser unas horas o alta intensidad de lluvia; lo que resulta en una descarga pico en el área, reflejada en este caso más en la intensidad de la lluvia, que en el tamaño del área de drenaje.

El hidrógrama específico a 50 años, el cual se ha implementado para realizar la simulación de la inundación, considerando que la lluvia e inundaciones presentadas en 2010 en Cuenca Arroyo Xhosda, de acuerdo a la interpretación del evento, se considera que fue de un periodo de retorno de 50 años.



Figura 4.8. Hidrógrama Cerro Gordo Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; SMN 2011.

HIDRÓGRAMA DREN BENITO JUÁREZ Y LA FLORESTA (ENTRADA)

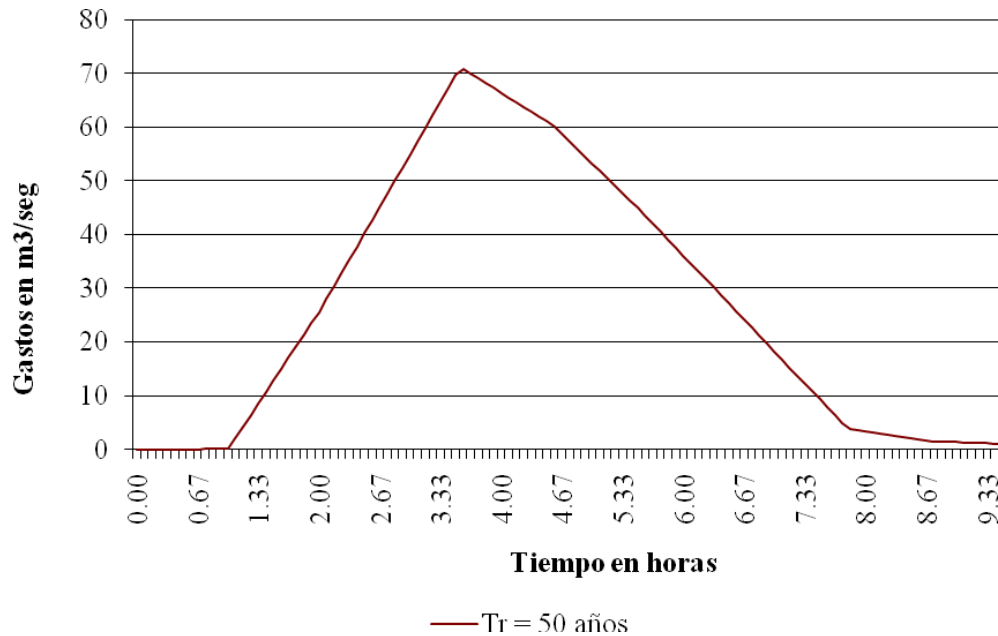


Figura 4.9. Hidrógrama Dren Benito Juárez y La Floresta Cuenca Baja Arroyo Xhosda.
Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; SMN 2011.

HIDRÓGRAMA ARROYO XHOSDA (SALIDA)

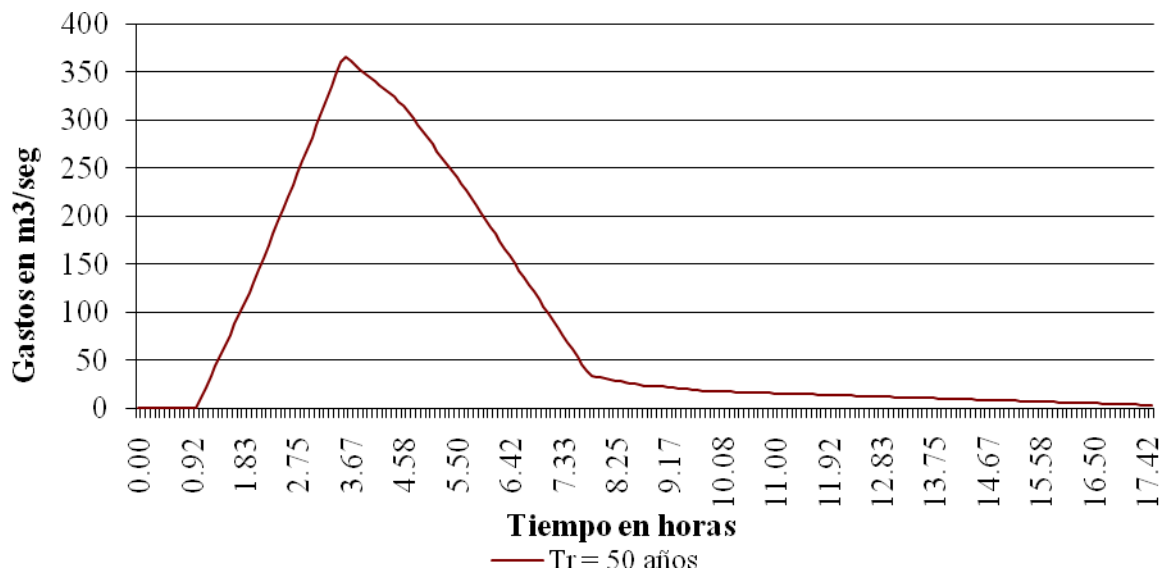


Figura 4.10. Hidrógrama Arroyo Xhosda Cuenca Baja Arroyo Xhosda.
Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; SMN 2011.



4.3.6. SECCIONES ARROYO XHOSDA

Las secciones fueron obtenidas en campo e insertadas en el software para que la simulación considere la capacidad de flujo del escurrimiento en el río y en las drenes artificiales. Lo cual es de importancia, ya que al considerar las dimensiones del cauce y de los drenes, la simulación es más real y esto puede ayudar a conocer el área realmente inundable.

Las secciones del arroyo son diversamente variadas, de todo el cauce se levantaron las secciones a cada 500 metros. Se generó la base de datos de las secciones (XSEC), para ser insertadas en el software y así la simulación las considere, la base de datos contiene el tamaño de las secciones y sus características hidráulicas.

Durante la simulación, también se considera, que cuando la corriente excede la capacidad del curso de agua, el modelo calcula este exceso y la transforma en flujo bidimensional, el cual lo arroja sobre las superficies adyacentes. Este procedimiento se aplica considerando el nivel del terreno y en ocasiones se da en dos direcciones de entrada y salida del cauce.

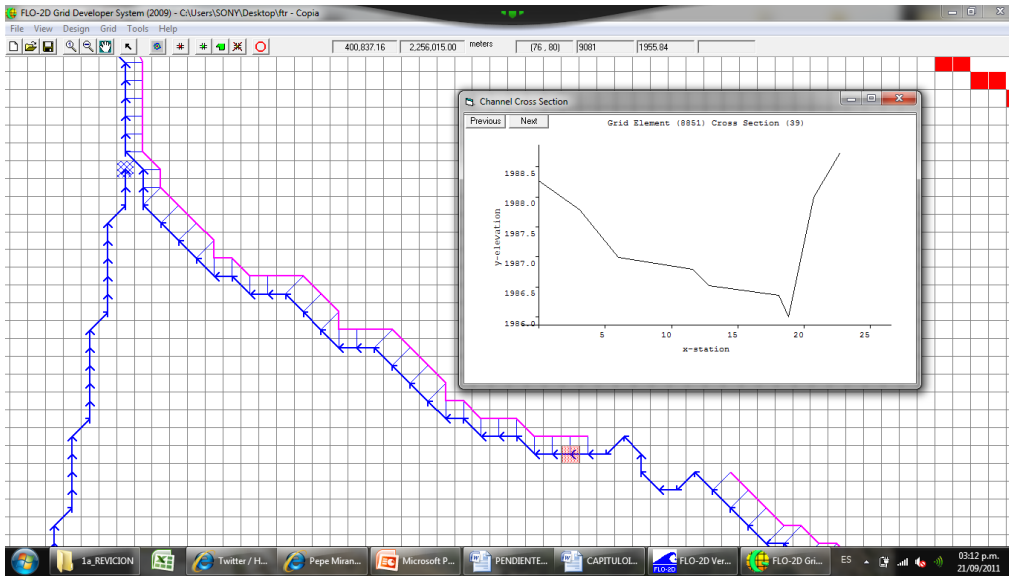


Figura 4.11. Perfil de sección natural 39 Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia en FLO-2D, SIG con base en: levantamiento en Arroyo Xhosda 2011.

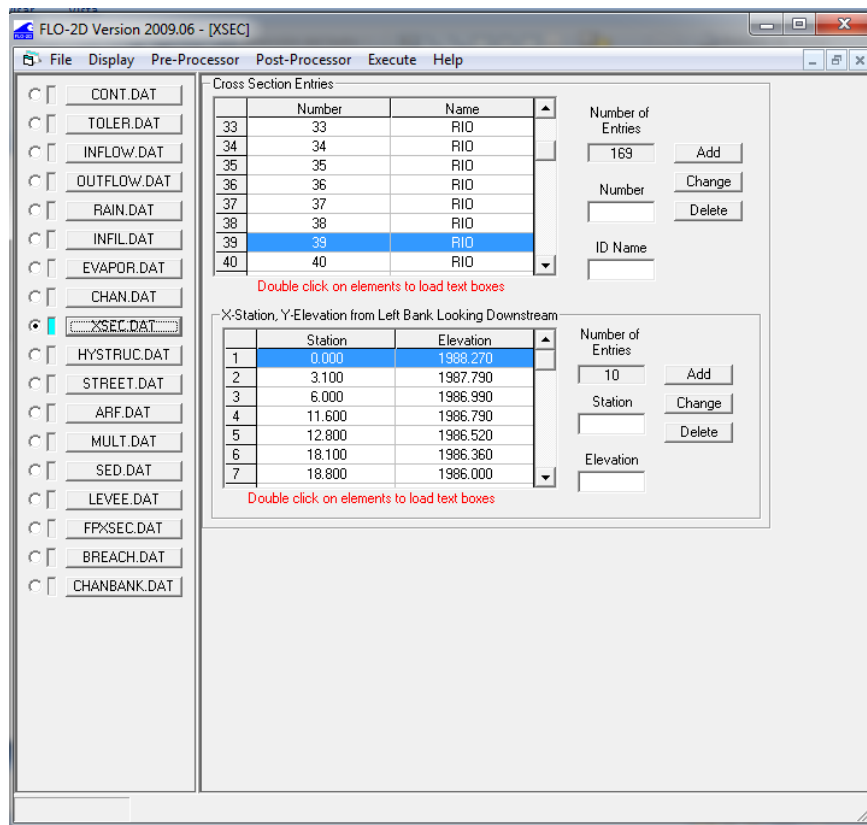


Figura 4.12. Perfil numérico de sección natural 39 Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia en FLO-2D, SIG con base en: levantamiento en Arroyo Xhosda 2011.

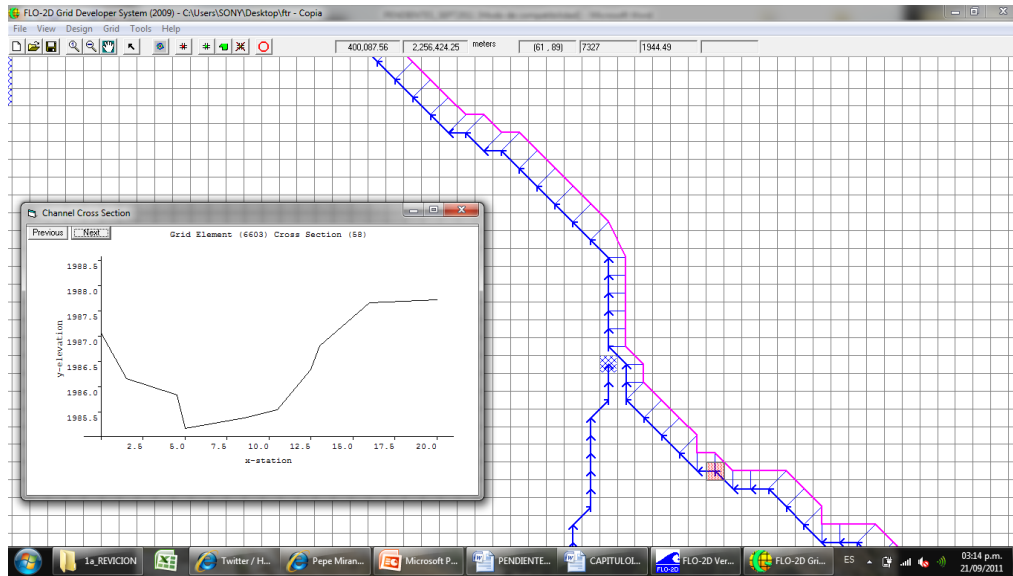


Figura 4.13. Perfil de sección natural 58 Cuenca Baja Arroyo Xhosda.
Fuente: Elaboración propia en FLO-2D, SIG con base en: levantamiento Arroyo Xhosda 2011.

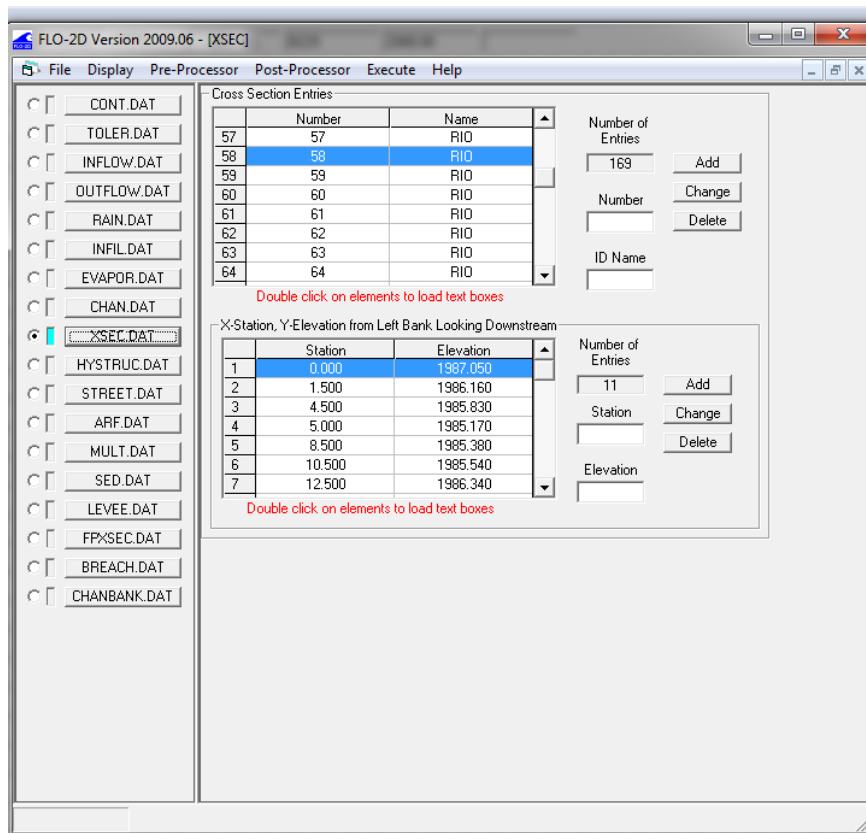


Figura 4.14. Perfil numérico de sección natural 58 Cuenca Baja Arroyo Xhosda.
Fuente: Elaboración propia en FLO-2D, SIG con base en: levantamiento en Arroyo Xhosda 2011.

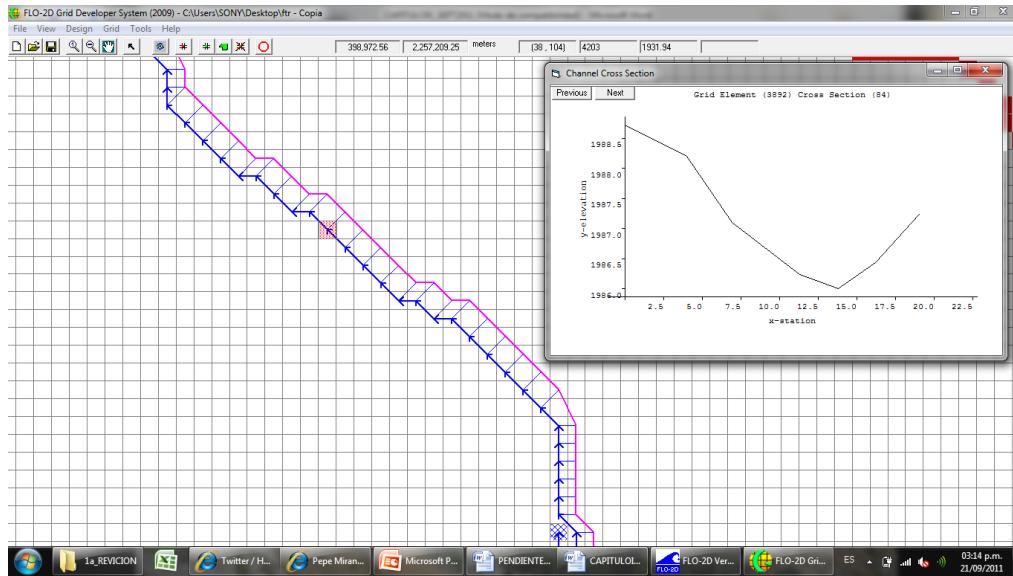


Figura 4.15. Perfil de sección natural 84 Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia en FLO-2D, SIG con base en: levantamiento en Arroyo Xhosda 2011.

