



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

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

**“Análisis de la vulnerabilidad en la microcuenca Joaquín Herrera
por avenidas torrenciales”**

TESIS

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

Presenta

Jesús Baruch Mendoza Mejía

Dirigida por:

M. en I. Pablo Talamantes Contreras

Co-dirigida por:

M. en I. Filiberto Luna Zuñiga

SINODALES

M. en I. Pablo Talamantes Contreras
Presidente



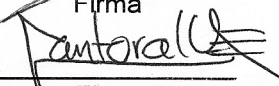


M. en I. Filiberto Luna Zuñiga
Secretario

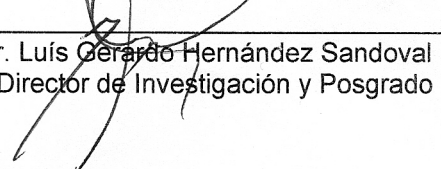
Dr. Enrique Arturo Cantoral Uriza
Vocal

M. C. Alberto Hernández Sánchez
Suplente

M. E. R. César Alonso Anguiano Acosta
Suplente


Biol. Jaime Angeles Angeles
Director de la Facultad de Ciencias Naturales


Firma

Firma

Firma

Firma

Firma


Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro. México
Noviembre de 2009

RESUMEN

Las lluvias que se presentaron a lo largo del país en el año 2006, causaron severos estragos en la infraestructura, dañando de manera significativa a la población, principalmente a las zonas marginadas. Uno de los estados afectados es Querétaro, en donde el 29 de septiembre del 2006, se presentó un evento de precipitación extraordinaria de 132 mm. en tan sólo ocho horas, trayendo por consecuencia el desbordamiento del río El Pueblito a la altura de la cabecera municipal de Villa Corregidora, en donde se ubica la microcuenca Joaquín Herrera que es la zona donde se realizó el presente estudio. (D.O.F., 2006). Con base en el uso de información obtenida de la microcuenca Joaquín Herrera, complementado con el uso de sistema de información geográfica y recorridos en campo, se realizó una identificación de áreas vulnerables a desastres naturales con el fin de orientar futuros planes de manejo y conservación de la misma. La importancia de este estudio radica en que se propone una metodología para identificar áreas vulnerables a desastres naturales, utilizando los sistemas de información geográfica como herramienta clave, con el cual se analizó toda la información obtenida mediante la sobreposición de mapas que mostraban factores como pendiente media, factor de forma, erosión y tiempo de concentración, los cuales se analizaron por medio del método de Procesos de Análisis Jerárquico. Al integrar el mapa de Incidencia de riesgo con el mapa de densidad de población e infraestructura, se pudieron detectar las unidades de escurrimiento con una alta vulnerabilidad, a través del mapa de Incidencia sobre la población e infraestructura, sobre el cual se plantean las propuestas de esta investigación encaminadas a reducir la vulnerabilidad de la microcuenca, por medio de estrategias y acciones para el control de avenidas torrenciales.

(Palabras clave: cuenca, inundación, avenida torrencial y vulnerabilidad).

SUMMARY

The rains that occurred throughout the country in 2006, caused severe damage to infrastructure, significantly harming the population, mainly the marginalized areas. One of these states is affected Queretaro, where on 29 September 2006, presents an extraordinary rainfall event of 132 mm. in just eight hours, consequently bringing the overflow of the river El Pueblito to the height of the township of Villa Corregidora, where the watershed is located Joaquin Herrera that is where this study took place. (D.O.F., 2006). Based on the use of information obtained from the micro Joaquin Herrera, supplemented by the use of GIS and field trips, there was an identification of areas vulnerable to natural disasters in order to guide future management plans and conservation the same. The importance of this study is that it proposes a methodology to identify areas vulnerable to natural disasters, using geographical information systems as a key tool with which analyzes all information obtained by the superimposition of factors such as maps showing average slope form factor, erosion and time of concentration, which was analyzed by the method of Analytic Hierarchy Process. By integrating the impact of risk map with the map of population density and infrastructure, could be detected flow units with a high vulnerability, through the map of impact on population and infrastructure, which arise on the proposed This research aimed at reducing the vulnerability of the watershed, through strategies and actions for the torrential flood control.

(Keywords: river, flood, torrential avenue and vulnerability).

DEDICATORIAS

A la memoria de mi hermano Francisco Javier Mendoza Mejía

A mis padres Francisco Javier y Cruz Gudelia
y mi hermano Omar Abad

A María Eva

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a las siguientes personas e instituciones que de una u otra manera han contribuido durante estos dos años de mi formación profesional:

A mi director de tesis M. en I. Pablo Talamantes Contreras por su apoyo, colaboración, paciencia y las valiosas apreciaciones que posibilitaron la realización del presente estudio: ¡muchas gracias!

A mis profesores, M. en I. Filiberto Luna Zuñiga, Dr. Enrique Arturo Cantoral Uriza, M. C. Alberto Hernández Sánchez por su asesoría, comentarios y dirección mi más sincera gratitud.

Al Dr. Raúl Pineda López por su apoyo y enseñanzas transmitidas durante la maestría.

A mi amigo y asesor César Alonso Anguiano Acosta.

Un agradecimiento especial para el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT por el apoyo brindado para que yo cursara esta maestría.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| RESUMEN..... | ii |
| SUMMARY | iii |
| DEDICATORIAS..... | iv |
| AGRADECIMIENTOS..... | v |
| ÍNDICE..... | vi |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | x |
| ÍNDICE DE MAPAS | xi |
| ÍNDICE DE GRAFICAS | xiii |
| ÍNDICE DE FOTOS | xiii |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2. ANTECEDENTES..... | 3 |
| 2.1 Antecedentes de estudios en la microcuenca Joaquín Herrera, Querétaro. | 6 |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 8 |
| 4. OBJETIVOS | 10 |
| 4.1 Objetivo general | 10 |
| 4.2 Objetivos específicos..... | 10 |
| 5. HIPÓTESIS | 10 |
| 6. MARCO TEORICO..... | 11 |
| 6.1 Los desastres naturales en México | 11 |

| | |
|--|----|
| 6.2 Fenómenos naturales..... | 12 |
| 6.3 Desastre natural | 13 |
| 6.4 Vulnerabilidad..... | 14 |
| 6.5 Vulnerabilidad y desastres naturales..... | 15 |
| 6.6 Riesgo | 17 |
| 6.7 Amenaza | 18 |
| 6.8 Cuenca hidrográfica | 18 |
| 6.8.1 Características de una cuenca hidrográfica..... | 19 |
| 6.8.2 Manejo de cuencas hidrográficas y los desastres naturales..... | 20 |
| 6.9 Método de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)..... | 21 |
| 7. METODOLOGÍA..... | 24 |
| 7.1 Delimitación de la zona de estudio..... | 24 |
| 7.2 Planificación del proceso y recopilación de información..... | 26 |
| 7.3 Caracterización de los aspectos biofísicos e hidrológicos | 27 |
| 7.4 Metodología para el análisis de la vulnerabilidad | 29 |
| 7.4.1 Clasificación de los parámetros..... | 29 |
| 7.4.2 Estandarización de los criterios utilizados | 31 |
| 7.4.3 Interacción con las comunidades | 32 |
| 8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 35 |
| 8.1 Caracterización biofísica del área de estudio | 35 |
| 8.1.1 Fisiografía y topografía | 35 |
| 8.1.2 Clima..... | 36 |
| 8.1.3 Uso de suelo y vegetación..... | 38 |

| | |
|---|----|
| 8.1.4 Edafología..... | 42 |
| 8.2 Caracterización hidrográfica..... | 45 |
| 8.2.1 Morfometría..... | 46 |
| 8.4 Diagnóstico de la zona de estudio..... | 56 |
| 8.4.1 Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS) para obtener el factor de erosión en la Microcuenca JH..... | 56 |
| 8.4.2 Tiempo de concentración..... | 63 |
| 8.4.3 Factor de forma | 65 |
| 8.4.4 Pendiente media..... | 66 |
| 8.4.5 Factor geológico | 68 |
| 8.5 Integración de indicadores para determinar el riesgo de incidencia de avenidas torrenciales y por unidad de escurrimiento | 70 |
| 8.6 Distribución de la población e infraestructura en la microcuenca JH | 72 |
| 8.6.1 Distribución de la población | 72 |
| 8.6.2 Distribución de la infraestructura | 73 |
| 8.7 Incidencia sobre población e infraestructura | 76 |
| 9. ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD EN LA MICROCUENCA JOAQUÍN HERRERA..... | 78 |
| 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 82 |
| 10.1 Conclusiones..... | 82 |
| 10.2 Recomendaciones..... | 85 |
| 11. PROPUESTAS | 87 |
| 11.1 Intervenciones extensivas | 87 |

11.2 Intervenciones intensivas 88

ANEXOS..... 97

ÍNDICE DE TABLAS

| Tabla | Página |
|---|---------------|
| 1. Escala intermedia de método AHP..... | 30 |
| 2. Distribución media mensual de precipitación en mm (periodo 1961-2000)..... | 37 |
| 3. Distribución media mensual de temperatura en mm (periodo 1961-2000)..... | 37 |
| 4. Cobertura de los principales usos de suelo en la microcuenca JH..... | 41 |
| 5. Cobertura de las unidades de suelo en la microcuenca JH..... | 45 |
| 6. Parámetros de forma de la microcuenca JH..... | 46 |
| 7. Parámetros de la red de drenaje de la microcuenca JH..... | 50 |
| 8. Indicadores de Pendiente de la microcuenca JH..... | 51 |
| 9. Cobertura de las unidades litológicas principales en la Microcuenca JH..... | 54 |
| 10. Distribución media mensual de precipitación en mm (periodo 1961-2000)..... | 58 |
| 11. Valores asignados al coeficiente de vegetación y tipo de cultivo..... | 61 |
| 12. Rangos de tasas de erosión..... | 63 |
| 13. Clasificación por factor tiempo de concentración, vulnerabilidad y área afectada.... | 64 |
| 14. Clasificación por valor del factor de forma, vulnerabilidad y área afectada..... | 65 |
| 15. Clasificación de la pendiente, vulnerabilidad y área afectada..... | 67 |
| 16. Clasificación de litología , vulnerabilidad y área afectada..... | 69 |
| 17. Clasificación por valor de la incidencia y área afectada..... | 71 |
| 18. Clasificación del mapa de vulnerabilidad y área afectada..... | 77 |
| 19. Clasificación del primer escenario de vulnerabilidad área afectada y porcentaje dentro de la microcuenca JH..... | 79 |
| Tabla 20. Clasificación del primer escenario de vulnerabilidad, área afectada y porcentaje dentro de la microcuenca JH..... | 80 |

ÍNDICE DE MAPAS

| Mapa | Página |
|--|---------------|
| 1. Ubicación de la zona de estudio..... | 25 |
| 2. Topografía de la microcuenca Joaquín Herrera (JH)..... | 36 |
| 3. Uso de suelo y vegetación de la microcuenca JH..... | 41 |
| 4. Edafología de la microcuenca JH..... | 44 |
| 5. Subdivisión de la microcuenca JH..... | 46 |
| 6. Geología de la microcuenca JH..... | 52 |
| 7. Factor de erodabilidad en la microcuenca Joaquín Herrera..... | 59 |
| 8. Factor topográfico en la microcuenca Joaquín Herrera..... | 60 |
| 9. Tasas de erosión actual en la microcuenca Joaquín Herrera..... | 62 |
| 10. Clasificación del tiempo de concentración por unidades de escurrimiento...64 | |
| 11. Clasificación del factor de forma por unidad de escurrimiento..... | 66 |
| 12. Clasificación de la pendiente media por unidad de escurrimiento..... | 68 |
| 13. Clasificación de litología por unidad de escurrimiento..... | 69 |
| 14. Clasificación de Incidencia de riesgo por unidad de escurriendo..... | 70 |
| 15. Distribución poblacional en la microcuenca JH..... | 72 |
| 16. Clasificación de la densidad poblacional unidad de escurrimiento..... | 73 |
| 17. Infraestructura en la microcuenca Joaquín Herrera..... | 75 |
| 18. Clasificación de la infraestructura por unidad de escurrimiento..... | 75 |
| 19. Vulnerabilidad (incidencia de riesgo, población e infraestructura)..... | 76 |
| 20. Clasificación de primer escenario de de vulnerabilidad para el año 1996.... | 78 |

21. Clasificación del segundo escenario de de vulnerabilidad para el año 2014...80

ÍNDICE DE GRAFICAS

| Grafica | Página |
|--|---------------|
| 1. Climograma de la estacion El Batan. | 37 |
| 2 .Curva Hipsométrica..... | 49 |
| 3. Distribución de del factor R en la microcuenca Joaquín Herrera..... | 59 |

ÍNDICE DE FOTOS

| Figura | Página |
|--|---------------|
| 1. Reunión con las autoridades del patronato del río El Pueblito..... | 26 |
| 2. Reunión con las autoridades de la CNA, patronato del río El Pueblito y habitantes de la microcuenca JH..... | 27 |
| 3. Recorrido de campo en la comunidad de JH..... | 33 |
| 4. Regionalización del factor R de la República Mexicana..... | 60 |
| 5. Ejemplo de dique de consolidación..... | 91 |
| 6. Sitios sugeridos dentro de la unidad de escurrimiento Cerro colorado. | |
| 7. Ejemplo de escollera sobre un cauce..... | 91 |
| 8. Sitio sugerido dentro de la unidad de escurrimiento El Zapote 1..... | 92 |

1. INTRODUCCIÓN

La planificación del uso del suelo y el manejo de los recursos naturales, especialmente el manejo de cuencas, desempeña un papel fundamental en la reducción de riesgos, tanto en México como en otras regiones. La evaluación de la vulnerabilidad ante amenazas naturales es otro mecanismo importante que analiza el impacto potencial de un evento natural sobre un proyecto. Este tipo de evaluación, integrado a los planes del uso del suelo, contribuye a orientar la ubicación de infraestructura e indica la construcción apropiada o las medidas de ingeniería necesarias para minimizar los posibles daños causados por un evento natural (BID, 1999a).

Las cuencas hidrográficas, por ser la unidad física en la cual tienen lugar todos los procesos naturales, son asimismo la unidad natural y lógica para el desarrollo agrícola, ambiental y socioeconómico. Con el crecimiento demográfico y el aumento de las necesidades de urbanización, industrialización y producción de alimentos, los efectos de la actividad antropogénica ya no se limitan sólo a zonas pequeñas ni a una comunidad en particular. Las fuertes precipitaciones en la parte alta de estas, así como la deforestación de las mismas, han contribuido a que al presentarse las avenidas, el escurrimiento venga acompañado de una gran cantidad de material de arrastre y sedimento en suspensión. El peligro potencial a inundaciones y avenidas, combinado con la alta vulnerabilidad, de algunas comunidades tanto física como socioeconómica condiciona el nivel de riesgo al que está expuesto (USAID, 1999).

En particular en la microcuenca Joaquín Herrera (JH) ubicada en el municipio de Corregidora, Querétaro se presentó un evento de precipitación extraordinaria el 29 de septiembre de 2006 de 132 milímetros en tan sólo ocho horas, que provocó el desbordamiento del Río El Pueblito a la altura de la cabecera municipal de dicho municipio, con inundaciones de hasta 2 metros que daño de manera significativa a la población y a sus recursos naturales (D.O.F., 2006).

Ante esta problemática se determinó la necesidad de conocer cuáles fueron las causas que provocaron dichos daños, por tal motivo se plantea esta investigación, cuyos objetivos son realizar un análisis integral del estado actual de la microcuenca JH, con el fin de determinar un diagnóstico de las condiciones de degradación de dicha microcuenca.

Para lograr lo antes mencionado, se realizó una caracterización física, socioeconómica e hidrológica. Posteriormente se ubicaron geográficamente los centros de población e infraestructura y mediante el uso de los Sistemas de información Geográfica (SIG) y se determinó el grado de vulnerabilidad existente en la microcuenca y de manera integral propone el tipo de obras necesarias para su control.

2. ANTECEDENTES

Un fenómeno natural es toda manifestación de la naturaleza, se refiere a cualquier expresión que adopta ésta como resultado de su funcionamiento interno y deben ser considerados siempre como elementos activos de la geomorfología terrestre. Un desastre es el producto de la convergencia, en un momento y lugar determinados, de dos factores: riesgo y vulnerabilidad (Wilches-Chaux, 1993).

Se puede definir también, como un evento o suceso que ocurre en forma repentina e inesperada, causando sobre los elementos sometidos alteraciones intensas, representadas en la pérdida de vida y salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad y/o daños severos sobre el medio ambiente (Cardona, 1993a).

Las cuencas hidrográficas por ser las unidades físicas donde convergen actividades antrópicas con fenómenos naturales, se constituyen en las áreas adecuadas para la planificación y ejecución de actividades que fomenten la sostenibilidad y por ende reduzcan la vulnerabilidad hacia los desastres naturales y sociales.

La identificación de áreas vulnerables en una unidad geográfica determinada, presupone un proceso de jerarquización de las mismas, de acuerdo a criterios biofísicos, socioeconómicos e institucionales, a fin de lograr la definición de estas áreas para su respectivo tratamiento, posibilitando la intervención del hombre, considerado como elemento protagonista del manejo de los recursos naturales y del uso de la tierra.

Existen varios antecedentes de propuestas metodológicas para identificar áreas vulnerables al nivel de cuencas hidrográficas. Una de ellas es la metodología para

diagnósticos físicos conservacionistas en cuencas hidrográficas, elaborado por el Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT), Venezuela. Dicha metodología tiene como objetivo principal determinar el estado de conservación o deterioro, en que se encuentra una determinada cuenca hidrográfica, considerando las variables que conforman la fórmula descriptiva que define el proceso de erosión o deterioro del suelo en función del clima, relieve, geología y vegetación (CIDIAT, 1984).

En ese mismo año el CIDIAT también propuso una metodología práctica que estima prioridades a nivel de cuencas y subcuencas, con base en siete parámetros principales que definen los aspectos más importantes de índole conservacionista, social y económico, a través de los cuales puede ser evaluada la importancia que presenta la cuenca para su manejo. Los parámetros utilizados son: problemas actuales de erosión y sedimentación, penetración campesina, importancia de la cuenca como abastecedora de agua, obras construidas o por construir, potencial de utilización de los recursos de aguas arriba, potencial de utilización de aguas abajo, periodicidad o amplitud de los incendios de vegetación.

En 1987, Cabrera, propuso identificar en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala, aquellas áreas consideradas como vulnerables desde el punto de vista biofísico (causas naturales y antrópicas), cuyo impacto negativo significaran sitios de alto potencial de aporte de sedimentos aguas abajo, mediante reconocimiento de campo, determinación de la capacidad de uso de la tierra y la degradación específica (coeficiente de Fournier). Los resultados fueron adecuados para la cuenca, pero la aplicación del coeficiente de Fournier no fue representativa para toda la zona de estudio. En la metodología no se utilizaron variables socioeconómicas.

Sáenz (1995), propuso una nueva metodología para identificar áreas vulnerables de forma rápida en la cuenca del río Pacuare, Costa Rica, utilizando Sistema de Información Geográfica como herramienta clave. Su metodología tenía un carácter

básicamente cualitativo, e integró datos biofísicos con datos socioeconómicos. Sus resultados dieron que el diseño metodológico fue suficiente para identificar diferentes niveles de riesgo de degradación, como características cualitativas indicadoras de áreas críticas.

Medina (1995), identificó áreas vulnerables mediante el uso de los Sistema de Información Geográfica (SIG) en la cuenca del Río Purires, Costa Rica, realizando sobreposiciones de los mapas de uso actual y capacidad de uso. Después determinó los costos de reforestación de las áreas críticas de la parte alta de esta cuenca.

Existen otros estudios de tipo hidrológico como el realizado por Domínguez (2000), a partir del cual y con base en el registro de precipitación acumulada en 24 horas, estimo (con un cierto margen de error) la cantidad de la lluvia precipitada en una hora, que normalmente tiene una mayor intensidad respecto a la de 24 h, por lo que es esta última la que tiene mayor interés para efectos de una posible inundación. Estas lluvias son las que hemos llamado Umbrales de Lluvia para efectos de medir el peligro por precipitaciones intensas.

En el contexto nacional destaca el estudio hidrológico realizado por Garnica y Alcántara (2004), en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz, el trabajo mostró el resultado de las áreas susceptibles inundarse, realizó un análisis de vulnerabilidad para conocer el riesgo de la región estableciendo que aproximadamente el 30% de la población es susceptible a algún tipo de riesgo. Para realizar el trabajo utilizaron criterios morfológicos y estadísticos, además de técnicas de percepción remota. La metodología que siguieron puede servir de guía para estudiar áreas con la misma problemática.

En este sentido el CENAPRED (2006), elaboró mapas de peligro por precipitaciones a partir de datos de estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional, en las cuales se ha cuidado que se tengan registros de más de 20 años, para que la transformación de 24 h a 1 h sea correcta; sin embargo, estos sólo se han analizado en un periodo de retorno de 5 años, que de acuerdo con la bibliografía (CNA, 1993; Maza y Franco, 1993; Viessman,1977) puede llegar a usarse para el diseño de obras de protección de menor tamaño, tales como drenajes, drenes y alcantarillas. Estos mapas se construyeron con el fin de estimar el riesgo por inundaciones debidos a precipitaciones intensas, y no para el diseño de estructuras como las antes mencionadas.

Dentro de este contexto uno de los estudios más representativos y con mayor relación con el tema de investigación es el realizado por Talamantes y Gurría (2006), en el se hacen un análisis de incidencia de efectos presentes en la cuenca del río Blanco, Veracruz, en la que determinan las zonas de inicio de avenidas catastróficas, y que llevo a determinar las condiciones de degradación actual existente en cada una de las subcuencas presentes con base a una jerarquización y sobreposición de diferentes parámetros. Para este estudio se generaron todas las microcuencas de la cuenca del río Blanco, por otro lado se tomaron en cuenta las condiciones climáticas de la región, el uso del suelo, la pendiente del terreno y de los ríos, entre otras, que tienen un efecto importante sobre el tiempo de respuesta de la cuenca hidrográfica.

2.1 Antecedentes de estudios en la microcuenca Joaquín Herrera, Querétaro.

Actualmente no se tienen registro de estudios en la microcuenca Joaquín Herrera. Los estudios que se han realizado en el municipio de Corregidora, Querétaro, se han dirigido únicamente a la parte media y baja de la microcuenca el Pueblito. Un ejemplo de este tipo de estudios es el *Plan Maestro Río el Pueblito*, realizado por el patronato

del río en el año (2004), en este se realizó un estudio descriptivo de los principales aspectos físicos de la microcuenca como uso de suelo y vegetación, fauna, edafología, clima y geología, así como un estudio hidrológico de una sección del río. La información geográfica empleada en el estudio se realizó con datos a escala 1/250,000 para un área menor a los 30 km², esto trajo consigo una serie de resultados o productos muy generales.

3. JUSTIFICACIÓN

Las lluvias que se presentaron a lo largo del país en el año 2006, causaron severos estragos en la infraestructura de la república, dañando de manera significativa a la población, principalmente a las zonas marginadas. En estados donde predominantemente existe un clima seco, se presentaron lluvias que rebasan por mucho el promedio de lluvia registrado en por lo menos dos décadas. Las fuertes precipitaciones en la parte alta de las cuencas, así como la deforestación de las mismas, han contribuido a que al presentarse las avenidas, el escurrimiento venga acompañado de una gran cantidad de material de arrastre y sedimento en suspensión, lo cual ha provocado con el paso del tiempo, modificaciones en la sección de los cauces, reduciendo su área hidráulica (D.O.F., 2006).

Uno de los estados afectados fue Querétaro, en donde el 30 de septiembre del 2006, se presentó un evento de precipitación extraordinaria de ciento treinta y dos milímetros en tan sólo ocho horas, trayendo por consecuencia el desbordamiento del río El Pueblito a la altura de la cabecera municipal de Villa Corregidora, que provocó inundaciones de hasta 2 metros. Ello afectó a diferentes sectores de la población principalmente en colonias populares aledañas a la ribera del río, afectando a 300 familias de las cuales 30 reportaron pérdidas totales en sus inmuebles y otras resultaron con daños severos, tanto en la infraestructura de los servicios eléctricos, drenaje y comunicación, como en sus viviendas, afectando a una población aproximada de 1500 personas, esto aunado a la pérdida de 395 hectáreas cultivadas con sorgo, maíz y alfalfa (D.O.F., 2006).

Ante esta problemática, que provocó graves daños a la infraestructura urbana en el año del 2006, se determinó la necesidad de conocer cuáles fueron las causas que provocaron estos daños, por tal motivo se pretende realizar una serie de estudios encaminados a la determinación de obras de protección a los centros de

población. Para ello, se plantea esta investigación, cuyo objetivo es realizar un análisis integral de estado actual de la microcuenca Joaquín Herrera, con el fin de determinar un diagnóstico de las condiciones de degradación que nos lleve a identificar el riesgo de incidencia de avenidas torrenciales, y a partir de la ubicación física de los centros de población y de la infraestructura conocer el grado de vulnerabilidad existente en la microcuenca y de manera integral plantear el tipo de obras necesarias para la corrección de la microcuenca JH.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Realizar un análisis integral de la vulnerabilidad de la microcuenca JH, que nos lleve a identificar los sitios de incidencia de avenidas torrenciales hacia el río El Pueblito.

4.2 Objetivos específicos

-Elaborar un diagnóstico del estado actual de la cuenca por medio de una caracterización física e hidrográfica.

-Utilizar los Sistemas de Información Geográfica para conocer el grado de vulnerabilidad de la microcuenca y los sitios potenciales de avenidas torrenciales por medio del método de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP).

-Plantear el tipo de estrategias y acciones para el control de avenidas torrenciales en la microcuenca JH.

5. HIPÓTESIS

Debido a la presencia de una serie de condiciones físicas en la microcuenca JH, existen áreas críticas que aumentan su vulnerabilidad en términos biofísicos y económicos a los desastres naturales.

6. MARCO TEORICO

En esta sección se presenta una revisión bibliográfica sobre avenidas torrenciales y vulnerabilidad. También agrupa los conceptos principales que van relacionados con la vulnerabilidad como son riesgos, amenazas, fenómenos y desastres naturales.

6.1 Los desastres naturales en México

Es importante tener en cuenta que por su ubicación geográfica, México está expuesto a diferentes eventos meteorológicos e hidrometeorológicos severos, principalmente los huracanes, que son uno de los fenómenos que mayor impacto generan en nuestro territorio, provocando diversos daños a la población, la infraestructura, los servicios y a los sistemas de producción, los cuales se ven agravados por el arrastre de suelos ocasionado por la deforestación, así como por la ubicación de asentamientos humanos en zonas susceptibles de inundación.

La ubicación del país en una región intertropical, lo hace sujeto a los embates de huracanes que se generan tanto en el océano Pacífico como en el Atlántico. Los efectos de estos fenómenos, en términos de marejadas y vientos, se resienten principalmente en las zonas costeras del Pacífico, del Golfo y del Caribe; las lluvias intensas que estos fenómenos originan pueden causar inundaciones y deslaves no sólo en las costas sino también en el interior del territorio. De los 25 ciclones que en promedio llegan cada año a los mares cercanos al país, cuatro o cinco suelen penetrar en el territorio y causar daños severos. También se presentan lluvias intensas, con las consecuentes inundaciones y deslaves importantes, y con mucha frecuencia de manera independiente de la actividad ciclónica, debido a las tormentas que se generan en la temporada de lluvias (CENAPRED, 2001).

Los tipos de desastres anteriores tienen como origen un fenómeno natural, por lo que se les suele llamar desastres naturales, aunque en su desarrollo y consecuencias tiene mucho que ver la acción del hombre.

6.2 Fenómenos naturales

Un fenómeno natural es toda manifestación de la naturaleza; se refiere a cualquier expresión que adopta ésta como resultado de su funcionamiento interno y deben ser considerados siempre como elementos activos de la geomorfología terrestre. La ocurrencia de un “fenómeno natural” no necesariamente provoca un desastre natural, lo son únicamente cuando los cambios producidos afectan una fuente de vida con la cual el hombre contaba, o un modo de vida realizado en función de una determinada ubicación geográfica (CENAPRED, 2001).

No todo fenómeno es peligroso para el hombre. Por lo general convivimos con ellos y forman parte de nuestro ambiente natural. Por ejemplo, las lluvias de temporada, pequeños temblores, crecida de ríos, vientos, etcétera. El peligro que representa un fenómeno natural puede ser permanente o pasajero (Romero y Maskrey, 1993).

Los fenómenos naturales pueden ser de origen geológico, hidrológico y atmosférico, tales como terremotos, erupciones volcánicas, movimientos en masa, maremotos, inundaciones, huracanes, etcétera, o posibles eventos desastrosos originados por tecnologías peligrosas, tales como accidentes provocados por el hombre o por fallas técnicas, representan un peligro latente que puede considerarse como una amenaza para el desarrollo social y económico de una región o país (Cardona, 1993a).

6.3 Desastre natural

El término desastre es usado para describir una amplia variedad de eventos, desde aquellos cuya ocurrencia se considera que se debe a fenómenos exclusivamente físicos, como terremotos, huracanes, erupciones volcánicas, etcétera, hasta aquellos cuyo origen se considera exclusivamente humano, tales como las guerras y los accidentes industriales. Entre estos dos extremos hay un amplio espectro de desastres como por ejemplo hambrunas, inundaciones y deslizamientos, los cuales son provocados por la combinación de factores físicos y humanos (Cardona, 1993b).