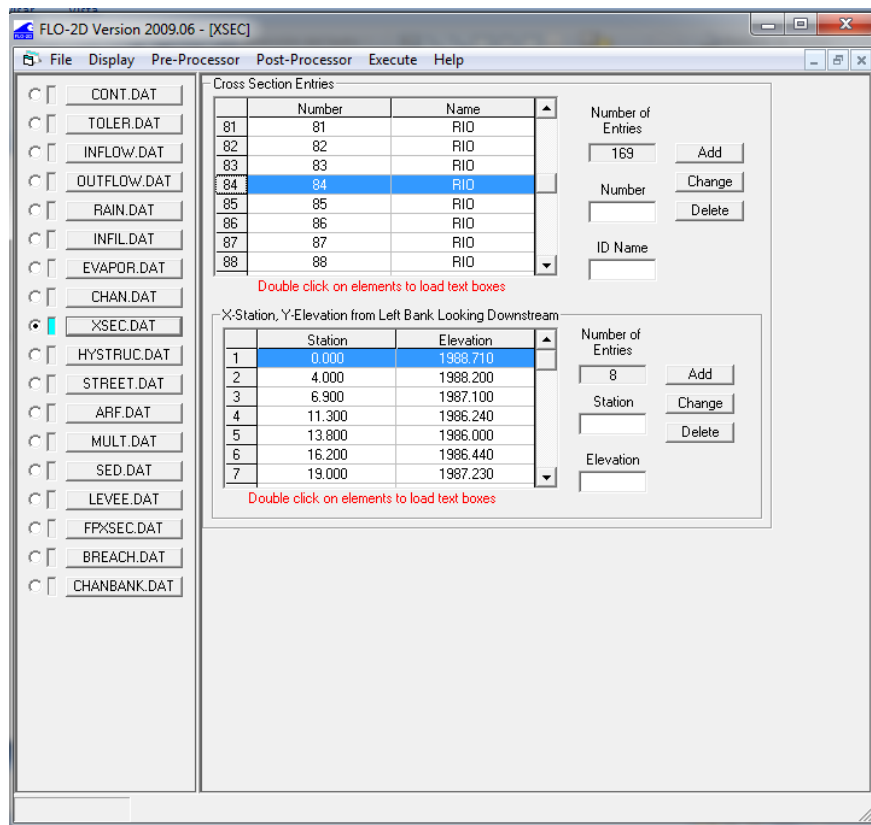


Figura 4.16. Perfil numérico de sección natural 84 Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia en FLO-2D, SIG con base en: levantamiento en Arroyo Xhosda 2011.

4.3.7. SECCIONES DREN BENITO JUÁREZ Y LA FLORESTA

Para el caso de los dren Benito Juárez y La Floresta, la forma es igual y se le asignó a todas las secciones las mismas propiedades, de 1.20 x 2.10 metros, tal y como se muestra en la siguiente figura.

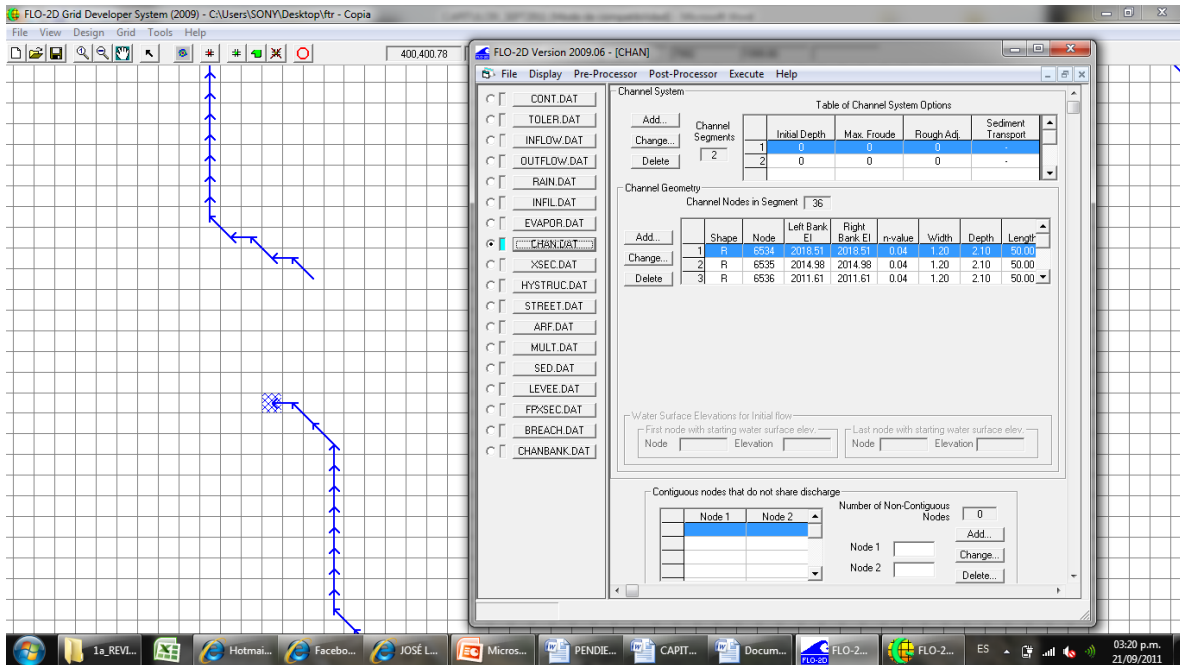


Figura 4.17. Secciones Dren Benito Juárez y La Floresta Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia en FLO-2D, SIG con base en levantamiento en Dren Benito Juárez y La Floresta.

4.3.8. ÁREA INUNDABLE

El resultado final del proceso es la siguiente figura, en la cual podemos observar el área de inundación en la Cuenca Baja Arroyo Xhosda, la cual concuerda con el escurrimiento de aguas por el cauce natural y por los drenes, con dirección a la salida de la cuenca, sobre la cuenca baja de la Cuenca Arroyo Xhosda.

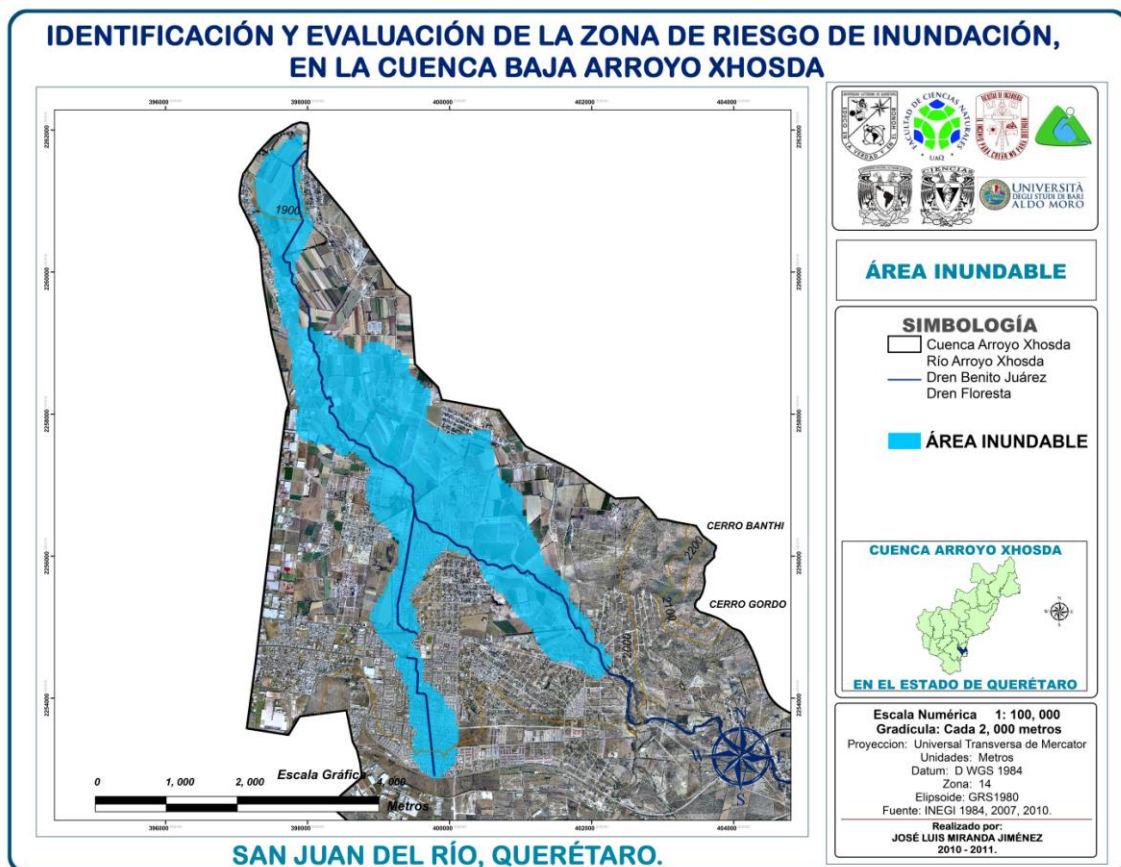


Figura 4.18. Área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia en FLO-2D, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; SMN 2011.



CAPÍTULO V.

IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA ZONA DE RIESGO

5. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA ZONA DE RIESGO

5.1. EXPOSICIÓN

La exposición se refiere a los bienes que se encuentran dentro del área inundable, los cuales están expuestos a sufrir daños por la ocurrencia de una inundación de cierta intensidad.

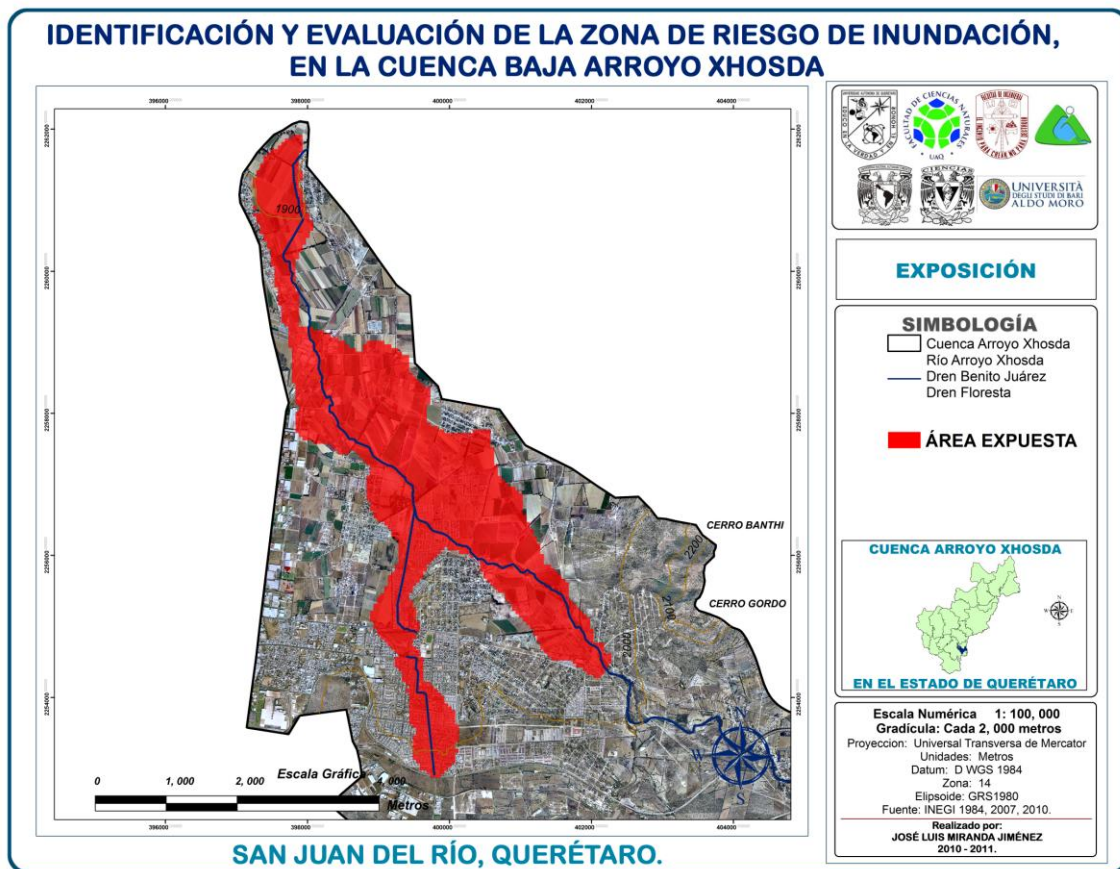


Figura 5.1. Exposición de bienes dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.



5.2. IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO

Los seres humanos al utilizar el medio natural como espacio de vida, convivimos directamente con los eventos naturales de nuestro medio, sean estos peligrosos o no peligrosos, por lo cual podemos afirmar que no todo evento natural es peligroso para el ser humano; por ejemplo, las lluvias de temporada, los pequeños temblores, la crecida de ríos, los vientos fuertes, etc. Sin embargo, por su magnitud y ocurrencia tan sorprendente, algunos eventos constituyen un peligro, como un sismo de considerable magnitud, lluvias torrenciales, sequías, etc., y que son considerados peligrosos debido a lo imprevisto de sus consecuencias.

Ya sabemos que el evento natural puede o no representar un peligro y que podría ser potencialmente dañino o no, según su magnitud y claro la probabilidad de que se presente. Ahora bien, para que ocurra una inundación, claro deben presentarse lluvias extraordinarias, las cuales la propicien en el área inundable. Considerando la hipsometría de la zona, se considera que en las zonas con un relieve más abrupto el escurrimiento es rápido, sin embargo la combinación de un escurrimiento rápido y las zonas inundables, es lo que tiende a propiciar una inundación.

Históricamente en Cuenca Arroyo Xhosda, el peligro más frecuente son las inundaciones producidas por intensas y prolongadas precipitaciones, que producen el desborde de las corrientes superficiales e inundación de las zonas bajas del territorio, las cuales son zonas habitacionales.

La identificación del peligro, fue mediante el resultado de la simulación de la inundación, donde para el peligro se considero la altura que alcanza el agua en el área inundable.

PELIGRO	ALTURA (cm)
Muy bajo	0.000 - 0.100
Bajo	0.101 - 0.200
Medio	0.201 - 0.300
Alto	0.301 - 0.600
Muy alto	0.601 - 0.980

Cuadro 5.1. Peligro de inundación, considerando la altura del tirante de inundación.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.

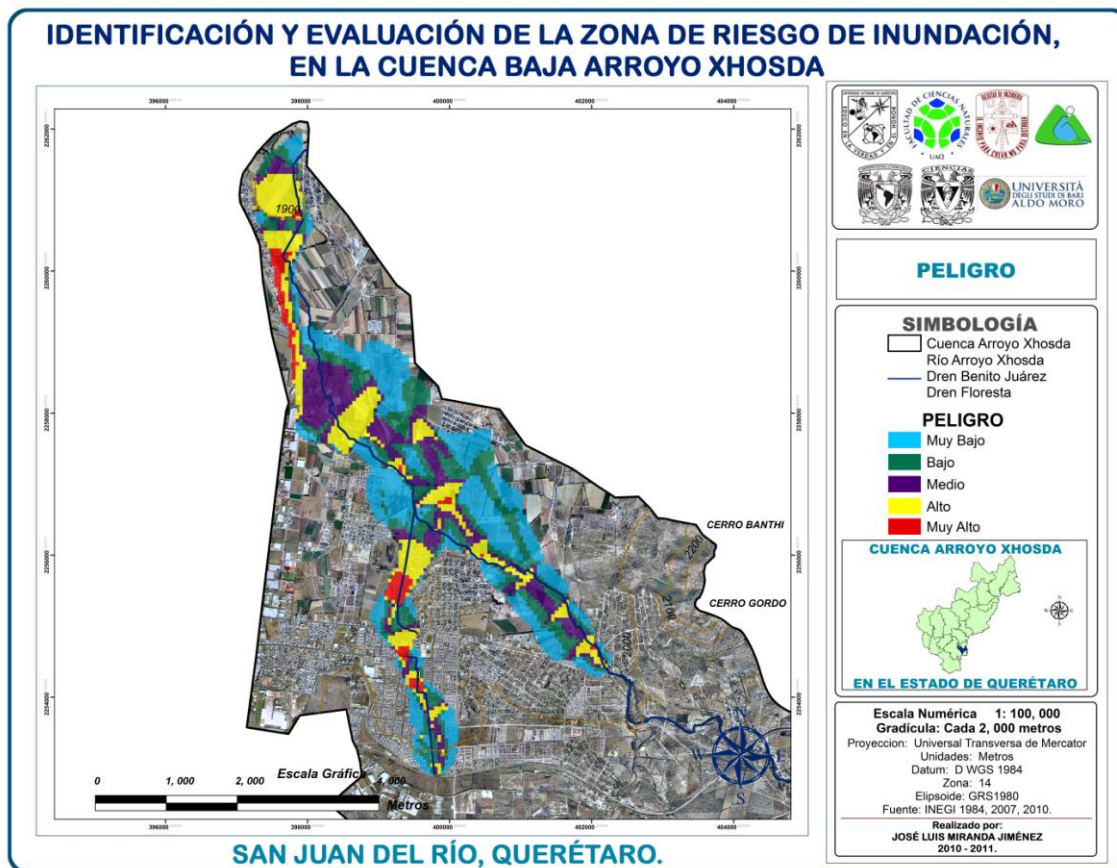


Figura 5.2. Peligro de inundación dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.



5.3. IDENTIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Considerando que el ser vulnerable a un fenómeno natural, es estar susceptible de sufrir algún daño y/o tener dificultades para recuperarse; a una inundación para este caso, por lo que es importante conocer que no todos los escenarios en los que se encuentra el ser humano presentan la misma vulnerabilidad, encontramos escenarios en los que la población realmente se encuentra expuesta a sufrir algún daño por la ocurrencia del evento natural peligroso, sea este sismo, lluvia, inundación, etc.; al igual hay otros escenarios en los que la población se encuentra rodeada de ciertas condiciones de seguridad, las cuales reducen la vulnerabilidad de la población y le brindan protección.

5.3.1. VULNERABILIDAD FÍSICA

La identificación y análisis de la vulnerabilidad física, es posible mediante el uso de diferentes variables, como tipo de suelo, uso de suelo y vegetación, pendiente en grados y riesgo de erosión; indicadores que permiten conocer la vulnerabilidad territorial de la zona inundable; sin embargo para este caso se identifico la vulnerabilidad física mediante la variable de uso de suelo y vegetación, a través de visitas de reconocimiento en el área de estudio y procesos SIG con base en coberturas digitales de INEGI.

5.3.2. PONDERACIÓN LA VULNERABILIDAD FÍSICA

Para el caso de la vulnerabilidad física, se utilizó la variable de uso de suelo y vegetación, donde a cada tipo se le asignó un valor según el resultado de la ponderación, estos valores se manipularon en SIG, y así obtuvimos la vulnerabilidad física según el uso de suelo y vegetación del área inundable.

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	PONDERACION
CUERPO DE AGUA	2.15
ZONA URBANA	1.42
AGRICULTURA DE RIEGO	0.95
AGRICULTURA DE TEMPORAL	0.66
MATORRALES	0.47
PASTIZAL INDUCIDO Y NATURAL	0.36

Cuadro 5.2. Ponderación por método de SAATI según uso de suelo y vegetación.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Mena 2006.