Un desastre es el producto de la convergencia de dos factores, en un momento y lugar determinados: riesgo y vulnerabilidad (Wilches-Chaux, 1993). Se puede definir también, como un evento o suceso que ocurre, en la mayoría de los casos, en forma repentina e inesperada, causando sobre los elementos sometidos alteraciones intensas, representadas en la pérdida de vida y salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad y/o daños severos sobre el medio ambiente (Cardona, 1993a).

También se considera un desastre natural como la correlación entre fenómenos naturales peligrosos y determinadas condiciones socioeconómicas y físicas vulnerables. Puede decirse que hay un alto riesgo de desastre si uno o más fenómenos naturales peligrosos ocurrieran en situaciones vulnerables (Romero y Maskrey, 1993).

Se puede definir un desastre como “una ocasión de crisis o estrés social, observable en el tiempo y el espacio, en que sociedades o sus componentes (comunidades regiones, etcétera) sufren daños o pérdidas físicas y alteraciones en su funcionamiento rutinario. Tanto las causas como las consecuencias de los desastres son producto de procesos sociales que existen en el interior de la sociedad (Lavell, 1993).

Un desastre ocurre cuando un poder o energía se desencadena, causando daños masivos en las personas, organizaciones y objetos que no están en capacidad de protegerse. Al poder o energía que se desencadena se le llama amenaza y la predisposición para sufrir daño se la denomina vulnerabilidad. Para que haya un desastre, se requiere que, ante una determinada amenaza existan condiciones de vulnerabilidad. Si no hay vulnerabilidad, no hay desastre (Engebak, 1999).

6.4 Vulnerabilidad

El concepto de vulnerabilidad, es un concepto relativo y se debe analizar frente a las condiciones particulares de cada comunidad (Castro, 1999). Ser vulnerable a un fenómeno natural es ser susceptible de sufrir daño y tener dificultad de recuperarse de ellos. No toda situación en que se halla el ser humano es vulnerable (Romero y Maskrey, 1993).

La vulnerabilidad es la incapacidad de una comunidad para absorber, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea su inflexibilidad o incapacidad para adaptarse a ese cambio, que para la comunidad constituye, por las razones expuestas, un riesgo (Wilches-Chaux, 1993).

La vulnerabilidad en sí misma constituye un sistema dinámico, es decir, que surge como consecuencia de la interacción de una serie de factores y características (internas y externas) que convergen en una comunidad particular. El resultado de esa interacción es el “bloqueo” o incapacidad de la comunidad para responder adecuadamente ante la presencia de un riesgo determinado, con el consecuente “desastre”. A esa interacción de factores y características le damos el nombre de vulnerabilidad global.

Para efectos de estudio Wilches-Chaux (1993) divide a la vulnerabilidad global en distintas vulnerabilidades, no sin advertir expresamente que cada una de ellas constituye apenas un ángulo particular para analizar el fenómeno global, y que las diferentes vulnerabilidades están estrechamente interconectadas entre sí. Desde su perspectiva, existen diez componentes de la vulnerabilidad y son las siguientes: natural, ecológica, física, educativa, técnica, económica, social, política, ideológica e institucional.

6.5 Vulnerabilidad y desastres naturales

La comprensión de la vulnerabilidad de una determinada región implica comprender con precisión la susceptibilidad o resistencia de dicha área respecto a desastres naturales. La capacidad de resistencia o amortiguamiento de una región esta en proporción directa con el conjunto de servicios ambientales que posee (Castro, 1999).

Los desastres naturales, parecen convertirse en circunstancias cotidianas de la existencia de millones de pobladores en latitudes. Caracterizados comúnmente por la cantidad de pérdidas humanas y económicas sufridas a corto plazo, los desastres son más bien fenómenos de carácter y definición eminentemente social, no sólo en términos del impacto que los caracteriza, sino también en términos de sus orígenes, así como de las reacciones y respuestas que suscitan en la sociedad política y civil (Lavell, 1993).

El evento físico por sí solo no es el responsable del desastre. Es su combinación con condiciones de vulnerabilidad sociales y humanas, tales como: ubicación territorial de la población, estado de las viviendas y de la infraestructura de producción, circulación y comercialización; niveles de pobreza, salud y desnutrición; niveles de

organización de la población; reservas económicas familiares o gubernamentales; características educacionales, ideológicas y culturales de la población (Lavell, 1996).

Un primer paso en la tarea de lograr un concepto adecuado es establecer firme y convencidamente que un “desastre” es un fenómeno eminentemente social. Esto se refiere tanto a las condiciones necesarias para su concreción, como a las características que lo definen. Un terremoto o un huracán, por ejemplo, son condiciones necesarias para que exista, pero no son en sí un desastre. Necesariamente, deben tener un impacto en un territorio caracterizado por una estructura social vulnerable a sus impactos y donde la diferenciación interna de la sociedad influye en forma importante en los daños sufridos y en los grupos sociales que sean afectados en mayor o en menor grado (Lavell, 1993).

La vulnerabilidad se entiende por las características de una persona o grupo desde el punto de vista de su capacidad para anticipar, sobrevivir, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza natural. Implica una combinación de factores que determinan el grado hasta el cual la vida y la subsistencia de alguien queda en riesgo por un evento identificable de la naturaleza o sociedad. Es un término relativo y específico, que siempre implica una vulnerabilidad a una amenaza en particular. Una persona puede ser vulnerable a la pérdida de propiedad o de la vida por causa de inundaciones.

Algunos grupos de la sociedad son más propensos que otros al daño, pérdida y sufrimiento en el contexto de diferentes amenazas. Las características claves de estas variaciones de impacto incluyen clase, casta, etnias, género, incapacidad, edad o estatus. Aunque el concepto de vulnerabilidad claramente incluye diferentes magnitudes, desde niveles altos hasta bajos de vulnerabilidad para gente diferente, aquí se utiliza este término para significar aquellos que son más vulnerables. Cuando se

usa en este sentido, lo opuesto implícito de vulnerable a veces se indica con el uso del término seguro (Blaikie *et al.*, 1996)

6.6 Riesgo

El riesgo es la probabilidad de ocurrencia de un evento (Cardona, 1993a). También es cualquier fenómeno de origen natural o humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a ese fenómeno.

Los conceptos de vulnerabilidad y riesgo están íntimamente ligados entre sí, puesto que, un fenómeno de la naturaleza sólo adquirirá la condición de riesgo cuando su ocurrencia se dé o se prevea en un espacio ocupado por una comunidad que sea vulnerable frente a dicho fenómeno.

Los riesgos presentan claramente dos tipos de orígenes: los procesos intrínsecos de transformación de la naturaleza o riesgos de origen natural, y la actividad humana o riesgos de origen humano. Se cuentan como riesgos de origen natural a los terremotos, las erupciones volcánicas, los deshielos de las altas montañas, los huracanes, ciclones o tifones, los tornados, los maremotos o tsunamis, las inundaciones, las sequías, las tempestades eléctricas; y los riesgos de origen humano pueden ser originados intencionalmente por el hombre o por una falla de carácter técnico, la cual puede desencadenar una serie de fallas en serie causando un desastre de gran magnitud. Aquí se puede mencionar a las guerras, explosiones, accidentes, colapsos, terrorismos, incendios, contaminación e impactos (Wilches-Chaux, 1993, Cardona, 1993a).

6.7 Amenaza

La amenaza es la posible ocurrencia de un fenómeno físico de origen natural, o de origen humano, que puede manifestarse en un sitio y durante un tiempo de exposición prefijado. Técnicamente, se expresa como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con un nivel de severidad, en un sitio específico y durante un período de tiempo (Cardona, 1993b).

La amenaza puede ser de índole natural o humana. Son amenazas naturales, entre otras, los huracanes, sismos, volcanes, deslizamientos e inundaciones. Las principales amenazas de origen humano se relacionan con la tecnología, el poder político, el poder económico y, en algunos momentos de la historia, con la desesperación nacida de la pobreza y la exclusión (Engebak, 1999).

6.8 Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es una porción de territorio que tiene un drenaje en común y que se encuentra delimitada por las divisiones de las aguas superficiales o subterráneas (Hidalgo, 1993). Según Ramakrishna (1997), una cuenca hidrográfica es un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal de agua. Es la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. Los límites de la cuenca o “divisoria de aguas” se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra un río.

La cuenca hidrográfica como sistema la conforman los componentes biofísicos (agua, suelo), biológicos (flora, fauna) y antropocéntricos (socioeconómicos, culturales, institucionales), que están todos interrelacionados y en equilibrio entre sí, de tal manera

que al afectarse uno de ellos, se produce un desbalance que pone en peligro todo el sistema (Ramakrishna, 1997).

6.8.1 Características de una cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica posee las siguientes características (CIAT, 1997):

- *Es un medio natural geográficamente bien definido*, ya que es el área de alimentación de una red natural de drenaje cuyas aguas son recogidas por un recolector común.
- *Es un medio biofísico complejo*, ya que es un medio natural compuesto por diferentes elementos (suelo, agua, vegetación, flora y fauna, subsuelo y clima) que se interrelacionan e interaccionan para mantener el dinámico equilibrio de la naturaleza.
- *Es un medio natural morfodinámico*, porque la génesis de la morfología de una cuenca es un proceso dinámico. Por ejemplo según el clima que prevalece en una cuenca, las formaciones superficiales y el tipo de relieve se operaran constantes modificaciones en la morfología de la misma.
- *Es un medio humano en transformación*, ya que la cuenca representa el área donde se ubican las actividades del hombre, las cuales pueden modificar las interrelaciones existentes entre los fenómenos que rigen el equilibrio natural dinámico.

Para el ordenamiento y manejo de una cuenca, ésta se analiza como una unidad conformada por subcuencas y éstas, a su vez, por microcuencas. Por lo tanto, una subcuenca, es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca; varias subcuencas pueden conformar una cuenca; en cambio una microcuenca, es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de una subcuenca, varias microcuencas pueden conformar una subcuenca (CIAT, 1997).

6.8.2 Manejo de cuencas hidrográficas y los desastres naturales

Las cuencas hidrográficas, por ser la unidad física en la cual tienen lugar todos los procesos naturales, son asimismo la unidad natural y lógica del desarrollo agrícola, ambiental y socioeconómico (Mahone, 1999).

El manejo de cuencas hidrográficas puede ser conceptualizado como el conjunto de acciones integradas, orientadas y coordinadas sobre los elementos variables del medio ambiente en una cuenca, tendientes a regular el funcionamiento de este ecosistema, con propósitos de elevar la calidad de vida de la población inserta en ella.

En este sentido, el manejo de cuencas puede abordar aspectos importantes de la calidad de vida y, por ende, del desarrollo. Puede hacer un aporte sustantivo en forma directa a aspectos como la alimentación y nutrición, sanidad ambiental, sustentabilidad y productividad de los ecosistemas, criterios de uso de los recursos naturales, estabilidad ecológico-ambiental, estética ambiental, participación de la comunidad y de la recreación (FAO, 1996).

Los recursos físicos y biológicos de las cuencas hidrográficas proporcionan bienes y servicios a las poblaciones humanas, incluida la protección de las fuentes hídricas, mitigación de los efectos de los desastres naturales mediante la regulación de la escorrentía, la protección de los recursos costeros de las zonas edificadas y de agricultura en tierras bajas de alta productividad. La calidad y cantidad de estos servicios se ven afectados tanto por los fenómenos naturales, como por la actividad humana.

La actividad humana irrestricta puede acrecentar la vulnerabilidad de una cuenca hidrográfica a los desastres naturales, al tiempo que reduce su capacidad regenerativa. El grado de degradación dependerá tanto del nivel socioeconómico, las actividades económicas y productivas predominantes, como de las condiciones ecológicas.

Para que una reconstrucción redunde en una recuperación social y económica, y aumente el poder de recuperación ante los futuros desastres naturales, es menester utilizar las cuencas hidrográficas como unidad de planificación que guíe las decisiones relativas a las políticas e inversiones (Mahone, 1999).

6.9 Método de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP).

El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), desarrollado por Saaty (1980) está diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples. El proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y que, después, especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio. El resultado es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión.

El AHP se fundamenta en los siguientes puntos:

- La estructuración del modelo jerárquico (representación del problema mediante identificación de meta, criterios, subcriterios y alternativas).
- Priorización de los elementos del modelo jerárquico.
- Comparaciones binarias entre los elementos.
- Evaluación de los elementos mediante asignación de “pesos”.
- Ranking de las alternativas de acuerdo con los pesos dados.
- Síntesis.
- Análisis de Sensibilidad.

Mediante la construcción de un modelo jerárquico, permite de una manera eficiente y gráfica organizar la información respecto de un problema, descomponerla y analizarla por partes, visualizar los efectos de cambios en los niveles y sintetizar.

Se trata de descomponer un problema y luego unir todas las soluciones de los subproblemas en una conclusión (Saaty 1980).

Una vez construida la jerarquía el grupo de decisión comienza el procedimiento para priorizar, determinando la importancia relativa de elemento en cada nivel de la jerarquía. Los elementos de cada nivel son emparejados comparándolos con respecto a su importancia en función de la decisión bajo consideración. La comparación se efectúa de esta forma: ¿Qué tan importante es el elemento 1 comparado con respecto a un elemento específico en el nivel inmediato superior?. Para cada nivel, se comienza en el final de la jerarquía y se continúa subiendo, formando un número de matrices cuadradas desde los elementos de este nivel, con respecto a un elemento en el nivel inmediatamente superior. Los elementos son organizados en grupos homogéneos (Saaty 1980).

El grupo de decisión puede expresar sus preferencias entre cada dos elementos verbalmente como: igualmente preferidos (o importantes), modernamente preferidos, fuertemente preferidos, muy fuertemente preferidos o extremadamente preferidos. Estas preferencias descriptivas pueden ser trasladadas a números absolutos "1" , "3", "5", "7" y "9" respectivamente, dejando los números pares como valores intermedios para compromiso entre dos juicios cualitativos con dificultad para enjuiciarlos. La escala verbal utilizada en el A.H.P., permite al grupo de decisión incorporar subjetividad, experiencia y conocimiento en un camino intuitivo y natural (Saaty 1980).

Una vez formadas las matrices de comparación, el proceso deriva hacia la fase de obtener los pesos relativos para los diversos elementos. Los pesos relativos de los elementos de cada nivel son calculados como los componentes del autovector normalizado asociado con el mayor autovalor de su matriz de comparación. Los pesos compuestos de las "alternativas de decisiones alternativas" se determinan por agregación de los pesos hacia arriba de la jerarquía. Esto se hace siguiendo una

trayectoria desde arriba de la jerarquía de cada alternativa hacia el mas bajo nivel y multiplexando los pesos a lo largo de cada segmento de trayectoria. El resultado de esta agregación es un vector normalizado con la totalidad de los pesos de las opciones.

El AHP es una herramienta metodológica que ha sido aplicada en varios países para incorporar las preferencias de actores involucrados en un conflicto y/o proceso participativo de toma de decisión (Saaty 1980).

Algunas de las ventajas del AHP frente a otros métodos de Decisión Multicriterio son:

- Presentar un sustento matemático.
- Permitir desglosar y analizar un problema por partes.
- Permitir medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común.
- Incluir la participación de diferentes personas o grupos de interés y generar un consenso.
- Permitir verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones, si es del caso.
- Generar una síntesis y dar la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad.
- Es de fácil uso y permitir que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.

7. METODOLOGÍA

7.1 Delimitación de la zona de estudio

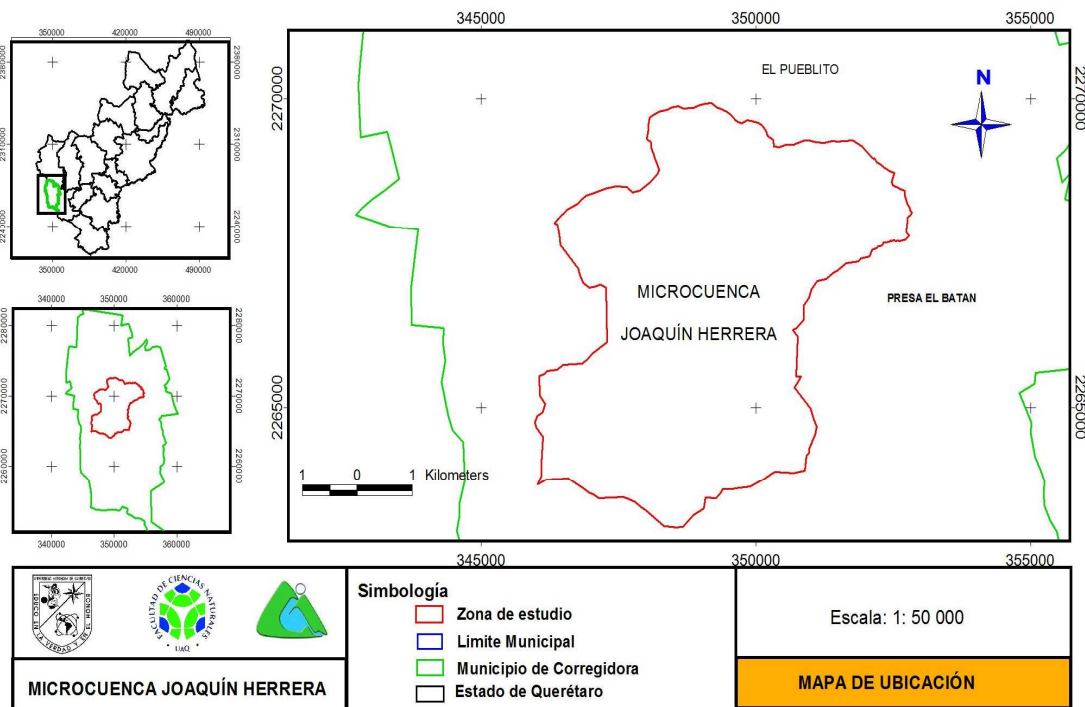
La microcuenca Joaquín Herrera pertenece a la región hidrológica No-12 (Cuenca Lerma Chápala), subcuenca Alto Lerma. Está ubicada al suroeste del estado de Querétaro (Mapa 1), en el municipio de Corregidora. Tiene una extensión de 2779 ha, en la cual se encuentran asentados 2,608 habitantes en 10 comunidades destacando la comunidad de JH la cual concentra el 57% de la población total.

Esta microcuenca es de tipo exorreico, sus aguas fluyen hacia el norte en donde se encuentra el Río el Pueblito, que se origina en los Ríos Huimilpan y Bravo y el Arroyo Hondo, a una elevación de 1,950 msnm y desemboca en el vaso de la Presa El Batán dentro del municipio de Corregidora. De este punto atraviesa la cabecera municipal de Corregidora hasta cruzar la carretera libre Querétaro-Celaya; posteriormente la autopista hasta llegar al Río Querétaro, cerca de la localidad de Las Adjuntas, en los límites del estado de Querétaro y Guanajuato (INEGI, 2005).

Los suelos de la microcuenca forman parte de una sucesión de lomeríos, llanuras y sierras, que conforman un paisaje ondulado con pequeñas llanuras interrumpidas por sierras separadas unas de otras. Las características de los suelos están definidas por las condiciones fisiográficas y se pueden agrupar en tres grandes grupos: los que representan las pequeñas llanuras de suelos de profundidad media, con drenaje moderado, pedregosidad superficial ligera a abundante, pendientes de 1 a 5% y erosión moderada. Las unidades de suelos identificados son vertisol pélico, listosol y fluvisol éutrico (UAQ, 1996).

Desde el punto de vista geológico, en la mayor parte de las cuencas se observan afloramientos de rocas ígneas extrusivas, las que forman una alternancia de corrientes

de lava y tobas de tipo brechoide y limo arenosas. Estas rocas forman diversas serranías, observándose en las partes altas escarpes elevados. Sobre las tobas pueden apreciarse lomeríos y prominencias constituídas por rocas ígneas extrusivas y lavas de tipo basáltico, las cuales fueron originadas por un vulcanismo mas reciente, ya que existen apartados volcánicos dentro del área. Existe un sistema principal de fallas, con rumbo al noreste y otro de menos importancia de rumbo sureste, estas fallas controlan el rumbo del drenaje, así como la ubicación de las corrientes fluviales (UAQ, 1996).



Mapa 1. Localización de la microcuenca Joaquín Herrera en el estado de Querétaro.

7.2 Planificación del proceso y recopilación de información.

En esta fase se consideró la presentación de la propuesta de investigación a las instituciones presentes en el área de estudio y que tuvieran interés en colaborar con este trabajo. Se coordinaron reuniones con el Patronato del Río El pueblito y la Secretaria de Ecología del municipio de Corregidora, con el objetivo de organizar el trabajo de campo y seleccionar los participantes de los talleres participativos como se observa en la imagen siguiente



Figura 1. Reunión con las autoridades del patronato del Río El Pueblito.

Al mismo tiempo se inicio una etapa de gabinete que consistió en recopilar, organizar y sistematizar todo tipo de información cartográfica, estudios previos, registros y bases de datos del área de estudio. Las principales fuentes de información fueron las dependencias de gobierno como el Instituto Nacional de Estadística, Informática, el municipio de Corregidora y la Comisión Nacional del Agua y habitantes de la microcuenca.



Figura 2. Reunión con las autoridades de la CNA, patronato del río El Pueblito y habitantes de la microcuenca JH.

7.3 Caracterización de los aspectos biofísicos e hidrológicos

Los estudios del medio biofísico fueron fundamentales para conocer, interpretar, analizar y hacer una evaluación previa de la cantidad y calidad de lo que existe en el ámbito de la microcuenca o micro-región. De identificar a detalle el potencial y aptitud de los recursos naturales, materiales, humanos y financieros con que se cuenta; así como, el análisis y la interpretación que los habitantes tienen de cada uno de ellos.

Esta etapa es la que permitió disponer de un conocimiento suficiente de la estructura y funcionamiento de los diversos sistemas que interactúan en el ámbito de la microcuenca o micro-región. Con estos estudios se logro conocer, medir, interpretar, analizar y evaluar los hechos que han existido, explicarse las estructuras vigentes y las tendencias de los posibles cambios en el futuro.

Otro estudio muy importante dentro de la caracterización biofísica son los relacionados con la geología de la cual se obtuvieron datos acerca de tipo de roca y

edad, origen suelo, estructuras, relieve, unidades geomorfológicas en donde lo importante fue establecer procesos que pudieran representar riesgos, incentivar o limitar actividades productivas como:

- Rocas que por su origen tenderán a procesos erosivos fuertes
- Zonas inundables
- Zonas que pueden presentar hundimientos o movimientos
- Zonas altamente estables
- Rocas que tienden a la disolución
- Barreras orográficas

Para cumplir con este objetivo se utilizó la información cartográfica proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática a escala 1:50,000 del año 1976 y fue actualizada con ortofotos a escala 1: 75,000 del año 2004 que posteriormente se corroboró con las salidas a campo, en donde se analizaron las diferentes variables biofísicas como el uso del suelo y vegetación, geología, edafología y la red hidrográfica.

Para llevar a cabo la caracterización hidrológica se utilizó una de las herramientas más importantes en el análisis de las cuencas, que es la morfometría (Campos, 1987), ya que nos permite establecer parámetros de evaluación del funcionamiento del sistema hidrológico de una región. Dicha herramienta puede servir también como análisis espacial ayudando en el manejo y planeación de los recursos naturales (López Blanco, 1989) al permitirnos, en el marco de una unidad bien definida del paisaje, conocer diversos componentes como el tamaño de la cuenca, la red de drenaje, la pendiente media, el escurrimiento, etcétera.

Dichos componentes fueron obtenidos y modelados mediante el uso de sistemas de información geográfica, posteriormente se combinaron con la geomorfología, se logró obtener un diagnóstico hidrológico útil. Para lograr lo anterior, se realizó la

subdivisión de la microcuenca JH en 12 unidades de escurrimiento (ver mapa 5) y se aplicaron y compararon un total de seis índices hidrológicos y nueve parámetros hidrológicos.

Los índices fueron los siguientes: el índice de forma, el de alargamiento, el de compacidad, el de masividad, el de densidad de drenaje y el de elevación media de la cuenca; los parámetros medidos fueron: el área, desnivel altitudinal, el orden de corrientes por cuenca, la densidad de drenaje, el número de escurrimientos por cuenca, pendiente media y longitud del cauce principal y el tiempo de concentración.

7.4 Metodología para el análisis de la vulnerabilidad

Por vulnerabilidad, se entiende como la susceptibilidad de una comunidad de ser afectada por algún fenómeno, expresado en su incapacidad para “absorber”, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente (Castro, 1999).

7.4.1 Clasificación de los parámetros

Para poder realizar el análisis de la vulnerabilidad se utilizó el método de clasificación conocido como Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), desarrollado por Satty 1980, el cual organiza y evalúa la importancia relativa de los criterios/objetivos seleccionados y su importancia relativa en las alternativas de solución. Este método utiliza la siguiente escala subjetiva para la comparación:

- 1- En términos generales equivalente en importancia al otro factor.
- 3- Moderadamente más importante que el otro factor

- 5- Esencialmente más importante que el otro factor
- 7- Importancia relativa muy fuerte.
- 9- Abrumadoramente más importante que el otro factor.

El AHP utiliza una escala intermedia con valores de 1 a 9 para calificar las preferencias relativas de los dos elementos. Se presentan las calificaciones numéricas que se recomiendan para las preferencias verbales expresadas por el decisor. Investigaciones anteriores han determinado que está es una escala razonable para distinguir las preferencias entre dos alternativas.

La escala intermedia que se muestra en la Tabla 1 se cambia la palabra preferencia por la de riesgo por así convenir al estudio, es decir lo que se esta prefiriendo encontrar son las zonas de riesgo.

Tabla 1. Escala intermedia de método AHP

| NIVEL DE RIESGO | VALOR NUMERICO |
|---|-----------------------|
| Igualmente Riesgoso | 1 |
| De Igual a Moderadamente Riesgoso | 2 |
| Moderadamente Riesgoso | 3 |
| De Moderado a Fuertemente Riesgoso | 4 |
| Fuertemente Riesgoso | 5 |
| De Fuerte a Muy Fuertemente Riesgoso | 6 |
| Muy Fuertemente Riesgoso | 7 |
| De Muy Fuerte a Extremadamente Riesgoso | 8 |
| Extremadamente Riesgoso | 9 |

Para la clasificación de los rangos se tomo el método Natural Breaks que proporciona el Software Arc-Gis versión 9.3, donde las clases se basan en las

agrupaciones naturales de los valores de los datos. En este método, los valores de los datos se arreglan en orden descendente, los rangos de cada clase son determinadas estadísticamente, encontrando los pares adyacentes de la característica, entre los cuales hay una diferencia relativamente grande en valor de los datos. La justificación al uso de esta clasificación esta dada por la separación tan marcada que este método proporciona de cada uno de los rangos y así identificar las zonas de riesgo y las zonas de no riesgo (Talamantes y Gurría, 2006).

7.4.2 Estandarización de los criterios utilizados

Los parámetros que se usaron para medir la vulnerabilidad se estandarizaron a través de una escala que va de 0 (cero) a 100 (cien). El procedimiento de estandarización utilizado fue aquel donde los valores máximos y mínimos representan los puntos de la escala.

La estandarización más simple, es el escalamiento lineal, que provoca que cada factor tenga una base equivalente antes de que los pesos sean aplicados:

$$Xi = (Ri - Rmin) / (Rmax - Rmin) * \text{rango a estandarizar}$$

donde, R = valores crudos

Se aplicó la escala lineal de 0 (cero) a 100 (cien) para estandarizar todos los parámetros, y poder analizar los factores a una misma escala antes de combinarse para formar un índice único de evaluación, de tal manera que todos los parámetros estén correlacionados.

En la escala utilizada, el valor “0” significa que el aporte del indicador es menos significativo a un determinado nivel de vulnerabilidad, es decir, que el elemento bajo análisis presenta un nivel muy bajo de vulnerabilidad. En tanto, el valor “100” significa

que el aporte del indicador es significativo, y que la situación que presenta el indicador es determinante y su aporte es fundamental.

7.4.3 Interacción con las comunidades

La participación de los habitantes de la microcuenca o micro-región se hace indispensable, pues su experiencia y conocimiento son elementos básicos debido a que ellos tienen información no solo del momento actual, en que se inicia el diagnóstico, sino de tiempos pasados donde de manera concreta pueden relatar acontecimientos que no se pueden identificar en el presente (Vea anexo 1).

En esta fase se utilizaron diferentes métodos y técnicas para obtener la información requerida. Las herramientas y técnicas utilizadas fueron complementarias con otras, a fin de obtener una información fidedigna y de calidad. Mediante la realización de los talleres informativos y el uso de herramientas de diagnóstico participativo con las 10 comunidades de la microcuenca, se validó y amplió la información contenida en los datos secundarios. Esta fase comprendió aproximadamente tres meses y los talleres se llevaron a cabo cada fin de semana, y para ellos el tiempo dedicado fue 2 fines de semana por cada comunidad. Para obtener los datos y elegir las variables observadas se utilizaron las siguientes técnicas:

- a) Visitas y diálogos informales con extensionistas, miembros de las comunidades y familias: antes de iniciar el estudio se consideró pertinente establecer una relación de confianza con los miembros de las distintas comunidades seleccionadas, con el fin de facilitar el trabajo. Estas visitas permitieron establecer contactos con los representantes de las diferentes organizaciones existentes en la comunidad.

b) Recorridos y observación de campo: esta técnica permitió constatar información obtenida a través de los informantes, así como permitió chequear datos referentes al uso actual de la tierra y fue una excelente oportunidad para captar información sobre los recursos que hay en la microcuenca y las actividades que se realizan. Así mismo permitió conocer la realidad de los sucesos ocurridos y como se originan desde la parte alta de la cuenca, en el decir de las personas de mayor edad (Vea anexo 1).