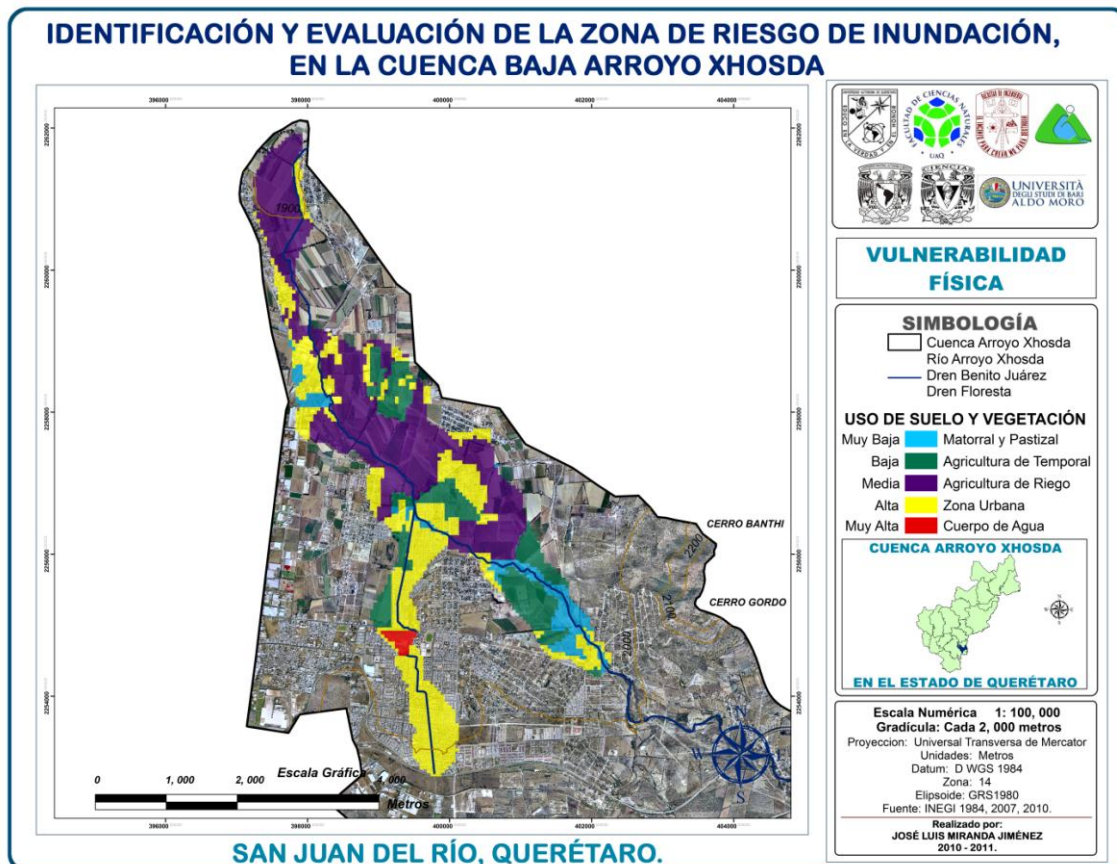


Figura 5.3. Vulnerabilidad física a inundación dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.



5.3.3. VULNERABILIDAD HÍDRICA

La identificación y análisis de la vulnerabilidad hídrica, es posible mediante el uso de diferentes variables, como precipitación media anual, temperatura promedio, escurrimiento superficial, morfometría e infraestructura hídrica en la cuenca y del cauce principal; indicadores que permiten conocer la vulnerabilidad hídrica que presenta el área inundable; sin embargo para este caso se identifico la vulnerabilidad hídrica mediante la variable de precipitación media anual.

5.3.4. PONDERACIÓN DE LA VULNERABILIDAD HÍDRICA

Para el caso de la vulnerabilidad hídrica, se utilizo la variable de precipitación media anual, según el rango de precipitación, se pondero y se obtuvo la vulnerabilidad física según la precipitación media anual del área inundable.

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL	PONDERACION
600 A 700	1.59
500 A 600	0.88
400 A 500	0.53

Cuadro 5.3. Ponderación por método de SAATI según precipitación media anual.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Mena 2006.

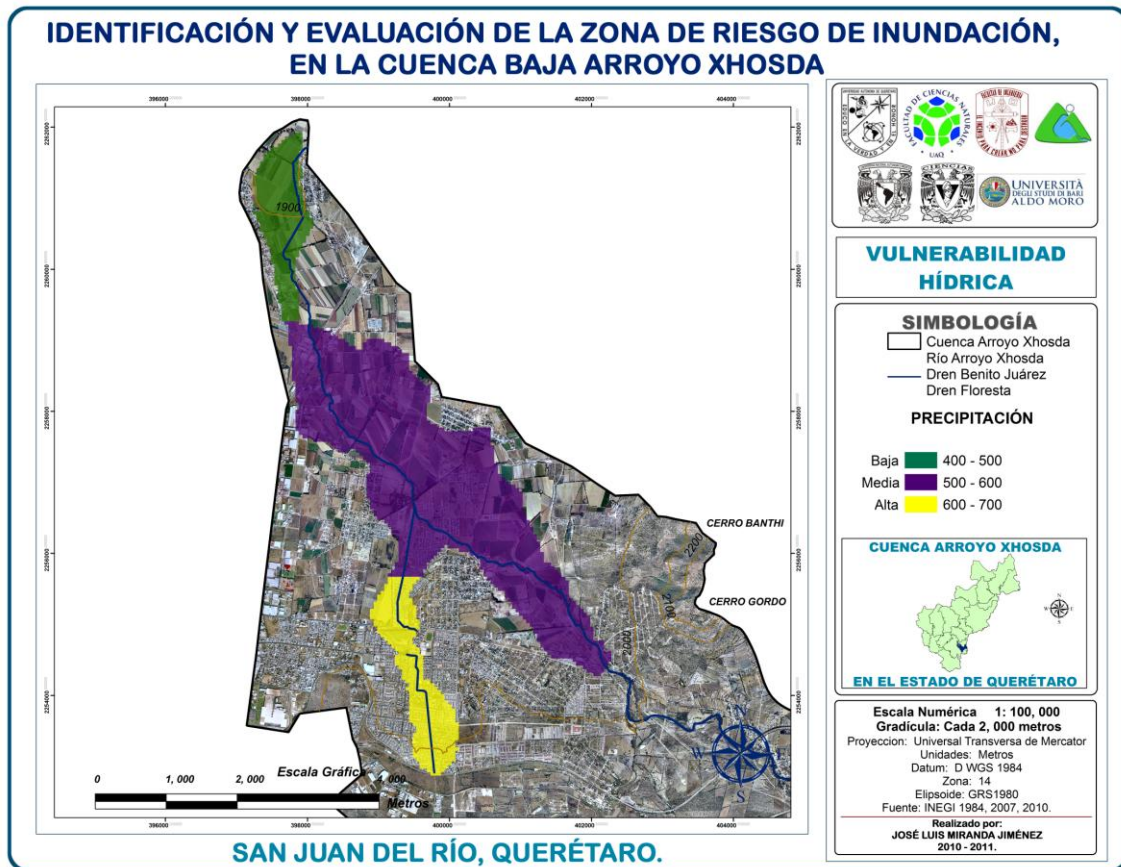


Figura 5.4. Vulnerabilidad hídrica a inundación dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.



5.3.5. VULNERABILIDAD SOCIAL

La vulnerabilidad social, determina el grado de vulnerabilidad de las personas y su infraestructura y/o viviendas, va de la mano con la vulnerabilidad territorial, y se encuentran condicionadas por los indicadores que propician o no el estar vulnerable ante una inundación, para Cuenca Arroyo Xhosda se han determinado las áreas en peligro de inundación considerando la probabilidad de ocurrencia con un periodo de retorno específico a 50 años, determinado a partir del análisis hidrológico-estadístico de los patrones hidrometeorológicos de 10 estaciones meteorológicas de Querétaro, las cuales impactan en a Cuenca Arroyo Xhosda.

La vulnerabilidad social es consecuencia directa del empobrecimiento, el incremento demográfico y de la urbanización acelerada sin planeación. Asimismo, la vulnerabilidad social ante los desastres naturales se define *como una serie de factores económicos, sociales y culturales que determinan el grado en el que un grupo social está capacitado para la atención de la emergencia, su rehabilitación y recuperación frente a un desastre* (Kuroiwa Julio 2002).

La identificación y análisis de la vulnerabilidad social, es posible mediante el uso de diferentes variables, como población total por AGEB, densidad de población, habitantes con educación secundaria, habitantes con educación superior, población económicamente activa, población económicamente inactiva, ingreso mensual, así como material de construcción de la vivienda, estado de conservación y su ubicación con respecto al río; con estos indicadores es posible conocer la vulnerabilidad de la población y de sus viviendas ante las inundaciones, esta información se puede obtener de la base de datos de INEGI-CONAPO y posteriormente puede ser verificada mediante visitas de reconocimiento en el área de estudio; sin embargo para este caso se identifico la vulnerabilidad física mediante la variable de población total por AGEB y grado de marginación municipal, lo cual realizamos mediante procesos SIG con base en coberturas digitales de INEGI.



Las variables empleadas deben complementarse en un sistema de información geográfica SIG, para su análisis y la generación de mapas temáticos por manzana, con los cuales proceder a la identificación del riesgo de inundación. Adicionalmente es posible considerar algunas otras variables, como:

- Localización del río o cursos de agua, ya que las edificaciones cercanas a este son aun más vulnerables.
- La zona inundable o zona baja de la cuenca, ya que estas áreas son igual más vulnerables a presentar una inundación y pueden presentar ingreso del agua a las edificaciones, ya que son las partes de salida del escurrimiento de la cuenca.
- Materiales predominantes de construcción, ya que existen materiales como el adobe y lamina de cartón, que son más vulnerables a inundaciones.
- Estado de conservación de las edificaciones, porque el estado de conservación y/o mal estado, vuelve a estas edificaciones más vulnerables a inundaciones, ya que podrían desplomarse.

También es posible considerar que la vulnerabilidad social se incrementa:

Porque la población habita zonas que no son aptas para las viviendas, ya sea por el tipo de suelo o por su ubicación inconveniente respecto al curso de agua o al ser esta un área inundable.

Por la construcción de casas de materiales inapropiados, carentes de cimientos y/o estos de baja resistencia, lo que no brinda la seguridad adecuada.

Por la falta de oportunidades económicas que permitan satisfacer las necesidades humanas de vivienda digna y segura, lo que resulta del índice de desempleo y los salarios tan bajos que se ofrecen, circunstancias debidas por analfabetismo y bajo nivel de educación.

5.3.6. PONDERACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL

Para el caso de la vulnerabilidad social, utilizamos la variable de total de habitantes por AGEB, estos valores se manipularon en SIG, y se realiza la ponderación correspondiente, y así obtuvimos la vulnerabilidad social según el total de habitantes por AGEB, correspondiente al área inundable.

TOTAL DE HABITANTES POR AGEB	PONDERACION
3501 - 4500	1.99
2501 - 3500	1.25
1501 - 2500	0.81
501 - 1500	0.55
0 - 500	0.40

Cuadro 5.4. Ponderación por método de SAATI según total de habitantes por AGEB.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; Mena 2006.

Para este rubro también se considero el grado de marginación que se tiene en el área inundable, el cual corresponde a grado de marginación muy bajo para toda el área, esto según las estimaciones de CONAPO, con base al II Censo de Población y Vivienda, INEGI 2005.

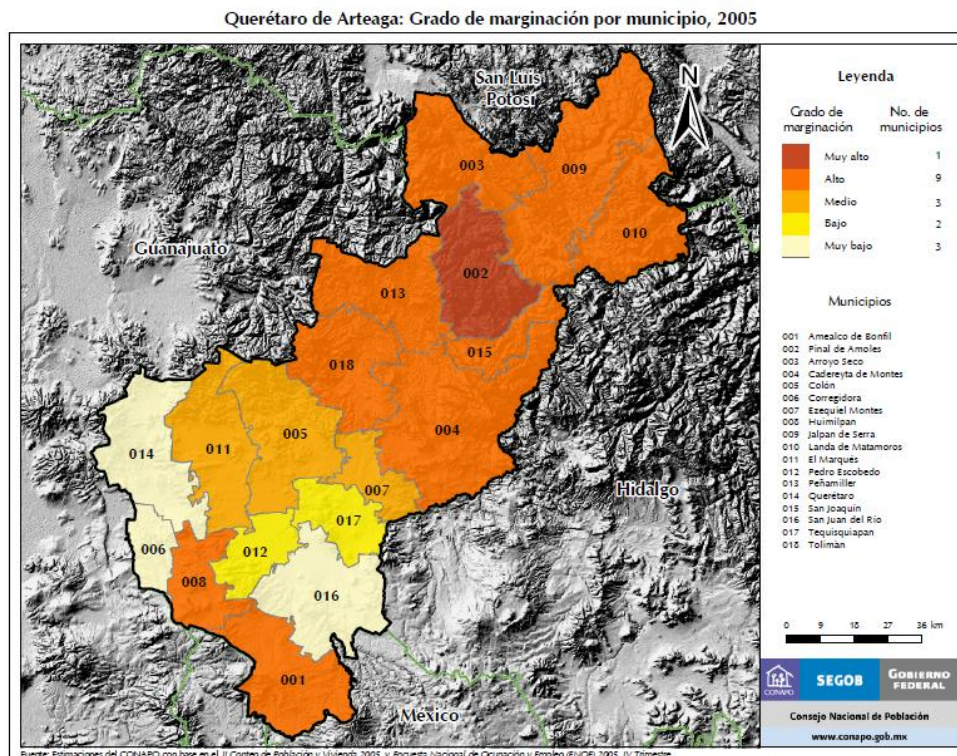


Figura 5.5. Grado de marginación municipal, Querétaro.

Fuente: Estimaciones CONAPO con base en: INEGI 2005.

Así mismo se incluyo la carencia de información referente a inundaciones y sus riesgos, información que no se brinda a la población por parte de las dependencias gubernamentales, puesto que sus acciones implementadas son de acción y respuesta solo después ocurrido el evento de inundación; sin embargo la base informativa a la población es de gran importancia, ya que CENAPRED considera que mientras más informada se encuentre la población, mejor será su capacidad de respuesta ante un evento de inundación, y la vulnerabilidad social disminuye, lo cual se refleja en el grado de riesgo que será menor, considerando lo anterior, el resultado referente a vulnerabilidad social es el que se muestra en la siguiente figura, donde la vulnerabilidad social muy alta, alta y media, corresponde al área urbana.

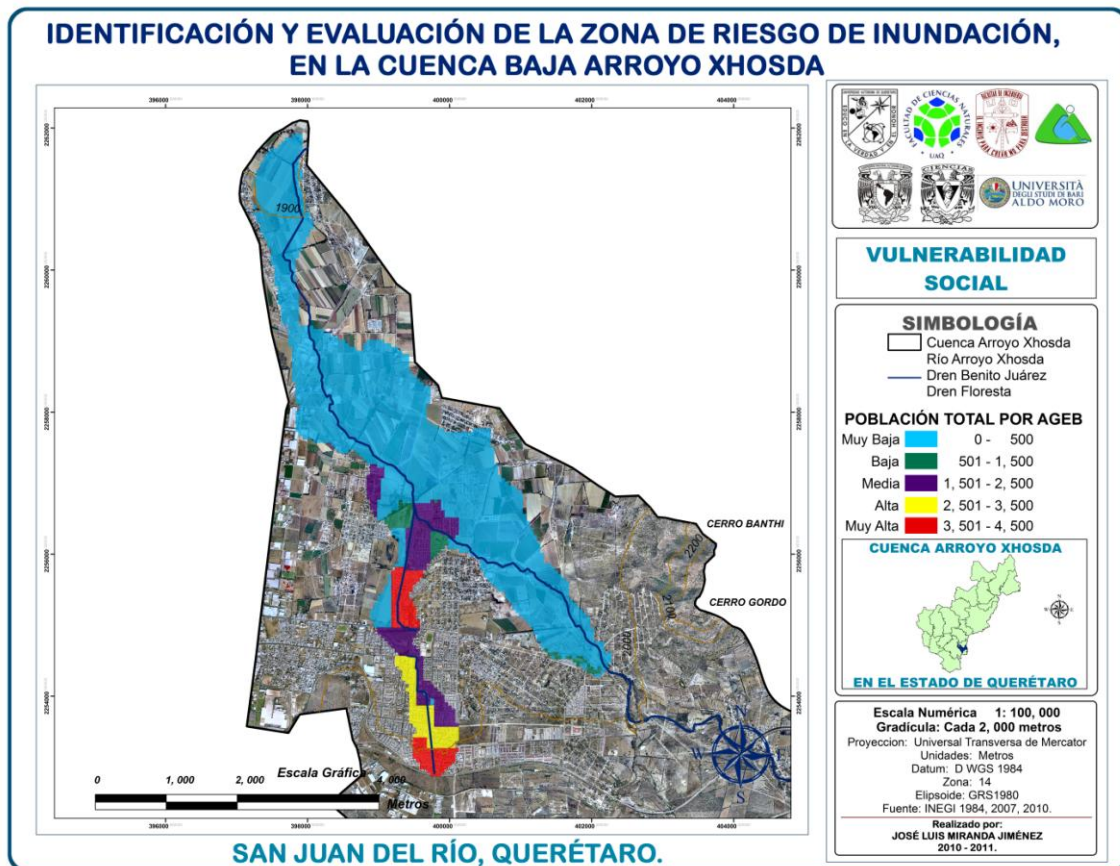


Figura 5.6. Vulnerabilidad social a inundación dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda. Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.

5.3.7. VULNERABILIDAD INTEGRAL

La vulnerabilidad integral resulta de la integración de vulnerabilidad física, hídrica y social, con estas variables construimos un resultado más integral, ya que se consideran aspectos físicos, hídricos y sociales.