Figura 3. Recorrido de campo en la comunidad de JH.

c) Talleres participativos: los talleres y ejercicios grupales constituyeron un apoyo muy importante y significativo para conocer, dialogar, discutir, y profundizar en la información cualitativa de los aspectos biofísicos y socioeconómicos en general y de las posibles soluciones a los diferentes problemas de la microcuencas. Durante estos talleres se aplicaron diversas técnicas de investigación cualitativa como entrevistas semiestructuradas (Geilfus, 2000).

d) Entrevistas semi-estructuradas: esta técnica se aplicó a través de una serie de preguntas previamente determinadas y otras incluídas en una guía. Se realizaron al final de los talleres en un marco abierto que permitió desarrollar un proceso de comunicación efectivo. Se aplicó la entrevista a un miembro de cada comunidad y un productor o representante en cada sector de las subcuencas para validar información.

Las técnicas empleadas en las reuniones con los habitantes de la microcuenca JH fueron combinadas de tal manera que los resultados de una técnica reforzaron la información obtenida en otro momento por otra. Esta triangulación de datos y fuentes de información es, también un medio esencial, para controlar la veracidad de la información y su correcta interpretación.

8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Esta fase comprende la organización y análisis de la vulnerabilidad biofísica y posterior interpretación de los resultados. El análisis de las informaciones secundarias disponibles facilitaron por un lado, conocer el contexto general del área de estudio, así como también secundar variables obtenidas en los análisis de la vulnerabilidad.

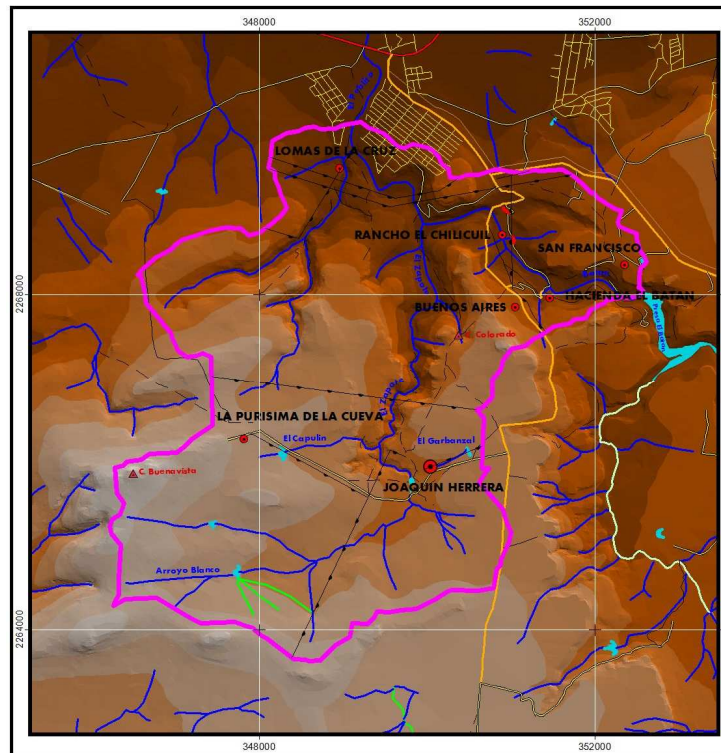
8.1 Caracterización biofísica del área de estudio

Para poder cumplir el primer objetivo planteado en la presente investigación se analizaron las condiciones climáticas de la región, el uso del suelo y la vegetación, edafología, geología las cuales son muy importantes, no sólo para poder identificar la problemática, sino que por medio de estas se puede analizar e interpretar el origen y consecuencias de la misma, con lo cual se podrán elaborar propuestas congruentes y adecuadas y presentar en ellas, las mejores alternativas para el desarrollo integral de la microcuenca.

8.1.1 Fisiografía y topografía

La microcuenca Joaquín Herrera pertenece a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico Transmexicano. Se ubica en la subprovincia de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, esta se describe como un corredor de lomeríos bajos de colinas redondeadas y llanuras que se encuentra de poniente a oriente, el cual queda encerrado por sistemas de sierras, mesetas y lomeríos, casi todos de origen volcánico (ver mapa 2 en anexo). Únicamente se presentan cuatro sistemas de topofomas: la sierra de laderas tendidas (es un sistema en el que las laderas del macizo montañoso son tendidas, al menos en alguno de sus lados). Los escudo-volcanes aislados o en

conjunto (son volcanes apartados y de poca altura), la llanura de pico rocoso (es una llanura de aluviones profundos), y el lomerío de colinas redondeadas (sistema formado por lomas suaves, redondeadas), el sistema predominante en casi la totalidad del área de estudio es de laderas tendidas (INEGI, 1976), la figura 2 detalla el comportamiento topográfico de la cuenca.



Mapa 2. Topografía de la microcuenca Joaquín Herrera.

8.1.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1988), en la carta de climas del INEGI, el tipo y subtipo climático corresponde a un *BS1hw(w)(e)g*, este es un clima seco estepario con un coeficiente $P/T >$ de 22.9; semicálido con temperatura media anual menor de 18°C (mínima entre -3° y 18° C.) En estas regiones

la temperatura media anual varía de 18° a 19 °C, en tanto que la precipitación total anual fluctúa entre 450 y 630 mm. La precipitación invernal es menor de 5 %, la oscilación térmica es extremosa y la temperatura máxima se presenta antes del solsticio de verano (García, 1988).

Tabla 2. Distribución media mensual de precipitación en mm (periodo 1961-2000).

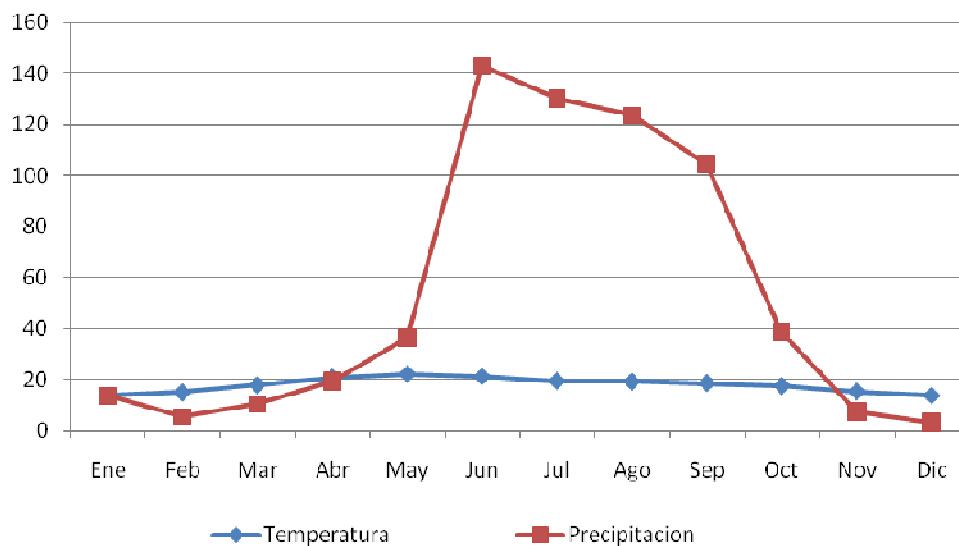
| Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Promedio |
|------|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|----------|
| 13.7 | 5.4 | 10.5 | 19.4 | 36.3 | 142.9 | 130.1 | 123.4 | 104.2 | 38.8 | 7.6 | 3.3 | 635.6 |

Fuente: Estación climatológica El Batan y programa ERIC2.

Tabla 3. Distribución media mensual de temperatura en °C (periodo 1961-2000).

| Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Promedio |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 13.9 | 15.1 | 18.0 | 21.0 | 22.3 | 21.3 | 19.6 | 19.3 | 18.8 | 17.7 | 15.5 | 13.9 | 18.0 |

Fuente: Estación climatológica El Batan y programa ERIC2 (Anexos).



Gráfica1. Climograma de la estación El Batan.

El arribo de la corriente húmeda de los vientos alisios determina en la totalidad de la región la época lluviosa, lo cual ocurre de mediados de mayo a mediados de octubre. El patrón de distribución de la precipitación para un año lluvioso, manifiesta una intensidad de hasta 1.000 mm, en tanto que para un año seco se llegan a valores menores de 400 mm.

En lo referente al factor temperatura, se nota que la temperatura sólo presenta un máximo 21.7° C en mayo y un mínimo 13.7° C en enero, es decir una marcha anual de la temperatura que exhibe una influencia estacional de tipo subtropical en la que el segundo máximo que debería ocurrir en agosto se encuentra muy amortiguado por las condiciones de humedad del verano.

Así la humedad en el área constituye un factor de amortiguamiento muy importante, de manera que cuando se presenta una temporada de años muy secos es de esperar fuertes descensos térmicos durante el invierno, de ahí entonces la necesidad de mantener en la región áreas verdes que permitan coadyuvar al mantenimiento de la humedad y con ello eviten las bajas térmicas que conllevan los fenómenos de las heladas.

8.1.3 Uso de suelo y vegetación

Los principales habitats semi-áridos son el matorral crasucáule, subtropical y la vegetación riparia o bosque de galería como prefieren muchos autores. Existen asimismo facetas mixtas, como por ejemplo, laderas cubiertas de pastos con arbustos (principalmente) inermes y en menor cobertura especies leñosas espinosas de leguminosas.

Los microhabitats, o sitios de condiciones topográficas diferentes de los de áreas más ampliamente distribuidas, incluyen los bordes de cañada, espacios debajo de los bordes (hoquedades), de los cuales se han desprendido pedruscos grandes, así como taludes de la cañada con sus grietas y salientes (INEGI, 1976).

Un contraste notable lo constituyen los lugares de suelo húmedo, que incluyen charcos temporales, áreas de filtración debajo de la cortina de la presa el Batán, lodos de orillas de arroyo, terrazas de inundación y el margen húmedo de tierra que está en contacto con el agua del espejo de agua del río.

La sombra es otro elemento que incrementa la diversidad de hábitats. Existen porciones de exposición norte en la cañada, donde en los últimos meses de otoño y en el invierno penetra el sol de manera parcial en algunos pocos sitios.

A continuación se describen los diferentes tipos de vegetación detectados en la microcuenca Joaquín Herrera:

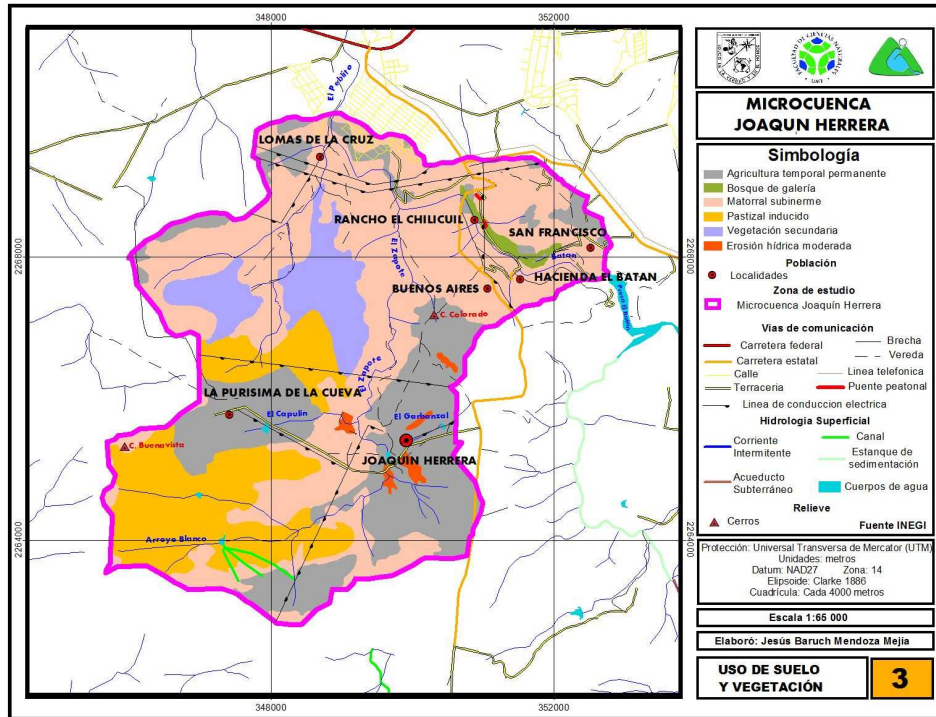
- a) *Matorral subinermis*, cubre el 47% de la microcuenca y se desarrolla por debajo del bosque de pino-encino, cerca de los 2.000 m de altitud. Esta restringido a suelos someros y pedregosos, constituido por especies que en otro tipo de vegetación serían indicadores de perturbación, pero como no puede afirmarse que el matorral subtropical sea una vegetación secundaria de alguna otra comunidad, tampoco puede considerársele como una comunidad climax. Los elementos importantes son: el palo bobo *Ipomoea*, el garambullo *Myrtillocactus*, papelillo *Bursera*, *Lemaireocereus*, *Lysiloma*, *Opuntia*, *Celtis*, ocotillo *Dodonaea viscosa* o zarabuyo *Karwinskia humboldtiana*.
- b) *Vegetación secundaria*, corresponde al 7% de la microcuenca y tienen varias especies de formas arbustivas que no sobrepasan los 3 m. Se encuentran las

mismas especies de mezquite *Prosopis laevigata*, huizaches *Acacia farnesiana* y *A. schaffneri* y en forma abundante la uña de gato *Mimosa aculeticarpa*, así como granjeno *Celtis pallida* y xonocostle *Opuntia imbricata* (INEGI, 1976).

- c) *Bosque de galería*, únicamente cubre el 1% de la superficie total de la microcuenca y se ubica entre la cortina de la presa el Batan y el área urbana del Pueblito. En la cañada existe una serie de sitios de suelo húmedo, o ambientes modificados por el agua. El Río El Pueblito tiene zonas de bosque en galería con *Alnus jorullensis*, *Fraxinus uhdei* y *Salix humboldtiana*, mientras que los arbustos más frecuentes son *Baccharis salicifolia* y *Heimia salicifolia*. Entre las enraizadas emergentes más comunes se encuentran *Cyperus niger*, *C. pseudovegetus*, *Echinochloa crus-pavonis*, *Polygonum mexicanum*, *Eleocharis macrostachya*, *Bacopa monnieri*, *Typha latifolia* y *Mimulus glabratus* y de tallos postrados *Heteranthera reniformis* y *Ludwigia peploides*. En algunas zonas de remansos están las libres flotadoras *Lemna gibba* y *L. aequinoctialis*, mientras que de las hidrófitas enraizadas sumergidas se encuentra *Zannichellia palustris* (INEGI, 1976).
- d) *Pastizal inducido*, representa el 18% de la microcuenca, se generan por la actividad pecuaria, para ganado bovino, caprino y caballo o en menor grado por la extracción de madera para leña. Los pastizales inducidos provienen de una condición extrema de alteración de Bosques de *Quercus*, Matorrales espinosos y de Bosques tropicales caducifolios. El efecto de la actividad pecuaria intensa permite el desarrollo, de especies espinosas no deseadas como huizache *A. schaffneri*, magueyes *Agave* spp., uña de gato *Mimosa biuncifera*, xoconostle *Opuntia imbricata* y mezquite *Prosopis laevigata*. Una de las especies indicadoras de que no son de comunidades naturales es el sangregado *Jatropha dioica*, también se pueden encontrar el polocote *Argemone mexicana*, toloache *Datura ceratocaula*, Gomphrena *decumbens*, atlón *Iresine schaffneri* y lentejilla

Lepidium virginicu; el 25% de la microcuenca está cubierta por agricultura temporal y permanente (Mapa 3).

Mapa 3. Uso de suelo y vegetación de la microcuenca JH.



En la tabla No. 3 se muestra la superficie de los diferentes usos suelo y su correspondencia en porcentaje para la microcuenca JH.

Tabla 4. Cobertura de los principales usos de suelo en la Microcuenca JH.

| TIPO DE USO SUELO | SUPERFICIE EN (HA) | PORCENTAJE EN LA MICROCUENCA |
|---------------------------------|--------------------|------------------------------|
| Agricultura temporal permanente | 692 | 29% |
| Bosque de galería | 23 | 1% |
| Erosión hídrica moderada | 15 | 1% |
| Matorral subinermes | 1297 | 49% |
| Pastizal inducido | 500 | 21% |
| Vegetación secundaria | 210 | 7% |

8.1.4 Edafología

La microcuenca JH presenta tres tipos de suelo principalmente, a continuación se describen estos tipos jerarquizándolos en forma altitudinal:

a) *Vertisol pélico*, se localizan en la parte alta de la microcuenca y ocupa el 64% del total de la superficie de la microcuenca, son suelos muy arcillosos en cualquier capa a menos de 50 cm. de profundidad. En la época de secas tienen grietas muy visibles a menos de 50 cm. de profundidad, cuando se tiene riego artificial y se agrietan cuando están muy mojados (INEGI, 1976).

Estos son suelos fértiles, de color negro, generalmente profundos y pegajosos cuando están húmedos. Se utilizan principalmente para la agricultura de riego, son altamente productivos con cultivos de forrajes, granos y hortalizas. El acelerado crecimiento de las ciudades y la industria ha provocado que estos suelos y la actividad agrícola que sustentan vayan disminuyendo gradualmente. Son suelos que se desarrollan en climas tropicales y subtropicales con una marcada diferencia entre estaciones seca y húmeda. Estas condiciones ambientales favorecen la formación de arcillas que tienen la propiedad de hincharse cuando están húmedas y encogerse al secarse. La superficie del suelo en época de secas presenta grietas que llegan normalmente hasta 50 cm de profundidad. Son suelos casi siempre muy fértiles, aunque con ciertos problemas de manejo agrícola como son dificultad para la labranza, mal drenaje y deficiencia de materia orgánica. Son susceptibles a sufrir acumulación de sales. Como en el caso de los feozems, la maquinaria pesada y el exceso de agroquímicos, pueden llegar a dañarlos (INEGI, 1976).

b) *Fluvisol éutrico* corresponden al 3% de la microcuenca. Se localizan en la porción central y alta del cauce del río El Pueblito y sólo ocupan la parte inferior del escalón tectónico donde se ubica el poblado de El Pueblito, Corregidora;

esta unidad presenta dos subtipos que varían en las características del horizonte C, que esta constituido por material diferente (INEGI, 1976).

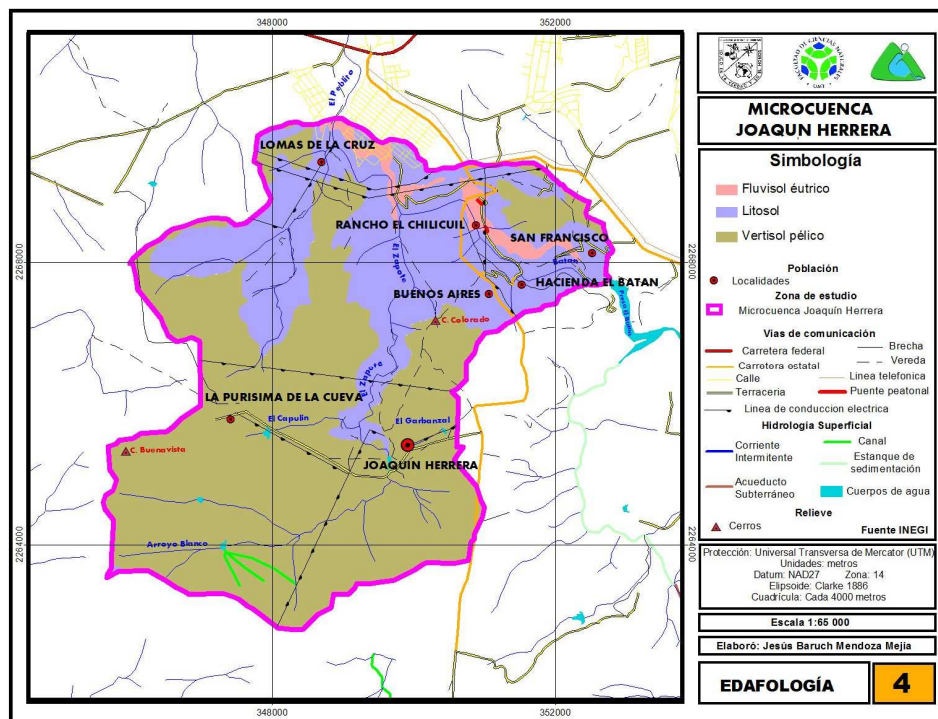
El horizonte A varía de 5 a 30 cm, con contenido abundante de raíces, y una estructura granular chica debido al contenido de materia orgánica, son permeables y porosos, su color varia desde el pardo café, rojizo al café, muy oscuro, encontrándose indistintamente de una a otra coloración, dominando la textura de migajón arenoso, son poco plásticos y adhesivos, su consistencia es firme, no presentan concreciones de carbonato de calcio ni manifiesta reacción al ácido clorhídrico; contienen gravas y piedras en cantidad abundante, presentándose en muchas partes afloramientos rocosos, el porcentaje de grava y piedra puede llegar a ser hasta cerca de 50% (INEGI, 1976).

El horizonte B en algunos casos es incipiente o no parece presentar el suelo las características de un AC. Cuando se presentan contiene un porcentaje de arcilla mucho mayor que el A, con abundantes concreciones, así como reacción al ácido, su contenido de raíces es abundante y pueden llegar a presentar una estructura prismática ligeramente desarrollada y con tendencia a columnar, se encuentran cimentados principalmente por arcillas y óxidos de fierro y calcio, presentan intrusiones de grava (INEGI, 1976).

Son plásticos y adhesivos, pudiéndose observar las fisuras con pocos poros finos y de consistencia muy firme, el límite inferior cuando se trata de material rocoso es brusco, pero cuando el horizonte C esta constituido por toba, el horizonte C llega a ser mas profundo hasta unos 60 cm, encontrándose que el limite inferior es bastante difuso, por lo que se le ha denominado B/C, en este caso el B presenta tanto reacción como concreciones de CaCO_3 que van aumentando con la profundidad, llegando a encontrarse estratos, no muy

compactos en forma laminar en el horizonte C, abajo del cual aparece la toba de color blanco y pulvurulenta con reacción enérgica al ácido clorhídrico .

c) Litosoles: se localizan en la zona montañosa aledaña a la presa del Batan y en la barranca a lo largo del río El Zapote en donde predominan altas pendientes que contribuyen al desarrollo de estos; cubren el 33% de la superficie de la microcuenca, estos son suelos delgados de no más de 10 centímetros de espesor poco desarrollados o excesivamente erosionados, por lo cual sólo se deben dedicar a la vida silvestre (Mapa 4).



Mapa 4. Edafología de la microcuenca Joaquín Herrera.

En la tabla No.4 se muestra la superficie que abarca cada unidad de suelo y su correspondencia en porcentaje para la microcuenca Joaquín Herrera.

Tabla 5. Cobertura de las unidades de suelo en la Microcuenca JH.

| TIPO DE SUELO | SUPERFICIE EN (HA) | PORCENTAJE EN LA MICROCUENCA |
|------------------|--------------------|------------------------------|
| Fluvisol éútrico | 72 | 3% |
| Litosol | 920 | 33% |
| Vertisol pélico | 1785 | 64% |
| | 2737 | 100% |

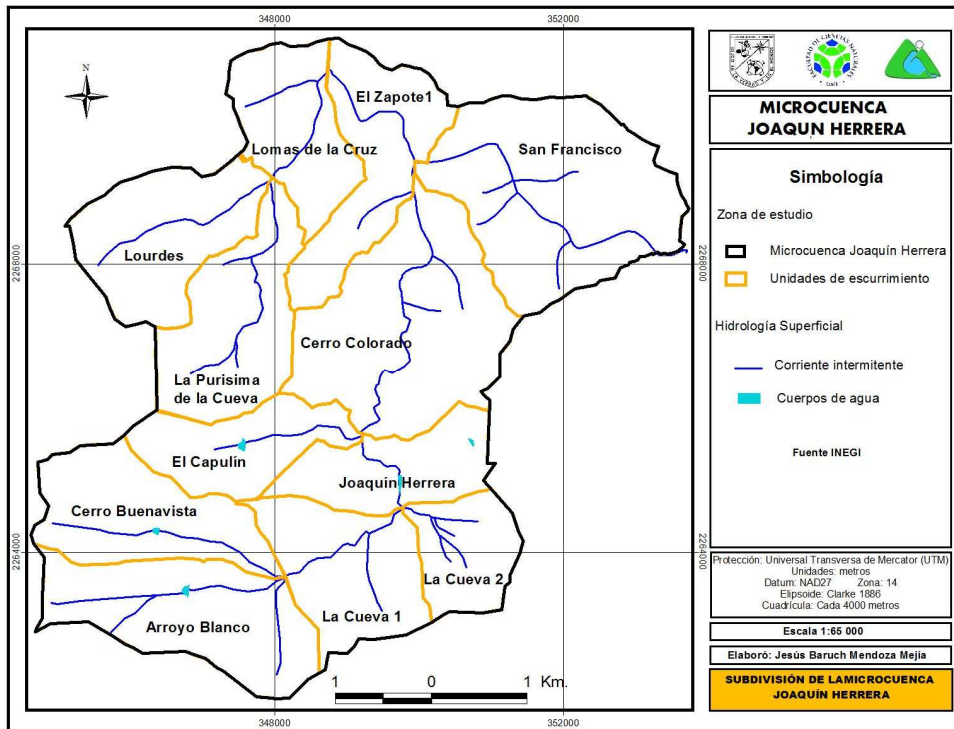
8.2 Caracterización hidrográfica

Para poder cumplir con el segundo objetivo planteado en la presente investigación se delimitó la microcuenca JH en unidades de escurrimiento, posteriormente se analizó la pendiente del terreno y de los ríos que tienen un efecto importante sobre el tiempo de respuesta de la cuenca, así como la hidrología y morfometría, variables por demás importantes dentro de un análisis de estas características. Dentro de las características hidrológicas que se analizarán destacan las relacionadas con la cuenca: superficie, perímetro, orden, forma, elevación, pendiente y densidad de drenaje por mencionar algunas y las relacionadas con el afluente principal: pendiente, longitud, y perfil longitudinal (Campos, 1987).

Como resultado de la división de la microcuenca JH se obtuvieron 12 unidades de escurrimiento, a las cuales se les dieron los siguientes nombres de acuerdo a las localidades más cercanas a cada una de ellas: Lomas de la Cruz, El Zapote 1, San Francisco, Cerro Colorado, Joaquín Herrera, Arroyo Blanco, Cerro Buenavista, El Capulín, La Purísima de la Cueva, Lourdes, La Cueva 1 y 2. Esta división permitió tener un mayor detalle de análisis, con lo que se llegará a identificar en la etapa de diagnóstico descrita en párrafos posteriores, mediante la sobreposición de características morfométricas e hidráulicas, las zonas más propensas a sufrir una

alternación, y por consecuencia incidencia de riesgos por eventos extremos como lo son las inundaciones y avenidas torrenciales.

El mapa 5 presenta la división de la microcuenca Joaquín Herrera, en donde se aprecia la subdivisión de esta así como la red hidrográfica de las mismas que fueron empleadas para el desarrollo de este estudio.



Mapa 5. División de la microcuenca Joaquín Herrera.

8.2.1 Morfometría

Una de las herramientas más importantes en el análisis hídrico, es la morfometría de cuencas. Ésta, permite establecer parámetros de evaluación del comportamiento morfodinámico e hidrológico del sistema, así como analizar y comprender los

elementos geométricos básicos del mismo, que ante la presencia de externalidades como las precipitaciones extremas, interactúan para originar y/o activar procesos geomorfológicos de vertientes y avenidas torrenciales (Méndez y Marcucci, 2006).

La morfología de una cuenca queda definida con relación a la interacción de los tres elementos básicos que la definen y describen: *forma, relieve y red de drenaje*. Para la determinación de los parámetros morfométricos, se utilizó el software ArcView 3.2 y la extensión para el análisis geomorfológico de cuencas *DetermHidro* (Valtierra, 2007).

Como base topográfica se utilizaron curvas de nivel con cotas de 10 m, obtenidas de la carta topográfica F14C65 y F14C75 de INEGI. En función de estas capas se generó un Modelo Digital de Elevación (MDE), el cuál se utilizó para modelar los flujos de agua y para determinar la red de drenaje de la microcuenca (INEGI, 1976).

A continuación se describen los distintos parámetros estimados para este estudio, así como los valores de estos para la microcuenca JH.

a) Parámetros de forma

Las características físicas de forma son las que condicionan el tiempo de respuesta de la cuenca a través de la red de drenaje; éstas están dadas por el área de drenaje, factor de forma, perímetro, coeficiente de compacidad, relación de elongación, en la tabla siguiente se muestran los valores de los parámetros así como su clasificación correspondiente.