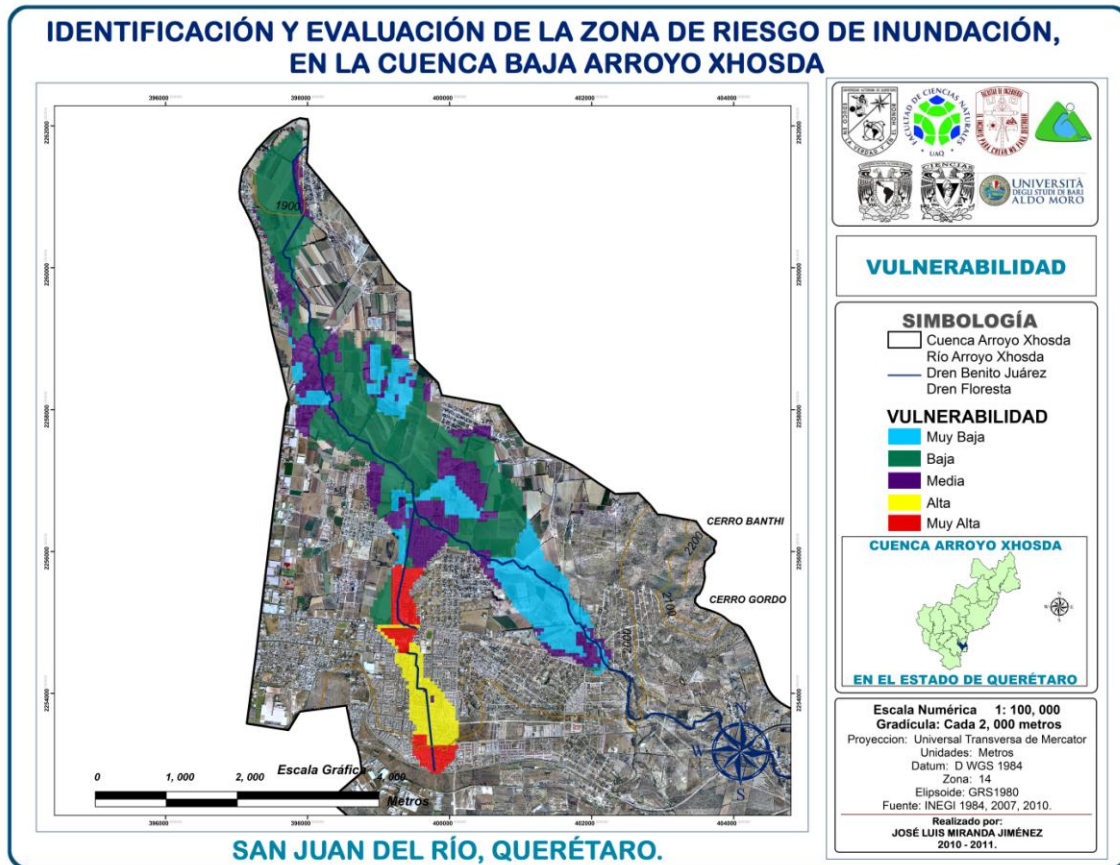


Figura 5.7. Vulnerabilidad integral a inundación dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.



5.4. IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO

Los escenarios del riesgo comprenden una estimación de daños y pérdidas en el área inundable de la Cuenca Baja Arroyo Xhosda, consecuencia de peligro por la presencia de una inundación.

Para obtener estos escenarios se ha implementado una matriz, en la cual se incluyen los valores de vulnerabilidad y peligro por área y en base a estos se estima el índice de riesgo de la Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

La matriz y el análisis del riesgo proporciona los grados de riesgo que se generalizan en los siguientes niveles: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo; ejemplo de ello podemos simplificar que mientras el peligro sea muy alto y se encuentre asociado con zonas de vulnerabilidad muy alta, permite identificar la zona de riesgo muy alto, y conforme se relacione con los parámetros podemos obtener los resultados para toda la zona de estudio o área inundable de la Cuenca Baja Arroyo Xhosda, para lo cual debemos considerar que mientras los valores de peligro y vulnerabilidad sean bajos, tendremos zonas de bajo o muy bajo riesgo.

Con los resultados es posible correlacionar el peligro y la vulnerabilidad, y mientras presenten variaciones en sus valores, es posible determinar las zonas con su estatus de riesgo y con ello es posible tener la distribución espacial del riesgo, cuya finalidad es identificarlo para proponer alternativas para mitigar o minimizar el riesgo de inundación, priorizando acciones específicas y acertadas para disminuir los valores de peligro y vulnerabilidad y claro así minimizar el riesgo de inundación en la zona inundable de la Cuenca Baja Arroyo Xhosda.



5.4.1. MATRIZ DE PONDERACIÓN DEL RIESGO

Para identificar el riesgo, se implemento la matriz propuesta por CENAPRED, donde por un lado se inserta el grado de peligro y por otro el grado de vulnerabilidad.

PELIGRO	VULNERABILIDAD				
	RIESGO	Muy Baja	Baja	Media	Alta
Muy Bajo	Muy Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Alto
Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Alto
Medio	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Alto
Alto	Medio	Medio	Medio	Alto	Muy Alto
Muy Alto	Alto	Alto	Alto	Muy Alto	Muy Alto

Cuadro 5.5. Matriz de ponderación del riesgo.

Fuente: CENAPRED 2004.

Posteriormente se valoraron los niveles del riesgo, donde es necesario correlacionar los valores de la matriz, de esta relación resulta el grado de riesgo por área, los cuales incluiremos en la base de datos y obtendremos el mapa de riesgo de inundación.

5.5. ANÁLISIS DEL RIESGO

Para identificar el riesgo, se implemento la matriz propuesta por CENAPRED, donde por un lado se inserta el grado de peligro y por otro el grado de vulnerabilidad.

El mapa de riesgo de inundación obtenido, es la primera aproximación a la identificación del riesgo por inundación y es de importancia utilizarlo, sobre todo para desarrollo socio-económico de la Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

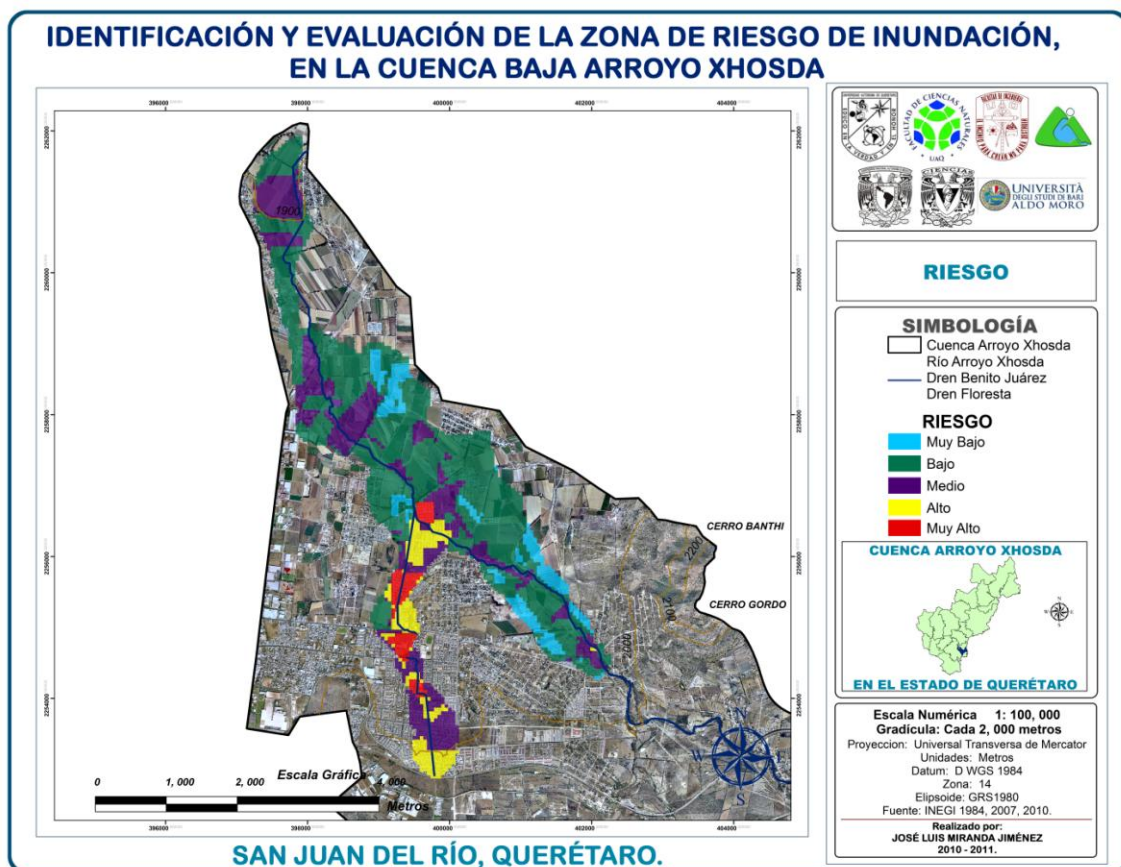


Figura 5.8. Riesgo de inundación dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.



En el área inundable de la Cuenca Baja Arroyo Xhosda, habitan 32,587 personas.

RIESGO	% DEL ÁREA INUNDABLE	POBLACIÓN TOTAL	% DE POBLACIÓN
MUY BAJO	8.27	831	2.55
BAJO	56.96	3849	11.81
MEDIO	23.98	6724	20.63
ALTO	7.17	8419	25.83
MUY ALTO	3.62	12764	39.16
	100	32587	99.98

Cuadro 5.6. Población total por área según el riesgo.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

Esta área presenta variadas áreas de riesgo. El riesgo muy alto y alto corresponde a la mayoría del territorio urbanizado, sobre todo la confluencia del caudal del dren Benito Juárez y La Floresta. Donde del área inundable, el 3.62% presenta riesgo muy alto y 7.17% riesgo alto, como se menciona estas zonas corresponden al área urbana, en donde habitan 21,183 personas; por otra parte el 23.98% del área presenta un riesgo medio, esta corresponde a pequeñas áreas urbanas y cultivos a lo largo de Arroyo Xhosda, en esta área de riesgo medio habitan 6,724 personas, esta área también presenta cultivos de riego.

En las áreas urbanas el riesgo es alto y muy alto, ya que la ausencia de vegetación y los suelos impiden la infiltración, además que es el lugar donde los drenes presentan insuficiencia hídrica y parte de esta área es donde confluye el escurrimiento de los escurrimientos naturales y artificiales, aunado a que ahí también se encuentra el Bordo Benito Juárez.

El área restante, es 65.23%, en esta área habitan 4,680 personas, el 56.96% corresponde a riesgo bajo y el 8.27% a riesgo muy bajo, estas áreas no presentan riesgo considerable debido a sus condiciones físico geográficas, aunado a que el peligro y vulnerabilidad que presentan son bajos.

5.6. SIMULACIÓN CON CRECIMIENTO URBANO A 25 AÑOS

Para conocer el riesgo a futuro, se realizó una simulación considerando la información de la simulación actual a 2011, reutilizando los parámetros morfológicos, hidrógramas y periodos de retorno específicos a 50 años, así como las secciones del Dren Benito Juárez, Dren La Floresta y Arroyo Xhosda; sin embargo, se construyó la cobertura de uso de suelo y vegetación, con un crecimiento urbano a 25 años y se estimó el crecimiento urbano a 25 años, el cual se incrementó un 92.35% considerando el crecimiento poblacional de Querétaro 1985-2010.

5.6.1. COEFICIENTE DE MANNING CON CRECIMIENTO URBANO A 25 AÑOS

Para la presente simulación, se utilizó el coeficiente de Manning, según la cobertura de uso de suelo y vegetación, proyectando el crecimiento urbano a un periodo de 25 años, para conocer cómo se comporta el área de inundación, según el crecimiento urbano.

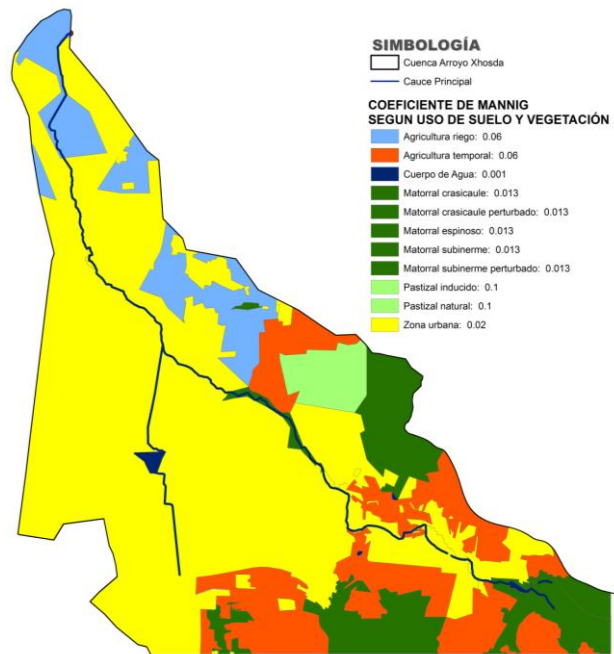


Figura 5.9. Coeficiente de Manning a 25 años Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; SEDESU 2010.

5.6.2. ÁREA INUNDABLE CON CRECIMIENTO URBANO A 25 AÑOS

Considerando el crecimiento urbano a 25 años, el resultado de la simulación es el siguiente, cabe considerar, que con el incremento de la infraestructura urbana, consecuencia del cambio de uso de suelo de agrícola y matorral a urbano, el área inundable podrá comportarse de diferente forma; por otra parte el crecimiento urbano también limita la infiltración, lo que también impacta en la modificación del área inundable.

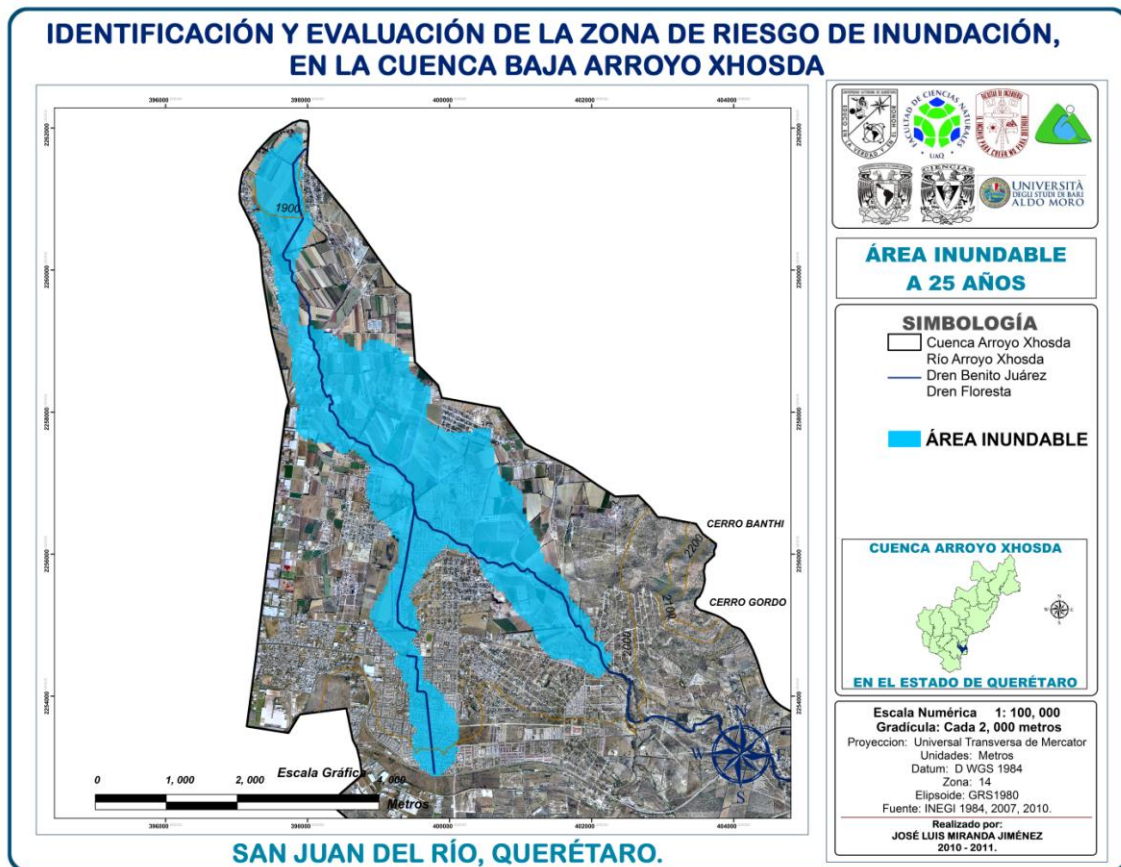


Figura 5.10. Área inundable a 25 años Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia en FLO-2D, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; SMN 2011.

5.6.3. PELIGRO DE INUNDACIÓN CON CRECIMIENTO URBANO A 25 AÑOS

La identificación del peligro, fue mediante el resultado de la simulación de la inundación considerando el crecimiento urbano a 25 años, donde para el peligro se considero la altura que alcanza el agua en el área inundable.

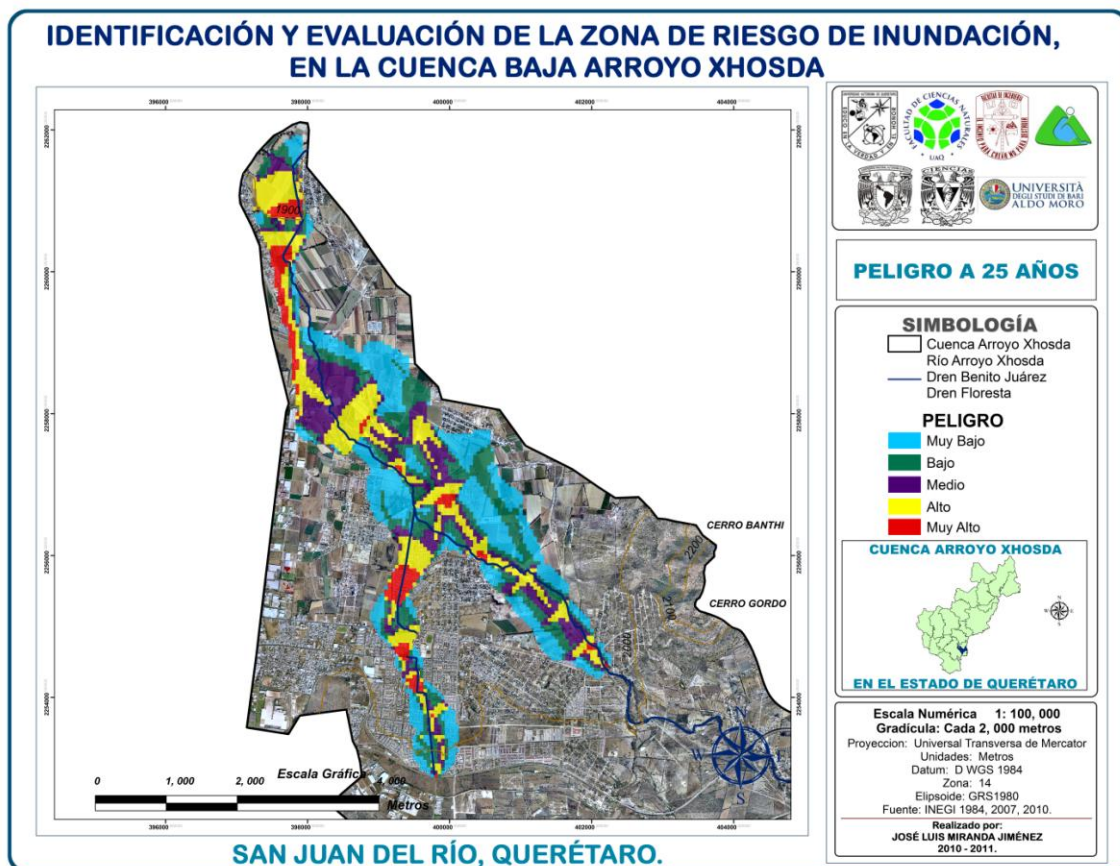


Figura 5.11. Peligro de inundación a 25 años dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda. Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.

5.6.4. VULNERABILIDAD FÍSICA CON CRECIMIENTO URBANO A 25 AÑOS

Para la vulnerabilidad física, se utilizó la variable de uso de suelo y vegetación, considerando el crecimiento urbano a 25 años, cabe destacar que mientras se incrementen los cambios de uso de suelo de forestal y agrícola a urbano, la vulnerabilidad física según uso de suelo y vegetación va a incrementar.

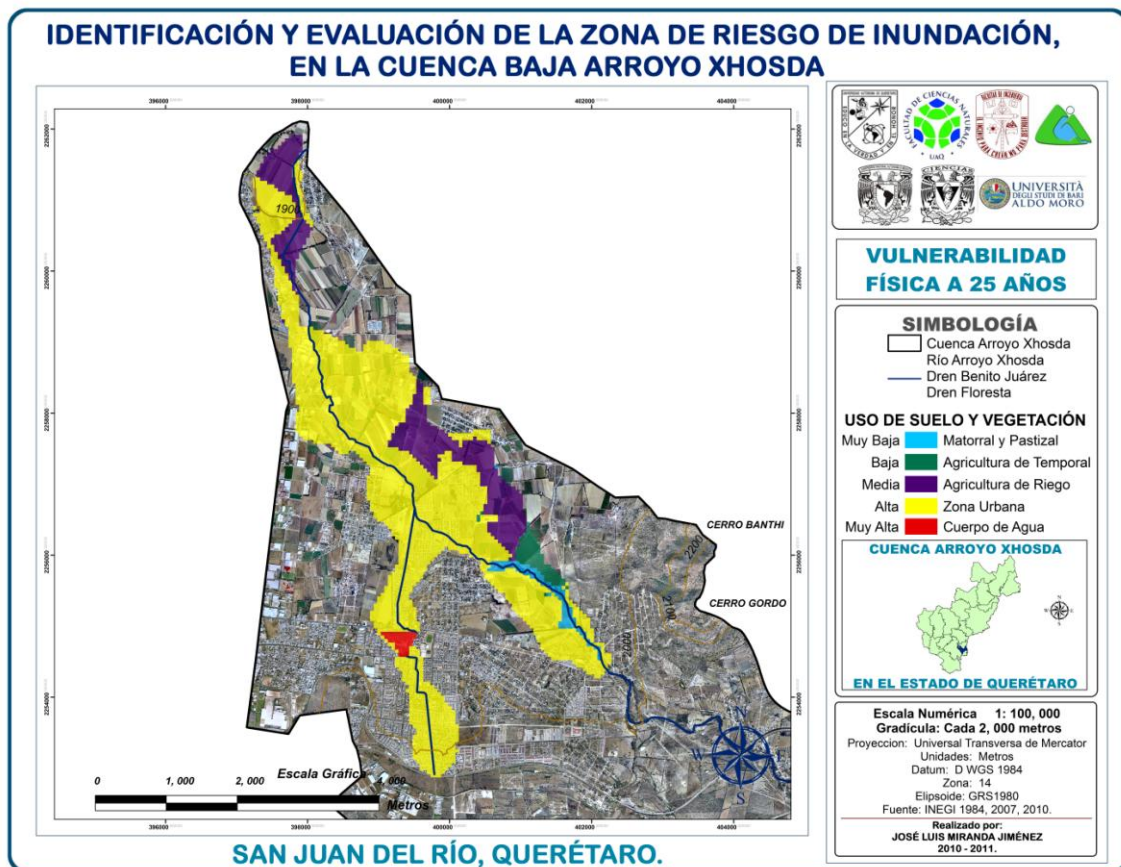


Figura 5.12. Vulnerabilidad física a inundación a 25 años dentro del área inundable a 25 años Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.

5.6.5. VULNERABILIDAD HÍDRICA CON CRECIMIENTO URBANO A 25 AÑOS

Para el caso de la vulnerabilidad hídrica, se utilizó la variable de precipitación media anual, sin embargo, cabe destacar que mientras más precipitación se presenta, la vulnerabilidad hídrica se va a incrementar.

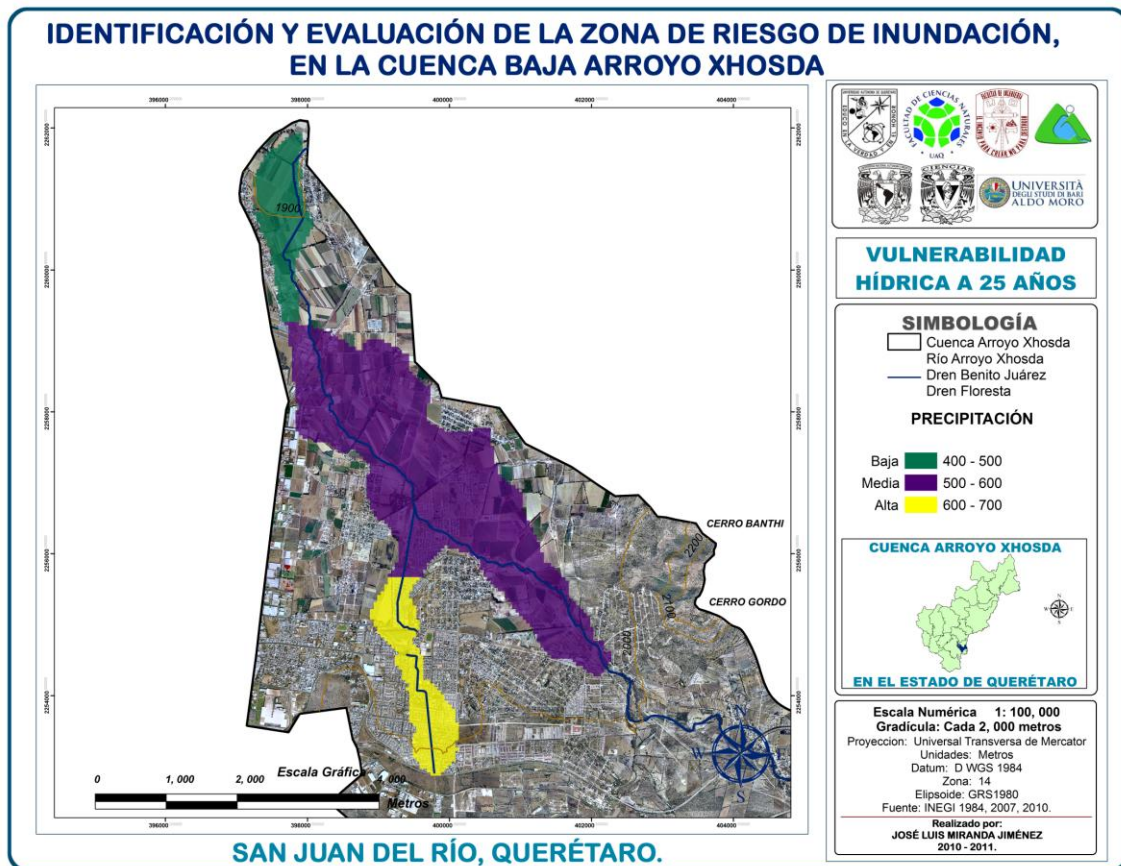


Figura 5.13. Vulnerabilidad hídrica a inundación a 25 años dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda.
Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.

5.6.6. VULNERABILIDAD SOCIAL CON CRECIMIENTO URBANO A 25 AÑOS

Para este caso se identifico la vulnerabilidad física mediante la variable de población total por AGEB, considerando un crecimiento poblacional a 25 años, este se estimo de acuerdo con el crecimiento poblacional de Querétaro 1900-2010, y manteniendo el mismo grado de marginación municipal, cabe destacar que mientras se incremente la población, la vulnerabilidad social también se va a incrementar.

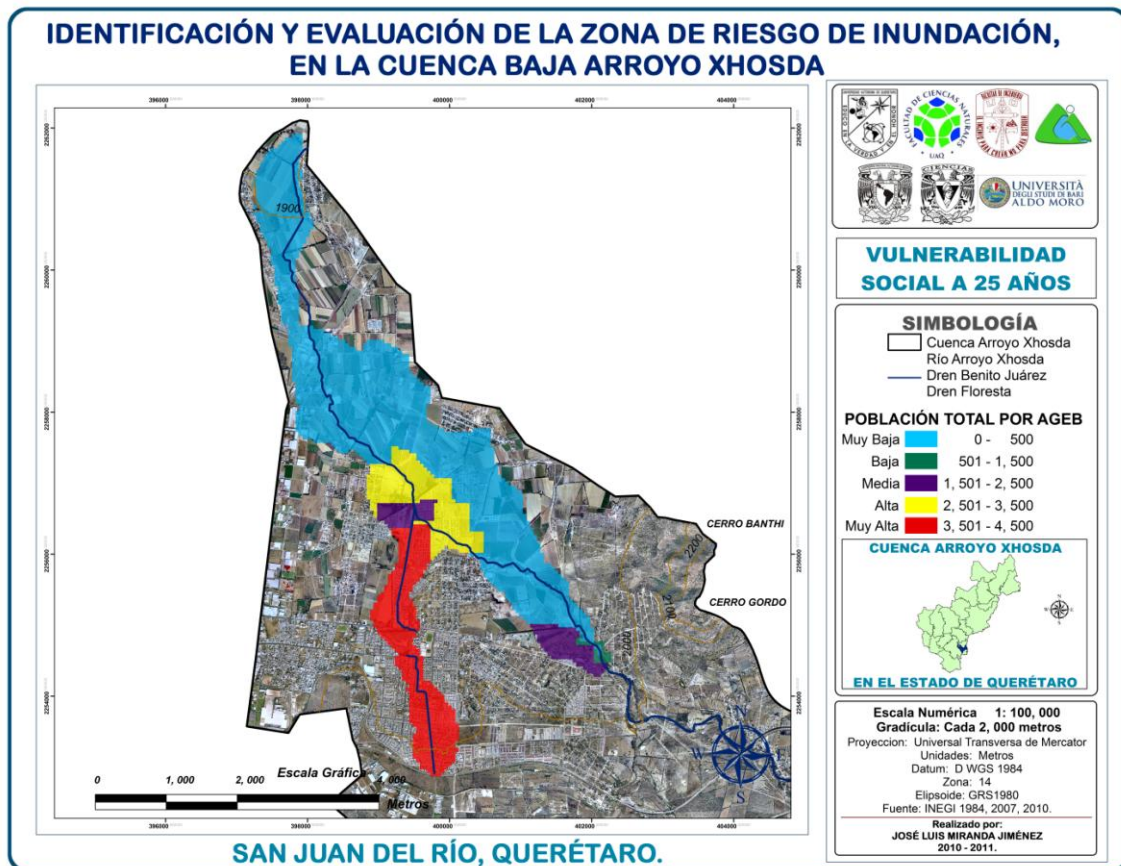


Figura 5.14. Vulnerabilidad social a inundación a 25 años dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda.
Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.

5.6.7. VULNERABILIDAD INTEGRAL CON CRECIMIENTO URBANO A 25 AÑOS

La vulnerabilidad integral con crecimiento urbano a 25 años, resulta de la integración de vulnerabilidad física, hídrica y social, con estas variables construimos un resultado más integral, ya que se consideran aspectos físicos, hídricos y sociales estimados a 25 años.

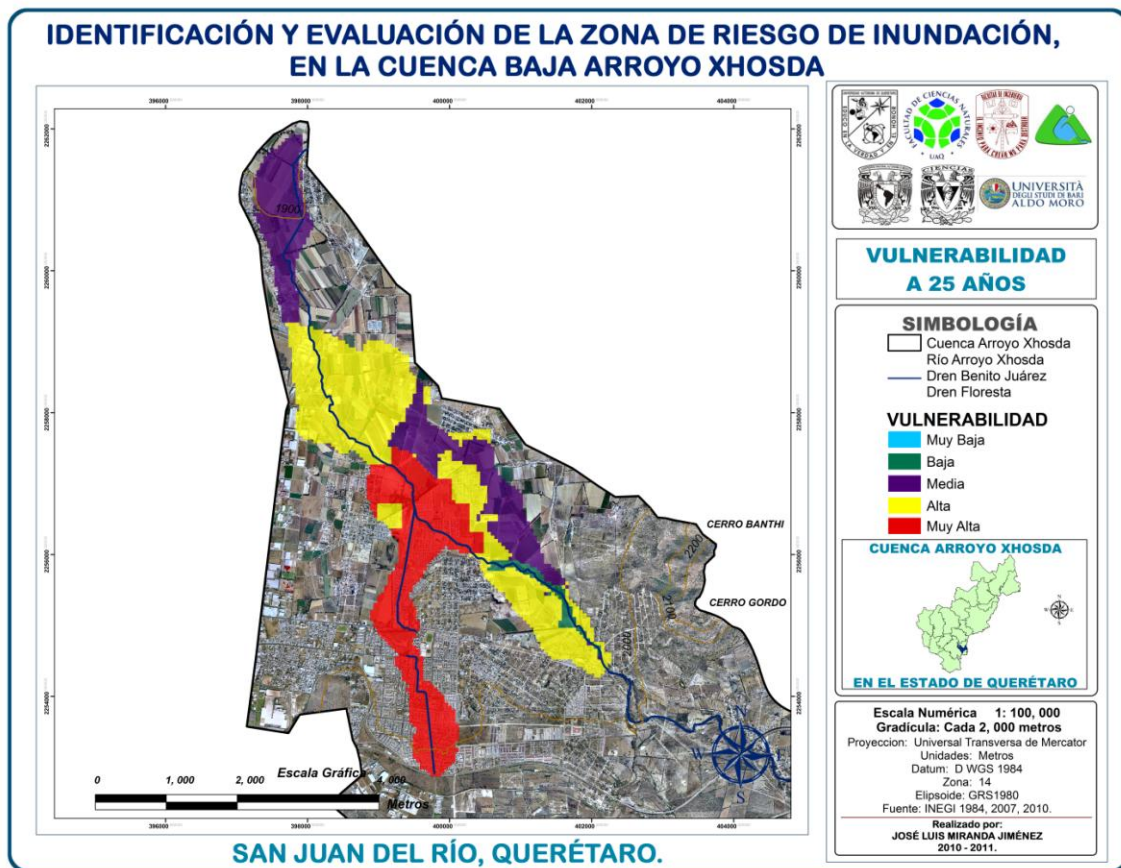


Figura 5.15. Vulnerabilidad integral a inundación a 25 años dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda.
Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.

5.6.8. RIESGO DE INUNDACIÓN CONSIDERANDO UN CRECIMIENTO URBANO A 25 AÑOS

El mapa de riesgo de inundación obtenido, es la primera aproximación a la identificación del riesgo por inundación estimado para el año de 2036, y es de importancia utilizarlo, sobre todo en las propuestas de planeación territorial y el desarrollo socio-económico de la Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

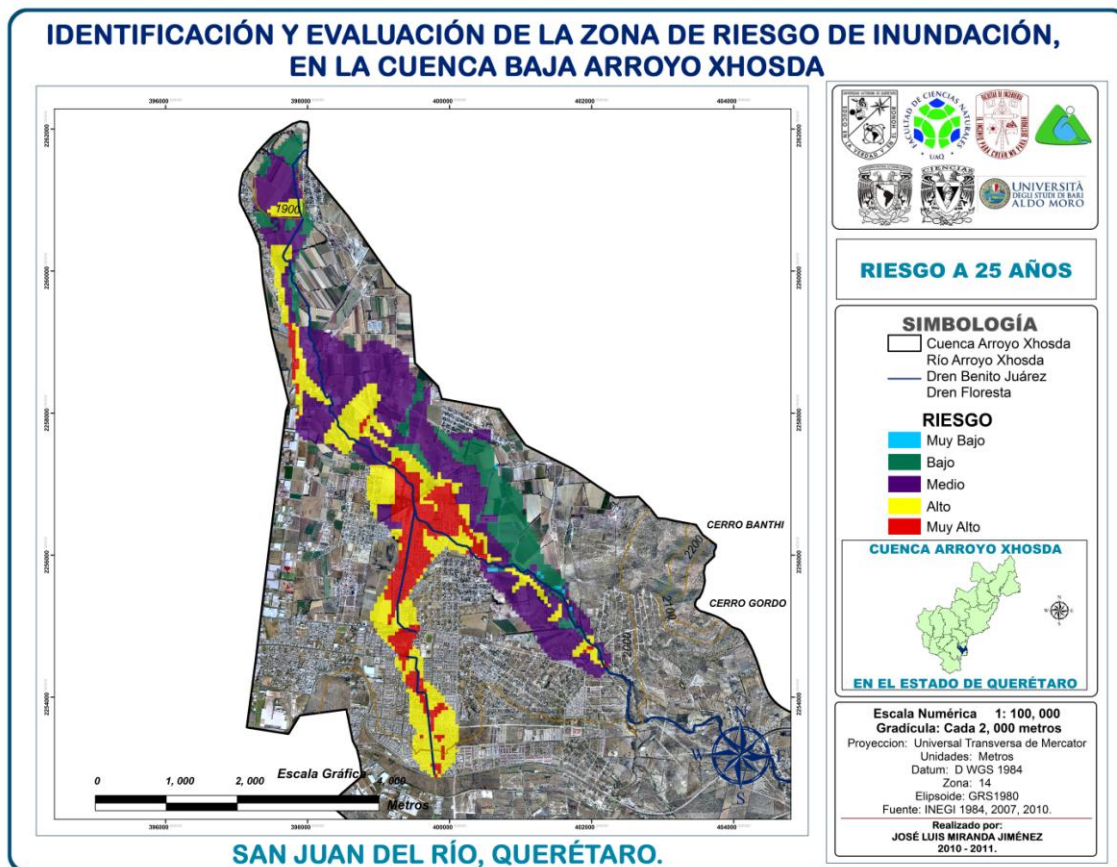


Figura 5.16. Riesgo de inundación a 25 años dentro del área inundable Cuenca Baja Arroyo Xhosda. Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.