Tabla 6. Parámetros de forma de la microcuenca Joaquín Herrera.

| CONCEPTO | VALOR | UNIDAD | CLASIFICACIÓN | AUTOR |
|---------------------------|-------|-----------------|----------------------------------|-----------------|
| Área | 27.79 | km ² | Muy pequeña | Campos - 1987 |
| Perímetro | 26.40 | km | Muy pequeña | Campos - 1987- |
| Longitud de la cuenca | 6.87 | km | Muy pequeña | Campos - 1987- |
| Factor de forma | 0.88 | adim | Cuenca de tipo oval | Horton - 1945 |
| Coeficiente de compacidad | 1.41 | adim | Clase III – Rectangular/ Oblonga | Campos - 1987 |
| Relación de elongación | 0.86 | adim | Cuenca de tipo Oval | González - 2004 |

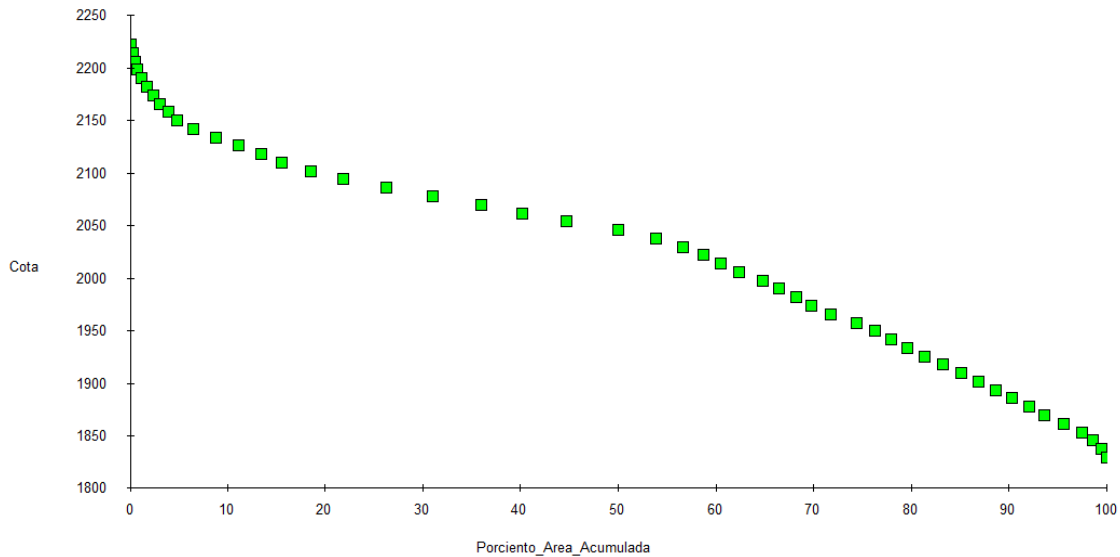
b) Parámetros de relieve

A mayor pendiente, corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes del cauce principal, (Campos, 1987)

Algunos parámetros que destacan son:

- Curva hipsométrica, se define como la representación gráfica del relieve promedio de la cuenca, construida llevando en el eje de las abscisas, longitudes proporcionales a las superficies proyectadas en la cuenca, en km² o en porcentaje, comprendidas entre curvas de nivel consecutivas hasta alcanzar la superficie total, llevando al eje de las ordenadas la cota de las curvas de nivel consideradas.

- Altura o elevación media, tiene importancia principalmente en zonas montañosas donde influye en el escurrimiento y en otros elementos que también afectan el régimen hidrológico, como el tipo de precipitación, la temperatura, etc. También refleja el equilibrio de la cuenca y la identifica en sus etapas de A) juventud, B) madurez y C) vejez (Senciales y Ferre, 1992). Los datos y la gráfica de la curva hipsométrica se presentan a continuación:



Gráfica 2 .Curva Hipsométrica

De acuerdo a la forma obtenida de la gráfica, se puede observar que el tipo de cuenca indica una clara tendencia hacia la etapa B o de madurez, en donde se puede interpretar que la cuenca se encuentra en un proceso de reducción de la erosión debida al tránsito de las escorrentías superficiales.

- Pendiente media: es uno de los principales parámetros que caracteriza el relieve de la misma y permite hacer comparaciones entre cuencas para observar fenómenos erosivos que se manifiestan en la superficie debidos a la velocidad de tránsito en el relieve de la misma. El valor de la pendiente media en la microcuenca Joaquín Herrera es de 14.79%, que indica una inclinación promedio

del relieve moderadamente accidentado (Campos, 1987), que propicia potencialmente la erosión del suelo circundante.

c) *Parámetros de la red de drenaje*

Según Llamas (1993), la red de drenaje es el arreglo de los canales que conducen las corrientes de agua dentro de la cuenca integrada por un río principal y una serie de tributarios cuyas ramificaciones se extienden hacia las partes más altas de la misma. Estos parámetros dan una idea de la capacidad de desalojo de los caudales captados en la cuenca y la morfología del cauce principal. Algunos de los parámetros que se describirán son:

- *Índices de Horton*: la idea de Horton de cuantificar las propiedades geomorfológicas de una cuenca lo llevó a deducir ciertas relaciones que se conocen como los números o índices de Horton. Los índices principales son:

Tabla 7. Parámetros de la red de drenaje de la microcuenca Joaquín Herrera.

| CONCEPTO | VALOR | CLASIFICACIÓN | AUTOR |
|--------------------------------|-------|---|------------------|
| Orden de corrientes | 4.00 | Cuarto orden | Horton - 1945 |
| Relación de Bifurcación | 2.80 | Correspondencia entre órdenes de 1:2.80 | Horton -1945 |
| Densidad de Drenaje | 4.19 | Red de drenaje eficiente | Hernández - 2006 |
| Coefficiente de Torrencialidad | 4.20 | Velocidad de evacuación alta | Horton - 1945 |

- *Pendiente media del cauce*: indica la pendiente media del río o cauce principal y su potencial para erosionar, íntimamente relacionado con la edad de la cuenca. Para su determinación se hace uso de:

Tabla 8. Indicadores de Pendiente de la microcuenca Joaquín Herrera.

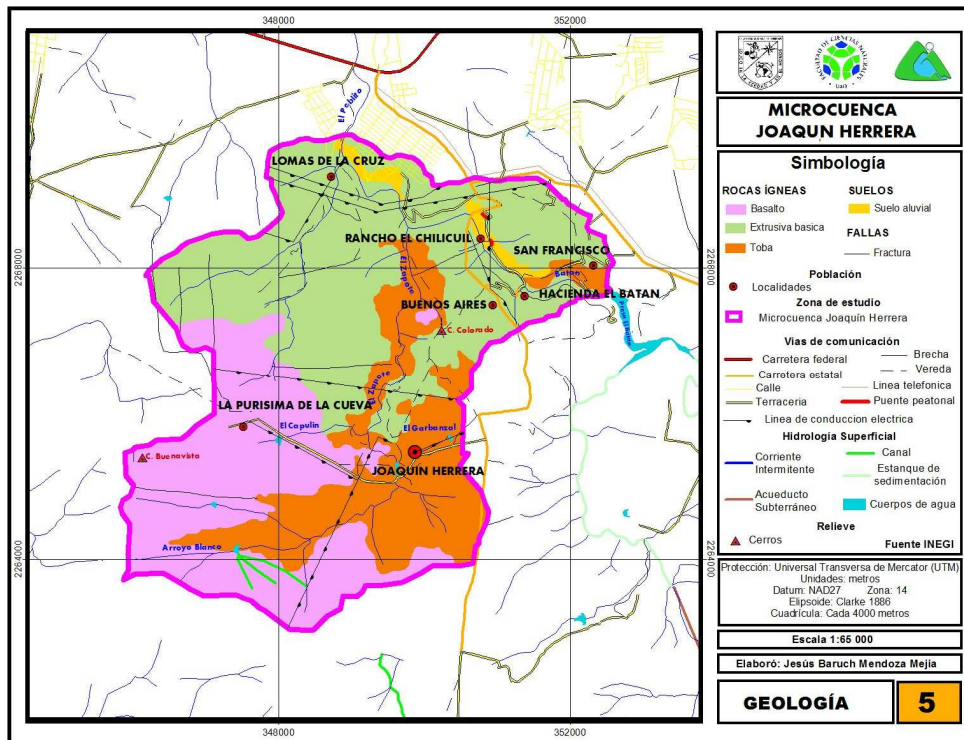
| CONCEPTO | VALOR | UNIDAD |
|------------------------------|---------|--------|
| Pendiente media | 14.79 | % |
| Elevación mínima | 1827.00 | msnm |
| Elevación máxima | 2220.00 | msnm |
| Elevación media | 2028.42 | msnm |
| Longitud del cauce principal | 10.80 | km |

- *Tiempo de concentración*: es el tiempo que tarda en llegar una gota de agua de lluvia desde el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca a la sección de salida. El valor obtenido para la microcuenca de Joaquín Herrera es de 52 minutos.

8.3 Caracterización geológica

El Estudio Geológico regional de la microcuenca Joaquín Herrera comprendió la recopilación de información existente y cartografía geológica, producto de recorridos de campo, fundamentalmente en los arroyos identificados como de mayor impacto, que permitió verificar algunos contactos geológicos. Como resultado se obtuvo un plano geológico regional, escala 1/50,000, con la identificación de formaciones y unidades geológicas de orígenes ígneo.

Con el estudio anterior se logro determinar que la microcuenca está constituida por materiales ígneos (98%), producto de una actividad volcánica reciente del Cenozoico (Mapa 6).



Mapa 6. Geología de la microcuenca Joaquín Herrera.

La distribución generalizada de tobas y indica su deposición por eventos de grandes dimensiones que afectaron un área vasta, quizá relacionada con la explosión volcánica de la Caldera de Amealco, al sur de Huimilpan.

- a) *Tobas Brechoides*: son capas horizontales de 2 a 5 m de espesor constituidas por fragmentos angulosos de basalto gris negro poroso y/o vesicular de diferentes tamaños, en una matriz tobácea arenosa café pardo de estructura compacta de aspecto terroso en algunos casos. Tiene la peculiaridad de verse como arañadas o con muchos surcos en la dirección del escurrimiento de las corrientes pluviales.
- b) *Tobas Limo Arenosas*: se encuentran los depósitos tobáceos propiamente dichos, constituidos por limos arenosos café claro a oscuro, amarillentos en estratos horizontales de diferentes espesores, que forman grandes planicies fácilmente erosionables. Su potencia es mucho mayor en la parte oriental que hacia la parte sur en donde alcanza de 1 a 3 m de espesor (INEGI, 1976).
- c) *Basalto*: es la unidad que conjuntamente con los depósitos aluviales conforman la mayor parte de los afloramientos presentes en la zona de estudio; Se han clasificado como basalto de olivino negro, con texturas afanítica, holocristalina, microlítica, glomero-porfídica e intergranular muy denso y pesado, aunque también se interdigita y confunde con las series volcánicas calcoalcalinas anteriores, como sucede con la unidad de andesita alterada en donde no se aprecia una diferencia definida en forma clara.
- d) *Suelos aluviales*: una parte del tramo del río son depósitos aluviales del terciario, se ha transformado en abanicos aluviales y como relleno de valles fluviales equivalente al 2% de la microcuenca, terminando en el municipio de

Querétaro como un gran planicie combinado con elevaciones de poca altura de origen volcánico.

En la No.9 se muestra la superficie que abarca cada unidad de suelo litológica y su correspondencia en porcentaje para la microcuenca JH.

Tabla 9. Cobertura de las unidades litológicas principales en la Microcuenca JH.

| TIPO DE SUELO | SUPERFICIE EN (HA) | PORCENTAJE EN LA MICROCUENCA |
|----------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Basalto | 846 | 30% |
| Extrusiva básica | 1242 | 45% |
| Suelo aluvial | 47 | 2% |
| Toba | 644 | 23% |
| | 2779 | 100 |

La explicación anterior indica que difícilmente se puede lograr una delimitación de riesgo geológico potencial confiable, por el nivel de estudio de que se trata y por la forma en que están distribuidos los diferentes tipos de litología. Sin embargo, se define una clasificación que deberá ser ponderada de bajo impacto, dentro de la integración de variables que intervienen en el análisis de la cuenca.

La clasificación determinada es:

| UNIDAD LITOLÓGICA | CLAVE | DESCRIPCIÓN Y MATERIALES QUE APORTA | CLASIFICACIÓN RIESGO (POTENCIAL) |
|-------------------------|-------|---|----------------------------------|
| Suelos Aluviales | Qal | Porción baja fundamentalmente, con mayor estabilidad, arenas y gravas | 2 |
| <i>Tobas Brechoides</i> | Ts | Son capas horizontales de 2 a 5 m de espesor constituidas por fragmentos angulosos de basalto gris negro poroso y/o vesicular de diferentes tamaños | 7 |
| Tobas Limo Arenosas | Ts | limos arenosos café claro a oscuro, amarillentos en estratos horizontales de diferentes espesores, que forman grandes planicies fácilmente erosionables. | 7 |
| Basalto | | basalto negro de textura afanítica de fracturamiento algunas veces oxidados con tonalidades cafés, presenta peculiarmente un fracturamiento secundario por efectos de descompresión tensional, produciendo un lajeamiento en diferentes direcciones | 5 |

8.4 Diagnóstico de la zona de estudio

A partir de la caracterización de la cuenca, se elaboró el presente, diagnóstico, con base en los indicadores de: pérdida de suelo, tiempo de concentración, pendiente media, factor de forma y geología. Posteriormente se aplicó el método de análisis jerárquico (A.H.P) y se analizaron los indicadores descritos en el párrafo anterior, para tener con ello en forma cuantitativa, una visión más exacta y precisa del estado actual de la cuenca JH en cuanto a la ubicación de unidades de escurriendo que presentan una alta incidencia de efectos de alto riesgo y que directamente afectan a la infraestructura de las zonas urbanas localizadas en la parte baja de la cuenca.

Los estudios desarrollados en el campo Hidrológico, han demostrado claramente el estrecho reporte entre los fenómenos hidrológicos e hidráulicos que se presentan en una cuenca y los elementos morfométricos que la caracterizan: en efecto la formación de un caudal de salida puede ligarse a la estructura morfométrica de la retícula (Talamantes y Gurría, 2006).

Los parámetros o coeficientes más significativos de una cuenca relativos a sus características morfométricas, incluyendo el factor geológico se presentan a continuación:

8.4.1 Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS) para obtener el factor de erosión en la Microcuenca JH.

Este método fue desarrollado por Wischmeyer y Smith (1978), es uno de los cálculos más utilizados para evaluar la erosión, ya que considera los diferentes factores que influyen en el proceso dentro de una cuenca hidrográfica. La aplicación de la ecuación EUPS en este proyecto tiene por objeto dar a los técnicos en conservación de suelos la posibilidad de elegir combinaciones de usos de la tierra y prácticas de

conservación que deben elegirse al intentar dar solución al problema, y de esta manera llegar a un punto en el que se mantenga la pérdida de suelo a un nivel aceptable.