Para el año 2036, en el área inundable de la Cuenca Baja Arroyo Xhosda, se estima que habitarán 62,678 personas.

RIESGO	% DEL ÁREA INUNDABLE	POBLACIÓN TOTAL	% DE POBLACIÓN
MUY BAJO	0.24	1598	2.55
BAJO	15.78	7403	11.81
MEDIO	42.40	12933	20.63
ALTO	26.52	16193	25.83
MUY ALTO	15.05	24551	39.16
	100	62678	99.98

Cuadro 5.7. Población total por área según el riesgo al año 2036.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

El área presenta variadas áreas de riesgo. El riesgo muy alto y alto corresponde a la mayoría del territorio urbanizado, sobre todo la confluencia del caudal del dren Benito Juárez y La Floresta con Arroyo Xhosda. Donde del área inundable, el 15.05% presenta riesgo muy alto y 26.52% riesgo alto, como se menciona estas zonas corresponden al área urbana, en donde habitan 40,744 personas; por otra parte el 42.40% del área presenta un riesgo medio, esta corresponde a áreas urbanas y cultivos aledaños a lo largo de Arroyo Xhosda, en esta área de riesgo medio habitan 12,933 personas, esta área presenta pequeñas áreas de cultivos de riego.

En las áreas urbanas el riesgo es alto y muy alto, ya que la ausencia de vegetación y los suelos impiden la infiltración, además que es el lugar donde los drenes presentan insuficiencia hídrica y parte de esta área es donde confluye el escurrimiento de los escurrimientos naturales y artificiales, aunado a que ahí también se encuentra el Bordo Benito Juárez.

El área restante, es 16.02%, en esta área habitan 9,001 personas, el 15.78% corresponde a riesgo bajo y el 0.24% a riesgo muy bajo, estas áreas no presentan riesgo considerable debido a sus condiciones físico geográficas, aunado a que el peligro y vulnerabilidad que presentan son bajos.

5.7. SIMULACIÓN CON CRECIMIENTO URBANO A 25 AÑOS CONSIDERANDO OBRAS PROPUESTAS

Se realizó la simulación reutilizando los parámetros morfológicos, hidrógramas y periodos de retorno específicos a 50 años, así como las secciones del Dren Benito Juárez, Dren La Floresta y Arroyo Xhosda, y el crecimiento urbano a 25 años; solo que para esta se consideraron las obras propuestas, para así conocer el comportamiento del escurrimiento con las obras.

5.7.1. ÁREA INUNDABLE CON CRECIMIENTO URBANO A 25 AÑOS CONSIDERANDO OBRAS PROPUESTAS

Considerando las obras propuestas y el crecimiento urbano a 25 años, el resultado de la simulación es el siguiente, donde podemos apreciar que con la realización de las obras propuestas, tanto el área inundable, como el tirante de inundación disminuyen.

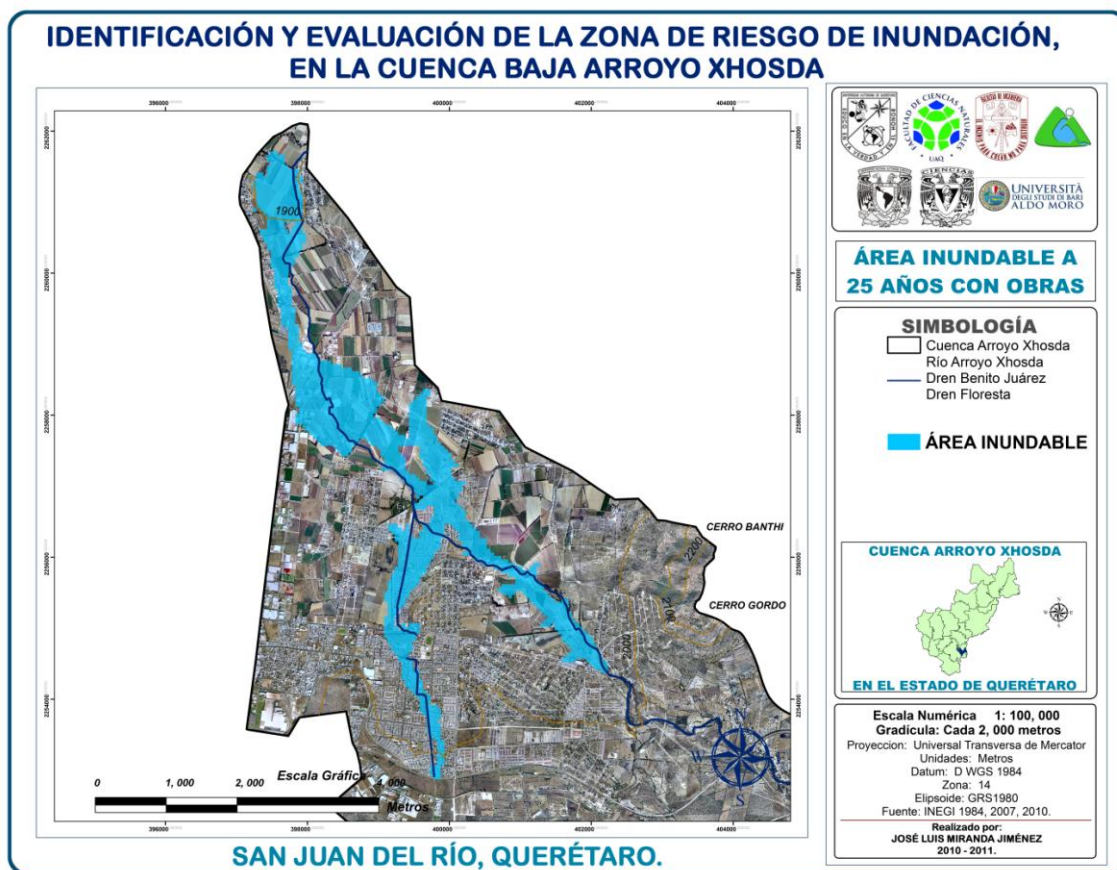


Figura 5.17. Área inundable a 25 años con obras propuestas Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia en FLO-2D, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; SMN 2011.

5.7.2. PELIGRO DE INUNDACIÓN CON CRECIMIENTO URBANO A 25 AÑOS CONSIDERANDO OBRAS PROPUESTAS

La identificación del peligro, fue mediante el resultado de la simulación de la inundación considerando las obras propuestas y el crecimiento urbano a 25 años, donde para el peligro se considero la altura que alcanza el agua en el área inundable, y como se puede ver en la siguiente figura, el peligro disminuye.

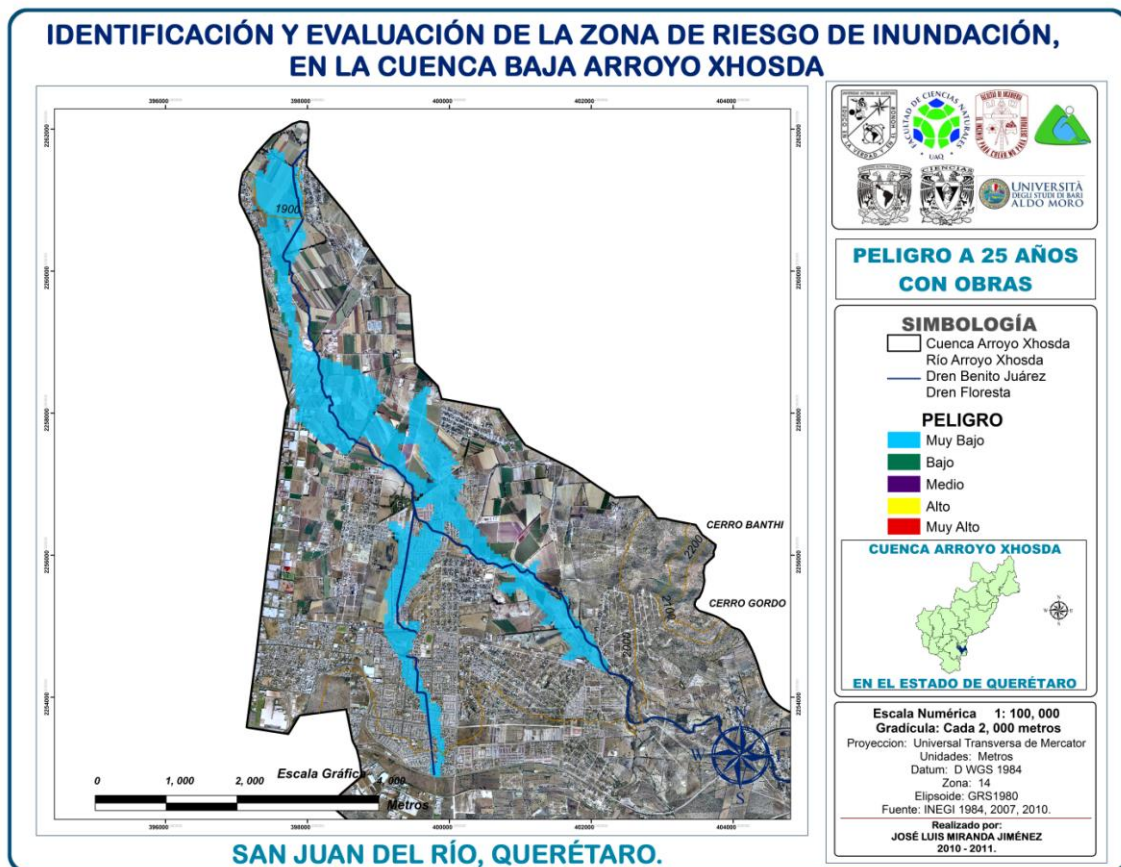


Figura 5.18. Peligro de inundación a 25 años dentro del área inundable con obras propuestas Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.

5.7.3. VULNERABILIDAD FÍSICA CON CRECIMIENTO URBANO A 25 AÑOS CONSIDERANDO OBRAS PROPUESTAS

Para la vulnerabilidad física, se reutilizó la variable de uso de suelo y vegetación, considerando el crecimiento urbano a 25 años, cabe destacar que mientras se incrementen los cambios de uso de suelo de forestal y agrícola a urbano, la vulnerabilidad física según uso de suelo y vegetación va a incrementar.

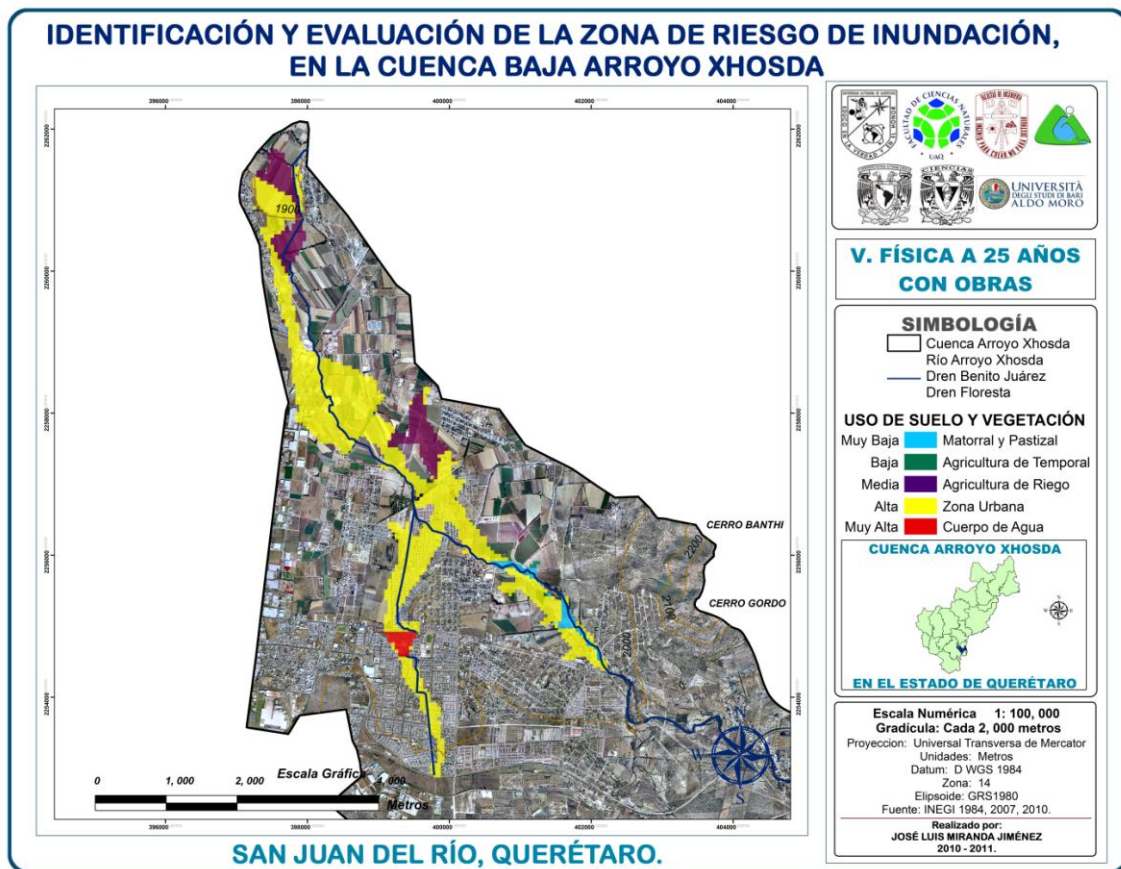


Figura 5.19. Vulnerabilidad física a inundación a 25 años dentro del área inundable con obras propuestas Cuenca Baja Arroyo Xhosda.
Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.

5.7.4. VULNERABILIDAD HÍDRICA CON CRECIMIENTO URBANO A 25 AÑOS CONSIDERANDO OBRAS PROPUESTAS

Para el caso de la vulnerabilidad hídrica, se reutilizo la variable de precipitación media anual, cabe destacar que mientras más precipitación se presenta, la vulnerabilidad hídrica se incrementa.

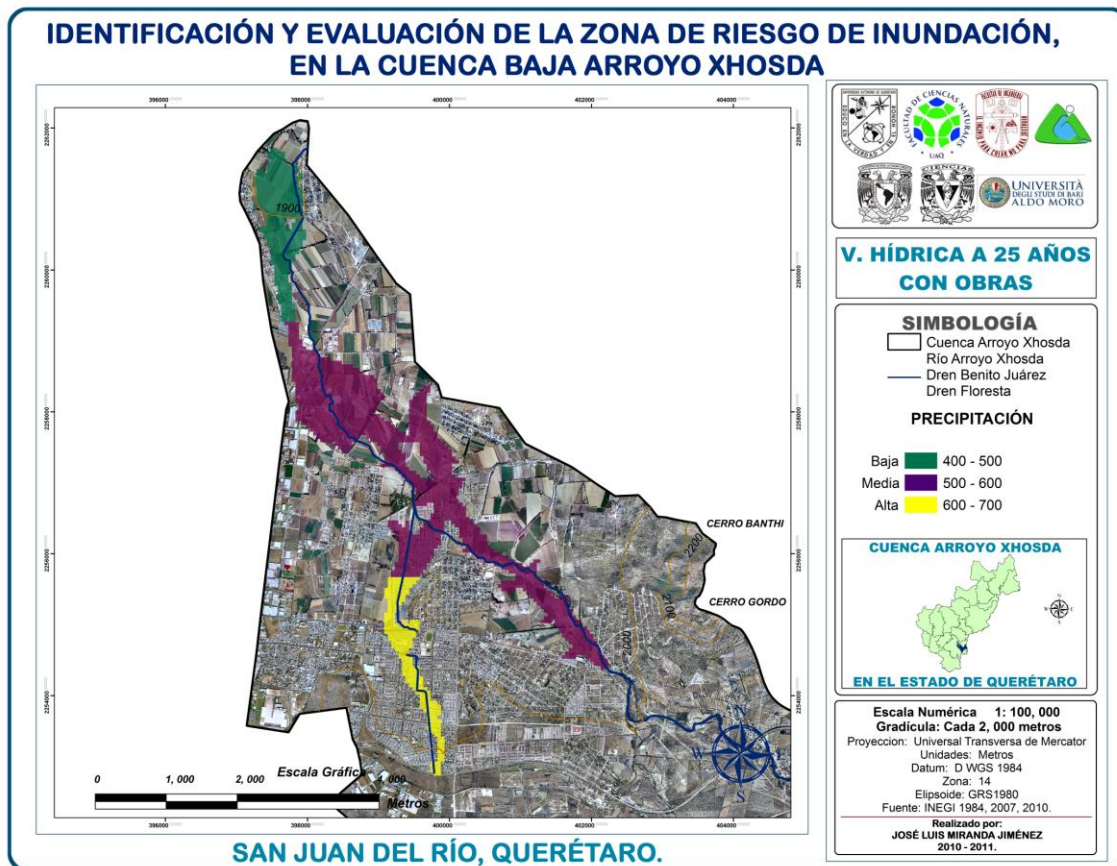


Figura 5.20. Vulnerabilidad hídrica a inundación a 25 años dentro del área inundable con obras propuestas Cuenca Baja Arroyo Xhosda.
Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.

5.7.5. VULNERABILIDAD SOCIAL CON CRECIMIENTO URBANO A 25 AÑOS CONSIDERANDO OBRAS PROPUESTAS

Para este caso se reutilizó la vulnerabilidad física mediante la variable de población total por AGEB, considerando un crecimiento poblacional a 25 años, este se estimó de acuerdo con el crecimiento poblacional de Querétaro 1900-2010, y manteniendo el mismo grado de marginación municipal, cabe destacar que mientras se incrementa la población, la vulnerabilidad social se va a incrementar.

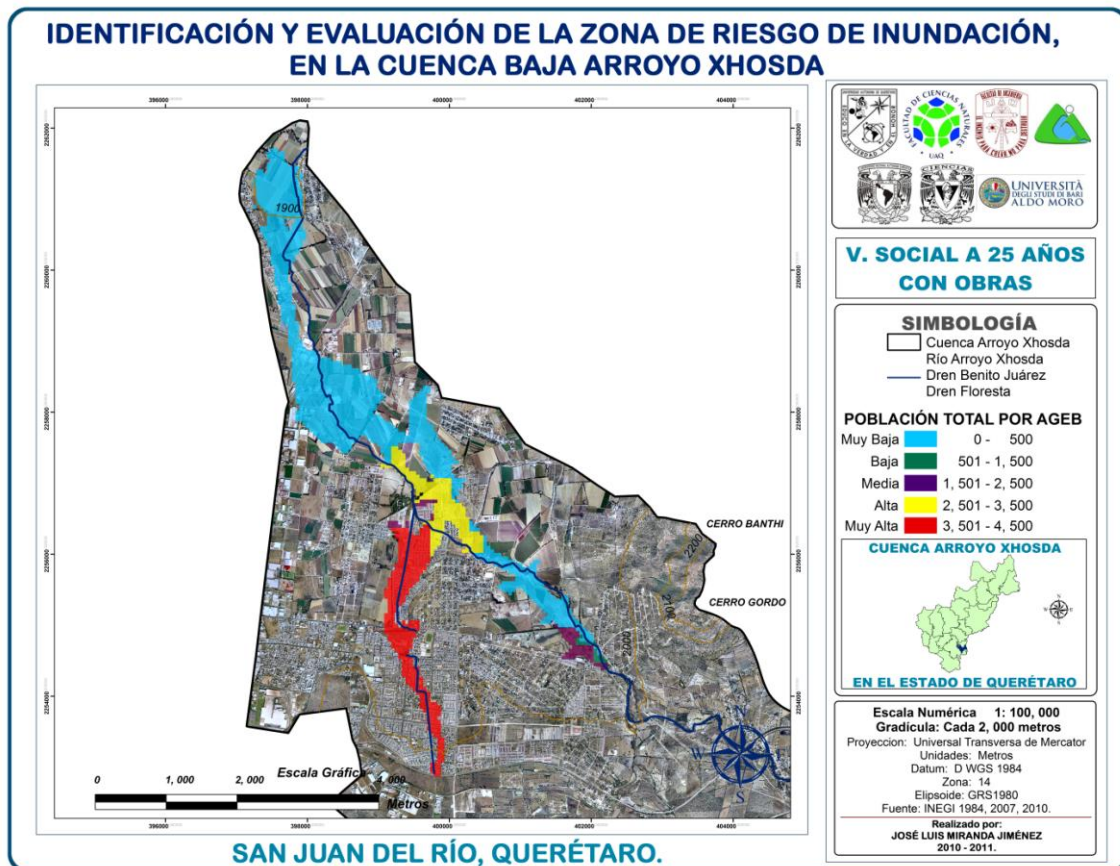


Figura 5.21. Vulnerabilidad social a inundación a 25 años dentro del área inundable con obras propuestas Cuenca Baja Arroyo Xhosda.
Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.

5.7.6. VULNERABILIDAD INTEGRAL CON CRECIMIENTO URBANO A 25 AÑOS CONSIDERANDO OBRAS PROPUESTAS

La vulnerabilidad integral con crecimiento urbano a 25 años, resulta de la integración de vulnerabilidad física, hídrica y social, con estas variables construimos un resultado más integral, ya que se consideran aspectos físicos, hídricos y sociales estimados a 25 años.

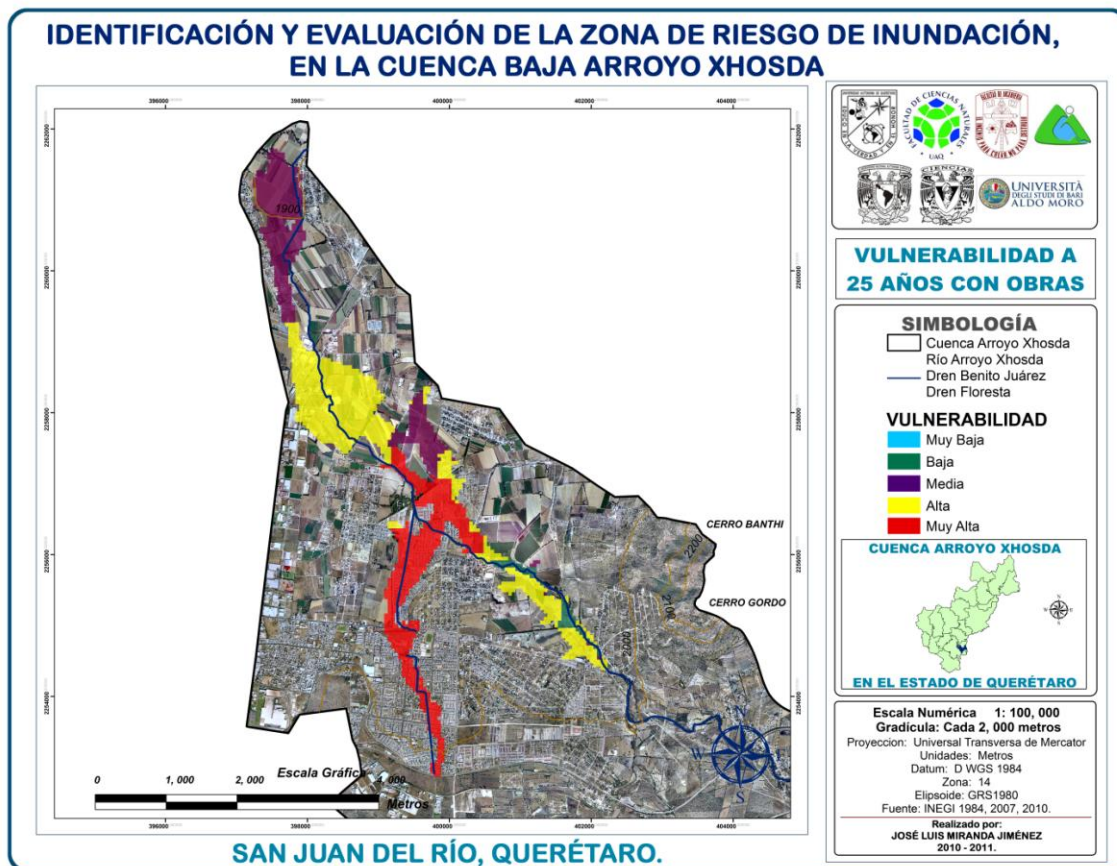


Figura 5.22. Vulnerabilidad integral a inundación a 25 años dentro del área inundable con obras propuestas Cuenca Baja Arroyo Xhosda.
Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.

5.7.7. RIESGO DE INUNDACIÓN CON CRECIMIENTO URBANO A 25 AÑOS CONSIDERANDO OBRAS PROPUESTAS

El mapa de riesgo de inundación obtenido, es la primera aproximación a la identificación del riesgo por inundación estimado para el año de 2036, considerando las obras propuestas, es de importancia considerar las obras dentro de la planeación territorial y el desarrollo socio-económico de la Cuenca Baja Arroyo Xhosda.

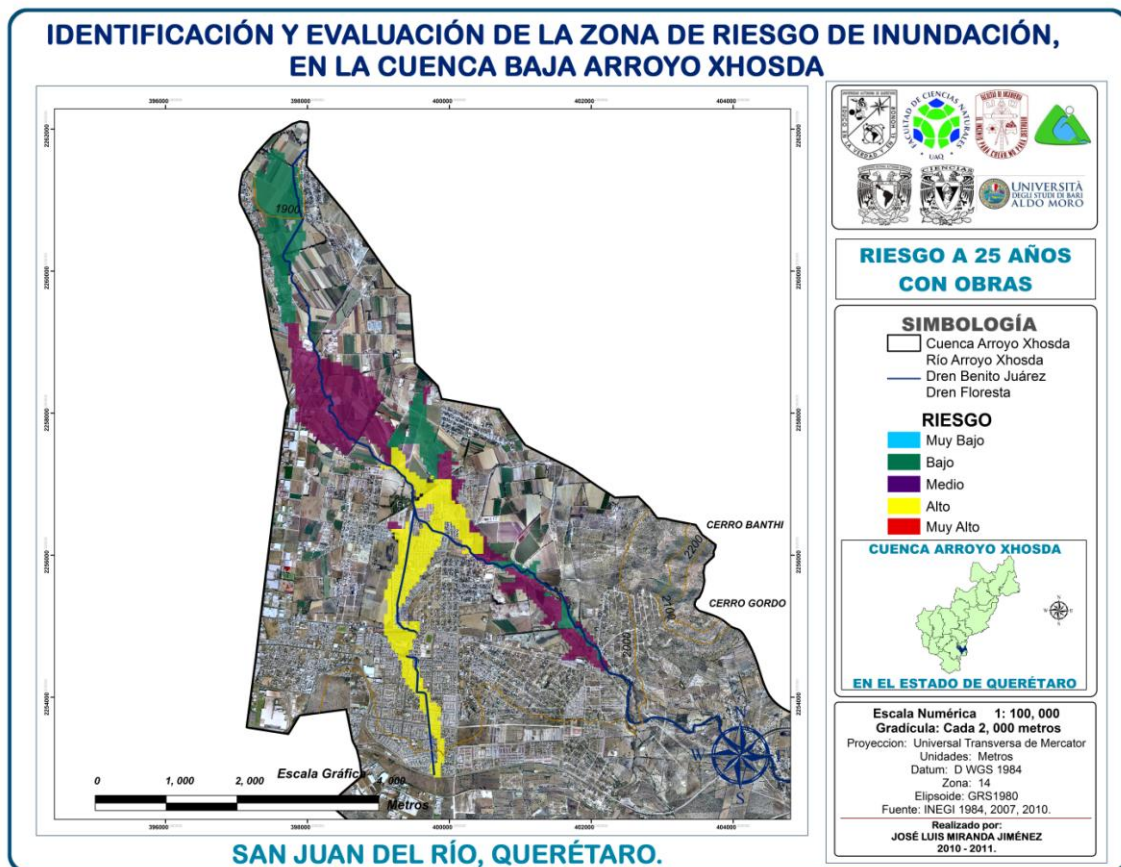


Figura 5.23. Riesgo de inundación a 25 años dentro del área inundable con obras propuestas Cuenca Baja Arroyo Xhosda.
Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010; CENAPRED 2004.



Para el año 2036 y considerando las obras propuestas, en el área inundable de la Cuenca Baja Arroyo Xhosda, se estima que habitarán 30,534 personas.

RIESGO	% DEL ÁREA INUNDABLE	POBLACIÓN TOTAL	% DE POBLACIÓN
MUY BAJO	0.00	0	0.00
BAJO	28.92	4385	14.36
MEDIO	41.38	6300	20.63
ALTO	29.68	19849	64.99
MUY ALTO	0.00	0	0.00
	100	30534	99.98

Cuadro 5.8. Población total por área según el riesgo al año 2036 considerando obras propuestas.

Fuente: Elaboración propia, SIG con base en: INEGI 1984, 2007, 2010.

El área presenta específicamente tres zonas de riesgo, ya que el riesgo muy alto y muy bajo no se presentan. El riesgo alto corresponde a la mayoría del territorio urbanizado, sobre todo la confluencia del caudal del dren Benito Juárez y La Floresta con Arroyo Xhosda. Donde del área inundable, el 29.68% presenta riesgo alto, esta zona corresponden al área urbana, en donde habitan 19,849 personas; por otra parte el 41.38% del área presenta un riesgo medio, esta corresponde a áreas urbanas y cultivos aledaños a lo largo de Arroyo Xhosda, en esta área de riesgo medio habitan 6,300 personas, el 28.92%, corresponde al riesgo bajo, en esta área habitan 4,385 personas.



CAPÍTULO VI.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

El diagnóstico físico-geográfico, permitió conocer la situación actual de Cuenca Arroyo Xhosda, con lo cual es considerada como una cuenca naturalmente conservada. Sus características geológicas, edafológicas y de cobertura vegetal, coadyuvan a impedir los procesos erosivos extremos en la parte alta y media de la cuenca; la parte baja no presenta procesos de erosión, solo que la infraestructura urbana impide la infiltración natural del agua de escorrentía; razones por las cuales podemos afirmar que en Cuenca Arroyo Xhosda la erosión actual solo es de tipo natural, correspondiente de 0 a 2.5 ton/ha/año.

En la actualidad, la ciudad es propensa a inundarse siempre y cuando el Bordo Benito Juárez comience a desfogar caudales superiores a los 180 m³/s. Llegando con ese valor a tener afectaciones importantes de la ciudad, cabe mencionar que ese valor se obtuvo del estudio hídrico realizado. En septiembre de 2010 algunas comunidades situadas en la parte baja de la Cuenca Arroyo Xhosda, se vieron afectadas por un evento importante, las lluvias intensas y el rompimiento del Bordo Benito Juárez, propició una severa inundación que afectó la zona baja de la cuenca. En esa ocasión se presentó el riesgo de inundación, ya que la salida del caudal del bordo fue de 180 m³/s., lo cual se convirtió en no mitigable debido a la infraestructura con que cuenta la zona.

El aumento o avance de la infraestructura dentro de la Cuenca Baja Arroyo Xhosda ha reducido la capacidad de infiltración del agua y aumentado la escorrentía; por consiguiente se tiene un aumento del caudal en la parte baja de la cuenca. La rehabilitación del Bordo Benito Juárez no fue el adecuado, lo que incrementa el riesgo en los próximos eventos peligrosos. Y el área hidráulica del canal es muy irregular, teniéndose áreas muy reducidas en bóvedas lo que provoca rebalse del agua cuando se tienen intensidades de lluvia mayores de 33 milímetros por hora. El caudal del agua aumentará a medida se avance con el desarrollo de la infraestructura, ocasionado más daño por el aumento del caudal y de las áreas de inundación y más aun si las condiciones del dren no son ampliadas.



Las intensas lluvias o prolongadas aceleran o provocan que la resistencia del suelo se reduzca y podrían originar deslizamientos de tierra. Las áreas pronunciadas, con suelo arenoso profundo y con densa masa vegetal arbóreas y sin raíces profundas que permitan anclaje; disminuyen la resistencia al deslizamiento por su peso que origina en la parte superior del suelo.

La infraestructura no es adecuada, ya que se ha construido sin considerar el escurrimiento superficial en época de lluvias, los drenes presentan deficiencia hidrológica, los bordos de control presentan modificaciones y viviendas, y en general la infraestructura se encuentra sin mantenimiento. Y el desarrollo de infraestructura y asentamientos humanos a orillas de ríos sin las obras hidráulicas correspondientes para el drenaje del agua lluvia y principalmente en las partes bajas, son áreas de alto riesgo a inundaciones. Las tareas de las instituciones son solo de respuesta, aplicadas después de presentado el evento de inundación, sin embargo no se tienen actividades de información y prevención ante estos eventos.

El 3.62% del área inundable presenta riesgo muy alto y 7.17% riesgo alto, estas áreas son urbanas, 21,183 personas; el 23.98% presenta riesgo medio, son áreas de agricultura de riego con pequeños asentamientos donde habitan 6,724 personas; el 65.23 restante, corresponde a 56.96% riesgo bajo y 8.27% riesgo muy bajo, en estas áreas habitan 4,680 personas; ahora bien, considerando que para el año 2036 se da un crecimiento poblacional del 92.35% y el área urbana se incrementa, las áreas de riesgo de inundación alto y muy alto son las más preocupantes, ya que en estas habitarían 40,744 personas en las unidades de escurrimiento Benito Juárez (5), la Floresta (3) y Banthí (6).

Con la implementación de las obras propuestas, se obtienen diferentes beneficios, el área inundable disminuye un 48.73% la, así como la disminución del 88.77% del tirante de inundación, al pasar de .98 a solo .11 centímetros y el riesgo d inundación disminuye 51.26%, todo esto beneficiando a 32,144 personas, las cuales no tendrán riesgo de inundación.



6.2. RECOMENDACIONES

Como solución inmediata reubicación de familias en áreas con alto riesgo y ampliación del dren de drenaje, para el caso de las inundaciones.

Limitar o no permitir la construcción de viviendas en áreas de regulación, ya que estas viviendas a futuro presentaran el riesgo de inundación mayor, como evitarlo, no permitiendo el uso del suelo habitacional en estas áreas de regulación, las cuales concuerdan con las primeras obras de captación y regulación de escurrimientos en el área.

Planificación ordenada de obras civiles o de modificación de la condición natural; como el cálculo de caudales al cambiar el uso del suelo para estimar cuanta más agua se tendrá en la parte baja de la cuenca o en puntos específicos; para evaluar cuanto hay que ampliar el canal asumiendo que a futuro se tendrá mayor cobertura de infraestructura.

Desarrollar las capacidades de análisis del riesgo a nivel de todas las instituciones involucradas, para la toma de decisiones en Ordenamiento y Desarrollo Territorial.

Generar información referente a inundaciones y sus riesgos, y difundirla a la población por parte de las instituciones correspondientes, como medida de prevención.

Establecer dentro de los programas educativos los conceptos del ordenamiento y desarrollo del territorio así como de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo para que el alumno tome conciencia de la importancia de ello y puede ser partícipe de la gestión respectiva, desde su comunidad o su ámbito laboral.

Con la finalidad de minimizar el riesgo de inundación en Cuenca Baja Arroyo Xhosda, se propone la implementación de obras de ingeniería naturalística en la parte alta-media de la cuenca y obras de ingeniería hidráulica en la parte baja de la cuenca.

6.2.1. PROPUESTA GENERAL DE OBRAS

La siguiente figura muestra las obras propuestas, las cuales principalmente son obras de ingeniería naturalística a implementarse en la parte alta y media de la cuenca, así como obras de ingeniería hidráulica a implementarse en la cuenca baja correspondiente al área urbana.

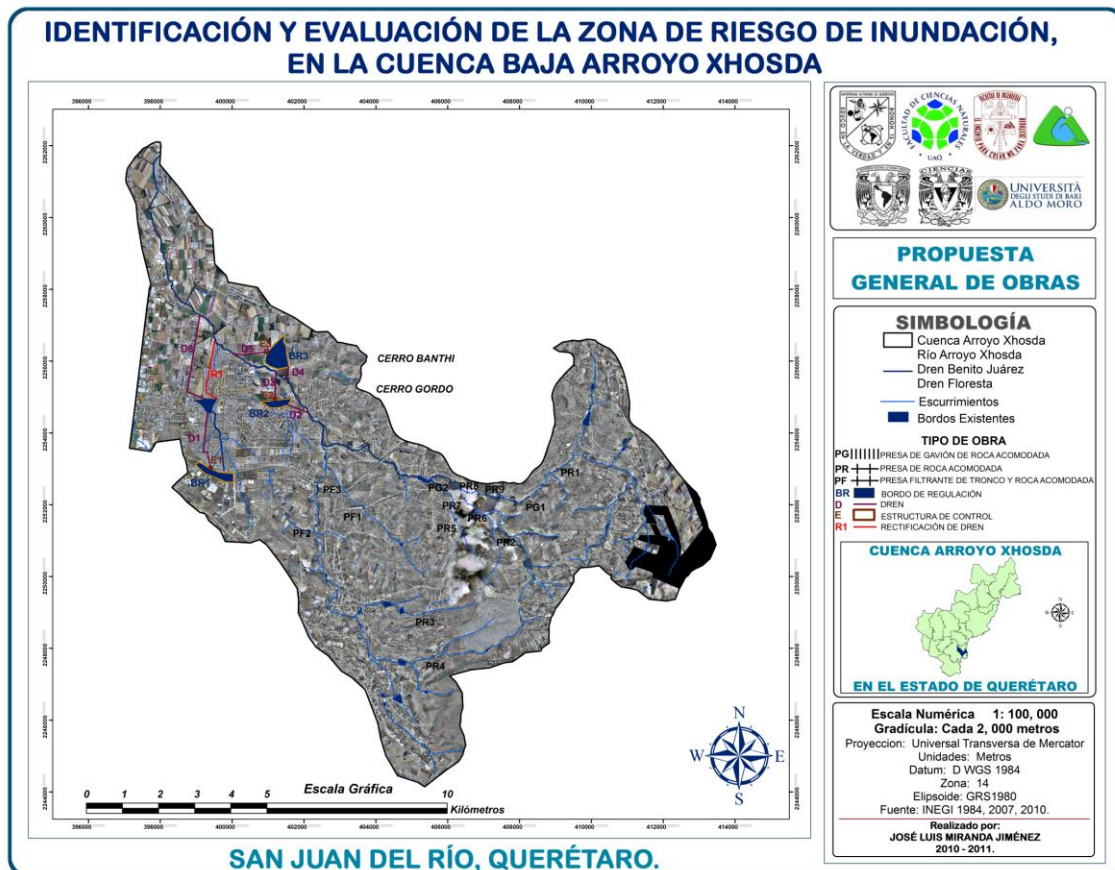


Figura 6.1. Propuesta general de obras para regulación de escurrimiento en Cuenca Arroyo Xhosda.



6.2.2. PROPUESTA DE OBRAS DE INGENIERÍA NATURALÍSTICA

La ingeniería naturalística, también conocida como “ingeniería biológica”, es una disciplina técnico-científica que estudia las modalidades de uso de las plantas vivas, de partes de plantas o incluso de asociaciones vegetales enteras como materiales de construcción, con frecuencia unidos a materiales no vivos como piedra, tierra, madera y acero. Cumple una función hidrogeológica de consolidación del terreno a través de la cobertura del mismo, la contención de las precipitaciones atmosféricas, la protección del terreno de la erosión debida a la acción del viento, y cumple una eficiente función de drenaje. Las intervenciones de ingeniería naturalística tienen la función primaria de protección y recuperación ambiental de vertientes y orillas fluviales en erosión. Pero tienen también un valor agregado, representado por el elevado valor paisajístico y respetuoso de los ecosistemas (Petrone, A. y Ferrari, R., 2007).

Las intervenciones de ingeniería naturalística desarrollan también una función de gran importancia para la contención de la vulnerabilidad de territorios expuestos a eventos desastrosos recurrentes relacionados con eventos climáticos, como derrumbes e inundaciones (Petrone, A. y Ferrari, R., 2007).

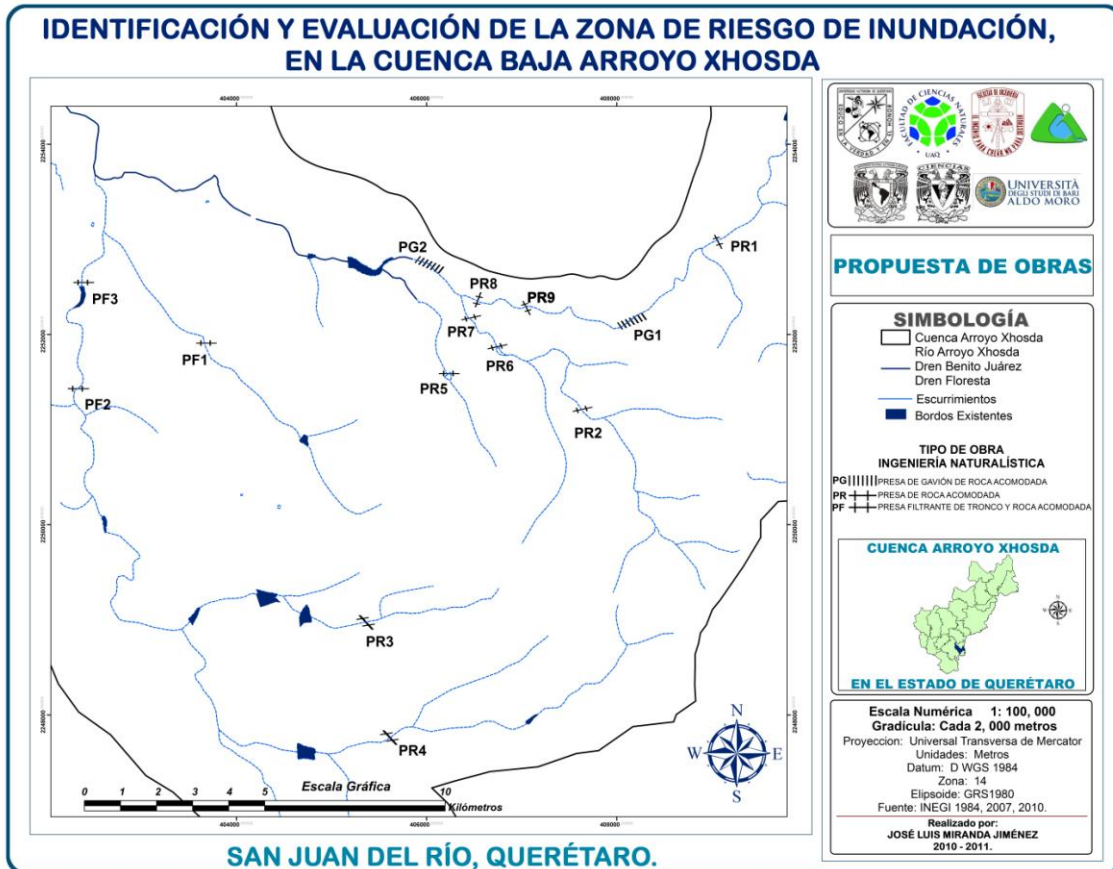


Figura 6.2. Propuesta de obras de ingeniería naturalística para regulación de escurrimiento en Cuenca Arroyo Xhosda.

Para minimizar el riesgo de inundación se requiere de acciones específicas, en la zona de cabecera, y zona de captación y transporte de la cuenca, se propone la realización de presas filtrantes de tronco y roca acomodada, presas de roca acomodada y presa de gavión de roca acomodada, estas obras de ingeniería naturalística, tienen la finalidad de minimizar la velocidad de los escurrimientos, impedir la erosión y también para ayudar a propagar la vegetación nativa, lo cual ayuda mucho a el comportamiento hídrico de la cuenca e impide las inundaciones en la cuenca baja. Las obras propuestas son las siguientes:



Figura 6.3. Construcción de presa filtrante de tronco y roca acomodada, obra de ingeniería naturalística.
Fuente: Experiencia práctica, Provincia de Foggia, Sur de Italia, 2011.



Figura 6.4. Presa filtrante de tronco y roca acomodada, obra de ingeniería naturalística.
Fuente: Experiencia práctica, Provincia de Foggia, Sur de Italia, 2011.



Figura 6.5. Presa filtrante estable de tronco y roca acomodada, obra de ingeniería naturalística.

Fuente: Manual de ingeniería naturalística, en:
http://www.regione.lazio.it/rl_ingegneria_naturalistica/.



Figura 6.6. Presa estable de roca acomodada, obra de ingeniería naturalística.

Fuente: Manual de ingeniería naturalística, en:
http://www.regione.lazio.it/rl_ingegneria_naturalistica/.



Figura 6.7. Presa estable de gavión de roca acomodada, obra de ingeniería naturalística.
Fuente: Manual de ingeniería naturalística, en:
http://www.regione.lazio.it/rl_ingegneria_naturalistica/.

6.2.3. PROPUESTA DE OBRAS DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

Por otra parte, en la cuenca baja que corresponde al área urbana, se propone la rehabilitación de tres bordos de almacenamiento de agua, los cuales nos ayudarán a regular el movimiento del agua, también se propone la construcción de drenes para conectar los bordos de regulación con Arroyo Xhosda, dren Benito Juárez y bordo Benito Juárez; los drenes y bordos de regulación propuestos, permiten moderar y regular el escurrimiento, estas obras de ingeniería hidráulica impedirán las inundaciones en la cuenca baja. También se recomienda rectificar el Dren La Floresta, ya que este presenta insuficiencia hidráulica durante el periodo de lluvias.

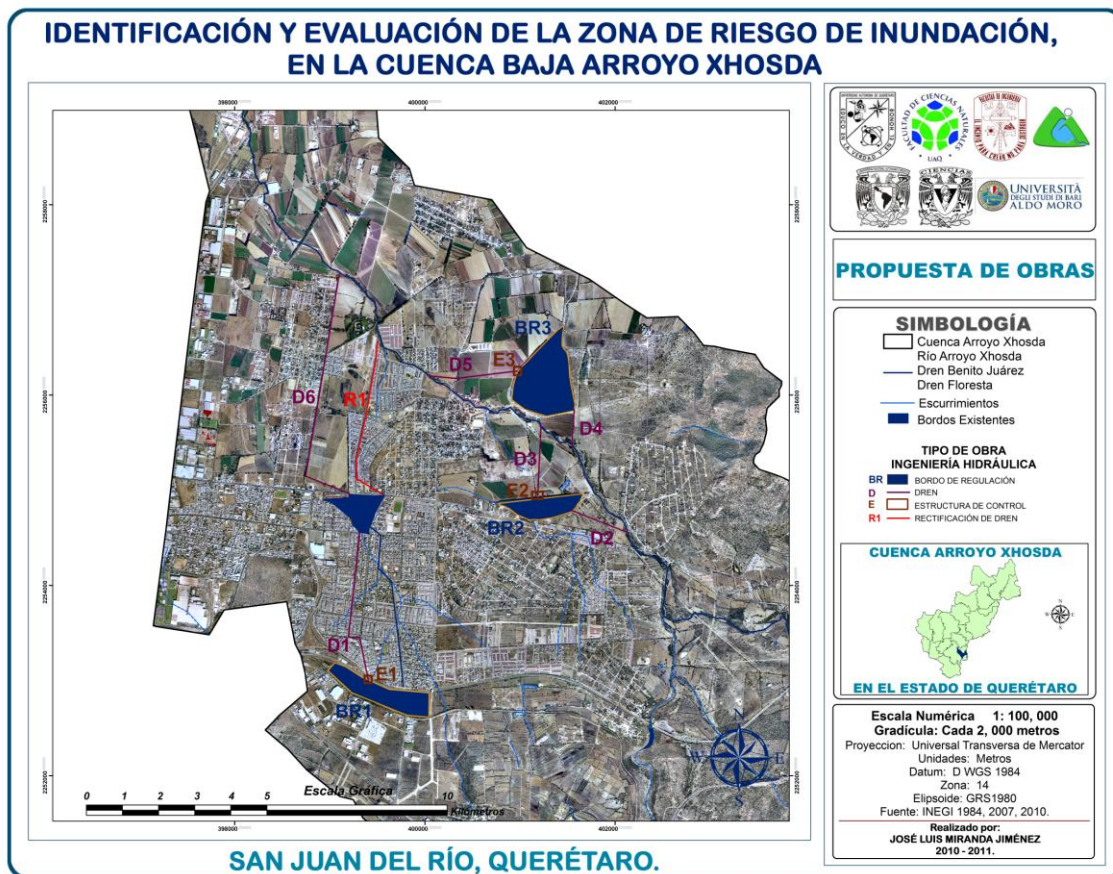


Figura 6.8. Propuesta de obras de ingeniería hidráulica para regulación de escurrimientos en Cuenca Arroyo Xhosda.



BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio Mijares, F. J. (2008). Fundamentos de Hidrología de superficie. Editorial Limusa. México, D.F. 304 pp.
- Bravo M., Ma. Teresa, (2003), Las instituciones de educación superior se organizan para participar en el cambio ambiental: El Complexus. Publicado en revista Agua y Desarrollo sustentable. No. 8, Octubre de 2003. Gobierno del Estado de México. p.p. 22-24.
- CENAPRED, (2004). Elaboración de Mapas de Riesgo por Inundaciones, Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos, México.
- CENAPRED, (2006). Guía básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Evaluación de la vulnerabilidad física y social. Serie: Atlas Nacional de Riesgos. México, D.F.
- Cotler H., (2007). El manejo integral de cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. Instituto Nacional de Ecología, México, D. F., 2da Edición, 348pp.
- Demek, J., (Ed.), 1972, Manual of detailed geomorphological mapping, International Geographical Union, Commission on Geomorphological Survey and Mapping, Prague, 344 p.
- Dourojeanni A., Jouravlev A. y Chávez G., (2002). Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica.
- Dourojeanni A., (1998). Políticas públicas para el desarrollo sustentable: La Gestión Integradas de Cuencas. CONAGUA, SEMARNAT, ONU-CEPAL.
- Dunne, T. & L. B. Leopold, (1978). Water in Environmental Planning. W.H. Freeman & co, San Francisco. 818 pp.
- Elda, B, y otros (2009). Plan Rector de Producción y Conservación: Microcuenca La Joya, Santiago de Querétaro, Qro., Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, UAQ.
- ERICC, (2010). Compendio de estadísticas climáticas de México, Instituto Mexicano del Agua, Morelos, México.
- FAO, (1992). Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. Guía FAO-conservación 13/6.



- García, E. (1988). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de KÖPPEN, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana, México.
- García, A. N., Marín, R. y Méndez, K., (2004), Estimación de la vulnerabilidad social. En: Guía para la elaboración de atlas de riesgo municipales. CENAPRED, (2004), México. p.p. 310-383.
- II Censo Nacional de Población y Vivienda, INEGI 2005.
- INE, (2008). Glosario de la Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas, SEMARNAT, en: www.ine.gob.mx.
- INE, (2008). Términos comunes de la Dirección General de Investigación en Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas, SEMARNAT, en: www.ine.gob.mx.
- INEGI (1984), Proyección y sistema de coordenadas de coberturas digitales.
- INEGI (2007), Cobertura geológica, edafológica.
- INEGI (2010), Cobertura hidrología, uso de suelo y vegetación.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal INAFED (2005), Enciclopedia de los Municipios de México, Secretaría de Gobernación, México.
- Instituto para el federalismo (2005), Monografía de San Juan del Río, Querétaro, México.
- Kuroiwa Julio, (2002). Reducción de Desastres. Viviendo en armonía con la naturaleza, Lima, Perú.
- Ley de Aguas Nacionales, 2004.
- Lozano Cortijo, O., (2009). Metodología para el Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo ante Inundaciones y Sismos, de las Edificaciones en Centros Urbanos, Centro de Estudios y Prevención del Desastre PREDES, Ciudad de Calca, Distrito de Calca, Región Cusco, Perú.
- Mena F., Carlos, Gajardo V., John, Ormazábal R., Yony, (2006). Modelación Espacial mediante Geomática y Evaluación Multicriterio para la Ordenación Territorial, Departamento de Gestión Forestal Ambiental, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. Talca, Chile.
- Meritano, y Arenas J., (2009), Manejo Integral de Cuencas Hidrológicas y la Prevención de los Desastres Naturales, ECOGEOLOGY, México, p.p. 98-109.



- OEA-ECHO,(2002), Programa para la Reducción de la Vulnerabilidad a las Inundaciones y el Desarrollo de Sistemas de Alerta Local en Centroamérica. Proyecto de Peligros Naturales, Organización de los Estados Americanos.
- Ortiz, V. B. & Ortiz, C. A., (1990). Edafología. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. Séptima Edición, Chapingo, México.
- Petrone, A. y Ferrari, R., (2007). La ingeniería naturalística. Prácticas ecológicamente sostenibles y a bajo costo para la reducción de riesgo frente a desastres. Departamento de Ingeniería Agraria y Forestal de la Universidad de Florencia, Italia.
- Pineda, R, (2009), Formación de una línea de base científica para el manejo integrado de la subcuenca específica Tábula-Picachos, en San Miguel de Allende, Guanajuato, Universidad Autónoma de Querétaro y H. Ayuntamiento de San Miguel de Allende, Guanajuato.
- Racero G., Ivonne. (2010), Cuencas hidrográficas, Ingeniería Ambiental, México. Blog en: <http://ingenieriaambientalunipaz.blogspot.com/2011/04/balance-hidrico.html>.
- Romero C., A. Tonatiuh, te. Al. (2000), Las Inundaciones: Una Expresión de los Extremos Hidrológicos. En Espacio Geográfico, UAEM, Toluca, México, p.p. 121-129.
- Rusle, (2000). Ecuación Universal de pérdida de suelo rebisada.
- Secretaría de Desarrollo Social, Consejo de Recursos Minerales, (2004), “Guía Metodológica para la Elaboración de Atlas de Peligros Naturales a Nivel de Ciudad, Identificación y Zonificación”, Habitat, México, p.p. 101.
- Seguinot Barbosa, J., Batista, J. L. y Sánchez Celada, M. (2008): “Evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loíza, Puerto Rico”, Revista Internacional de Ciencia Y tecnología de la Información Geográfica, GeoFocus, Artículos, nº 8, p. 115-138.
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales, (2003), Análisis de riesgo por inundaciones y deslizamientos de tierra en la Microcuenca del arenal de Montserrat, San Salvador, El Salvador. p.p. 1-53.
- SEMARNAT, (2008), Programa de Ordenamiento Ecologico del Estado de Querétaro, Santiago de Querétraro, Qro.
- SMN, (2010), Gosario de terminos, México.
- SINAPROC, (1993), Prevención de inundaciones, núm. 7, CENAPRED, México.
- WWF, (2008). En: www.wwf.org.mx/wwfmex/prog_cuencas.php