La EUPS puede utilizarse como una ecuación matemática que puede resolverse para uno de los datos, por ejemplo, midiendo la pérdida de suelo, calculando todos los factores excepto K y resolviendo luego la ecuación para K.

La intensidad se entiende como la pérdida de suelo (A) expresada en toneladas por hectárea por año de la erosión hídrica. El grado de erosión está en función de seis factores principales reflejados en la ecuación USLE.

$$\text{Intensidad} = A = f(R, K, L, S, C, P)$$

Donde:

A = Pérdida de suelo

R = Erosividad de la lluvia

K = Erosionabilidad del suelo

LS = Longitud y gradiente de la pendiente

C = Cobertura vegetal

P = Prácticas mecánicas de conservación

a) Factor de erosividad de la lluvia (R)

El factor de erosividad de la lluvia se obtuvo con ayuda del mapa de regionalización de la República Mexicana, desarrollado por Cortés (1991), el cual se puede observar en la figura 3.5. Este mapa está dividido en catorce regiones que fueron definidas usando métodos estadísticos multivariados. El área de estudio queda dentro de la región IV. Para esta región, la ecuación asignada para estimar el del factor R, en función de la precipitación media anual, es la siguiente:

$$R = 1.2078 P + 0.002276 P^2$$

Donde:

R Factor de erosividad, (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹)

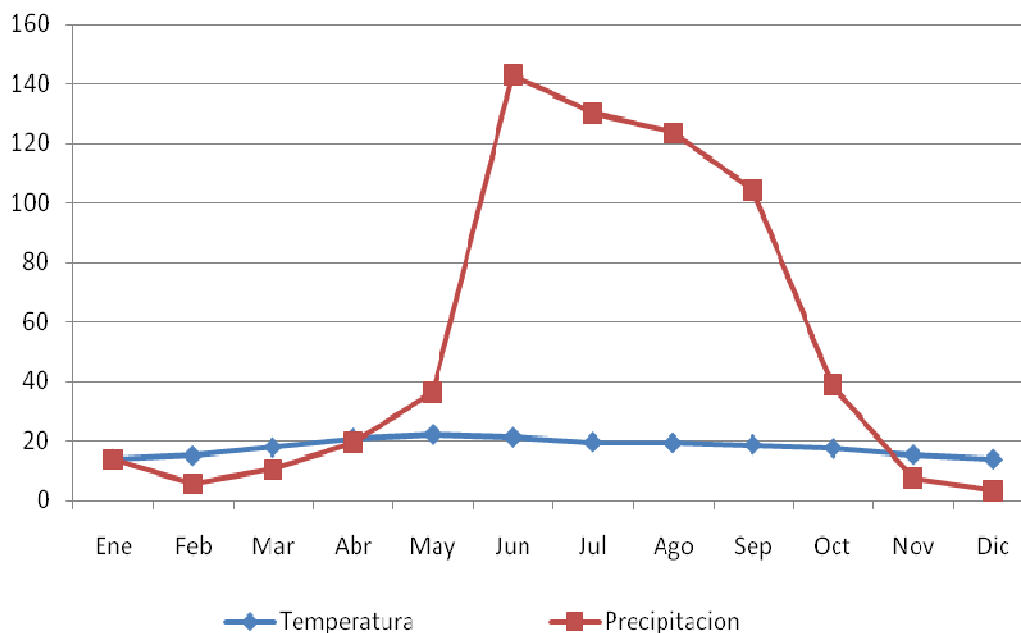
P Precipitación media anual, en mm

Para cada uno de los valores anuales de precipitación registrados en un periodo de 39 años en la Estación "El Batan ", se aplicó la ecuación anterior, observándose una distribución del factor *R* de acuerdo con la Grafica 3. El valor promedio para todo el período de registro fue de 653.6 mm., y se utilizó de manera uniforme para toda la microcuenca, en virtud de que no existe otra estación cercana que permita obtener su variación espacial.

Tabla 10. Distribución media mensual de precipitación en mm (periodo 1961-2000).

| Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Promedio |
|------|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|----------|
| 13.7 | 5.4 | 10.5 | 19.4 | 36.3 | 142.9 | 130.1 | 123.4 | 104.2 | 38.8 | 7.6 | 3.3 | 635.6 |

Fuente: Estación climatológica El Batan y programa ERIC2 (Anexos).

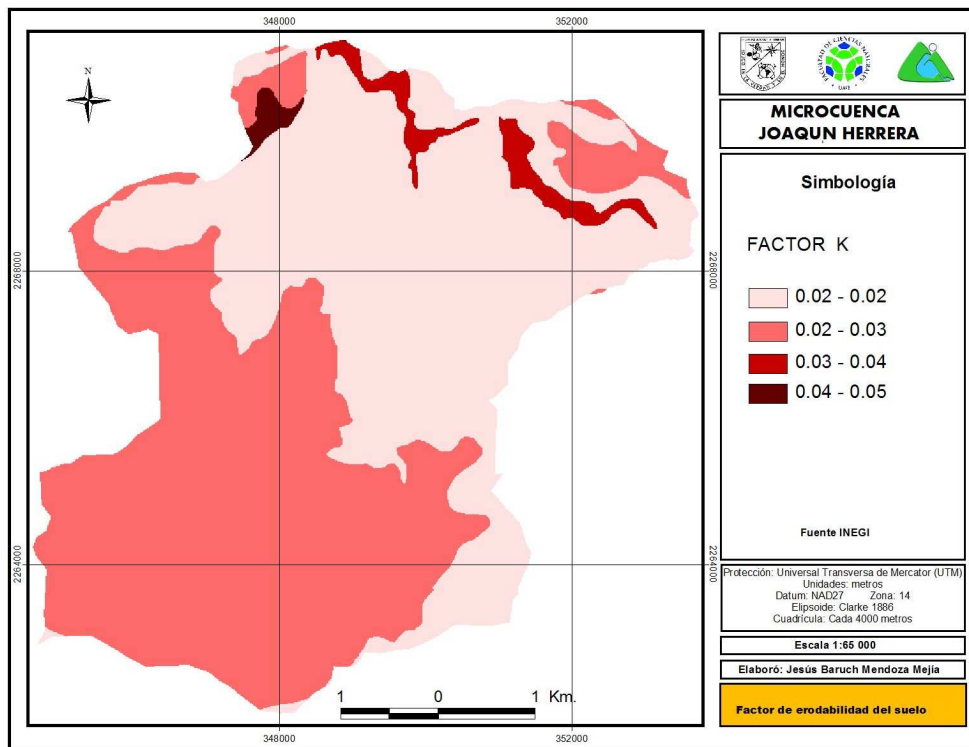


Grafica 3. Distribución de del factor R en la microcuenca Joaquín Herrera.

b) *Factor de erodabilidad del suelo (K)*

Debido a la falta de información para la evaluación del factor κ en su forma original se utilizó en forma alternativa la metodología de la (FAO,1980) , la cual asigna valores tabulados a los tipos de suelo de acuerdo a la clasificación FAO-UNESCO en base a la textura superficial. Los tipos de suelo fueron obtenidos de las cartas edafológicas de INEGI escala 1/50.000 y después corroborados en un recorrido de campo.

Prácticamente no existen diferencias en la susceptibilidad de los principales tipos de suelo observados. El mapa de la microcuenca con la distribución espacial del factor K se muestra a continuación.



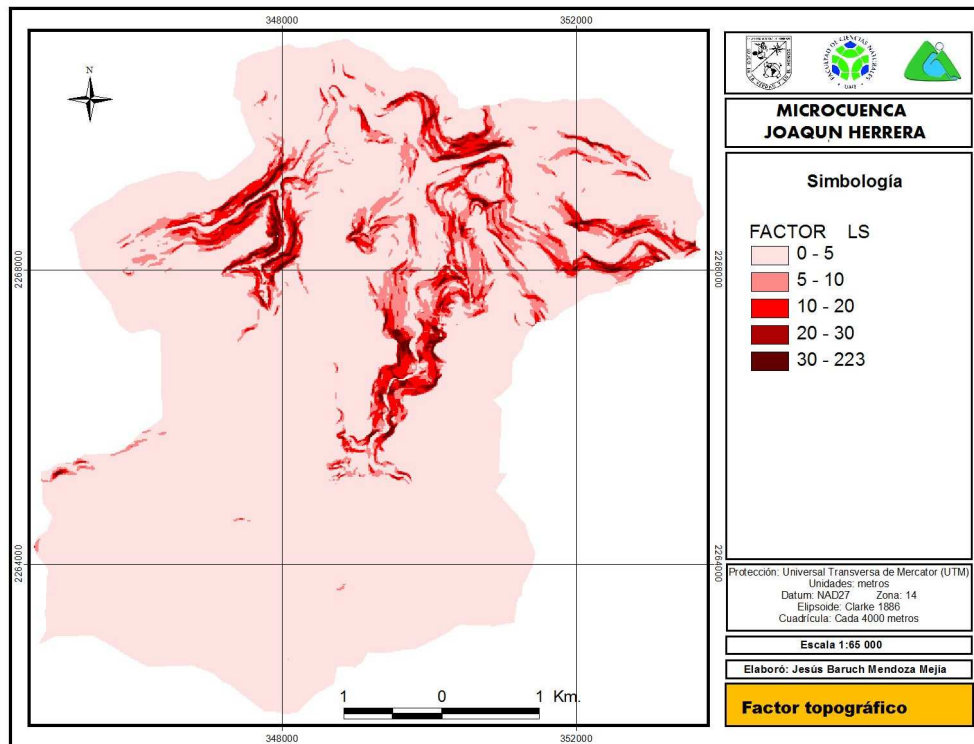
Mapa 7. Factor de erodabilidad en la microcuenca JH.

c) Factor topográfico (LS)

El factor topográfico está compuesto por el factor longitud (L) y el factor grado de pendiente (S) y se determinaron utilizando la longitud horizontal y el porcentaje de pendiente.

Las longitudes y desniveles para calcular las pendientes fueron obtenidos de cartas topográficas escala 1/50,000 (INEGI, 1976), definiendo longitudes de pendiente representativas para áreas de pendiente homogéneas identificadas en las cartas y verificadas en campo.

Los valores obtenidos, que varían desde 2.37 hasta 45.54, significan la proporción en que la erosión aumenta o disminuye por efecto de la topografía. En forma gráfica, la distribución del factor topográfico se observa en el siguiente mapa:



Mapa 8. Factor topográfico en la microcuenca JH.

d) Factor de Cobertura Vegetal (C)

Los valores de este factor se asignaron de acuerdo al tipo de vegetación y al tipo de cultivo presentes en el sitio de estudio. El tipo de vegetación se identificó mediante un recorrido de campo durante el mes de agosto del 2008.

Los valores del factor C asignados, de acuerdo con el tipo de vegetación identificado según el mapa de vegetación, variaron de 0.065 hasta 1.0, según se indica en la siguiente tabla.

Tabla 11. Valores asignados al coeficiente de vegetación y tipo de cultivo. (USDA, 1981)

| Tipo de vegetación o cultivo | Valores |
|-------------------------------------|----------------|
| Vegetación y uso de suelo | C |
| Agricultura temporal permanente | 0.528 |
| Bosque de galería | 0.315 |
| Erosión hídrica moderada | 1.000 |
| Matorral subinermes | 0.065 |
| Pastizal inducido | 0.549 |
| Vegetación secundaria | 0.065 |

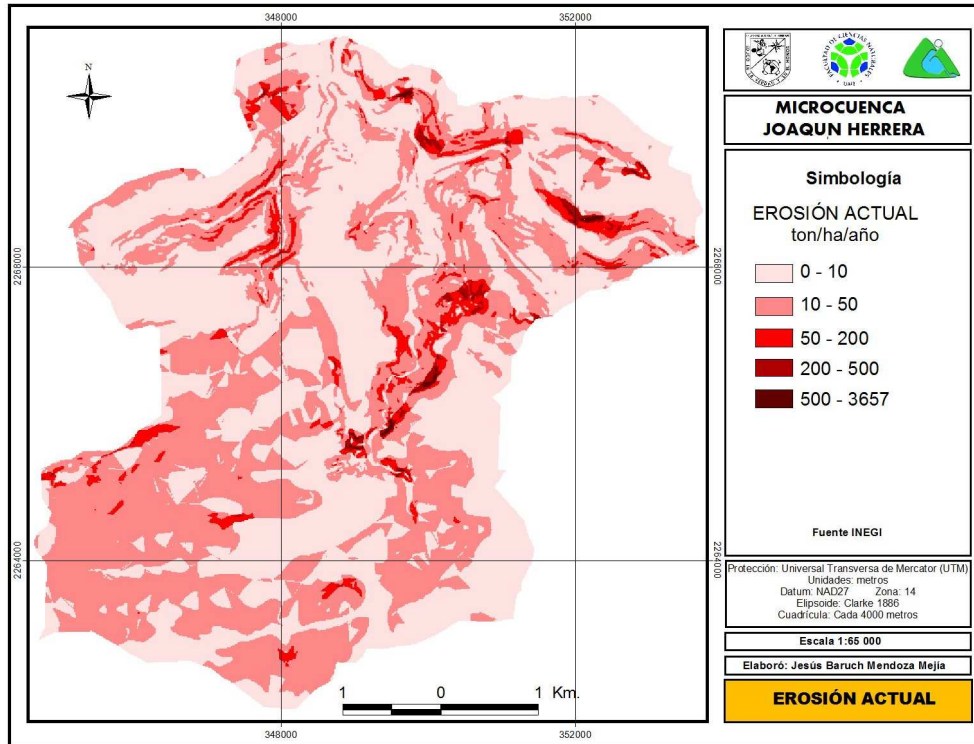
e) Factor de práctica de control (P)

Este factor cuantifica el efecto de las prácticas de conservación, como pueden ser terrazas, cultivo al contorno, etc. Se asume que en el área no existe ninguna práctica y por lo tanto el valor del factor *P* es unitario.

f) *Erosión actual (RKLSCP)*

Una vez obtenido un mapa con la distribución espacial de cada uno de los factores, éstos se multiplican en sus áreas correspondientes y se obtiene el mapa de erosión actual de la cuenca. En este estudio, los mapas de cada factor fueron generados en AutoCad y luego sobrepuestos usando el mismo software. En las áreas sobrepuestas resultantes se procedió a realizar la multiplicación identificando cada una de las áreas y realizando la operación en Excel.

La tasa de erosión actual predicha para la microcuenca se clasificó en seis clases, que pueden observarse en la siguiente tabla. Los valores fluctuaron desde las 0.10 ton.ha-1.año-1 hasta valores mayores de 500 ton.ha-1.año-1 (Mapa 9). A partir de este mapa se obtuvo la tasa de erosión ponderada para toda la cuenca, que se ubicó en valor de 245 ton.ha-1.año-1.



Mapa 9. Tasas de erosión actual en la microcuenca JH.

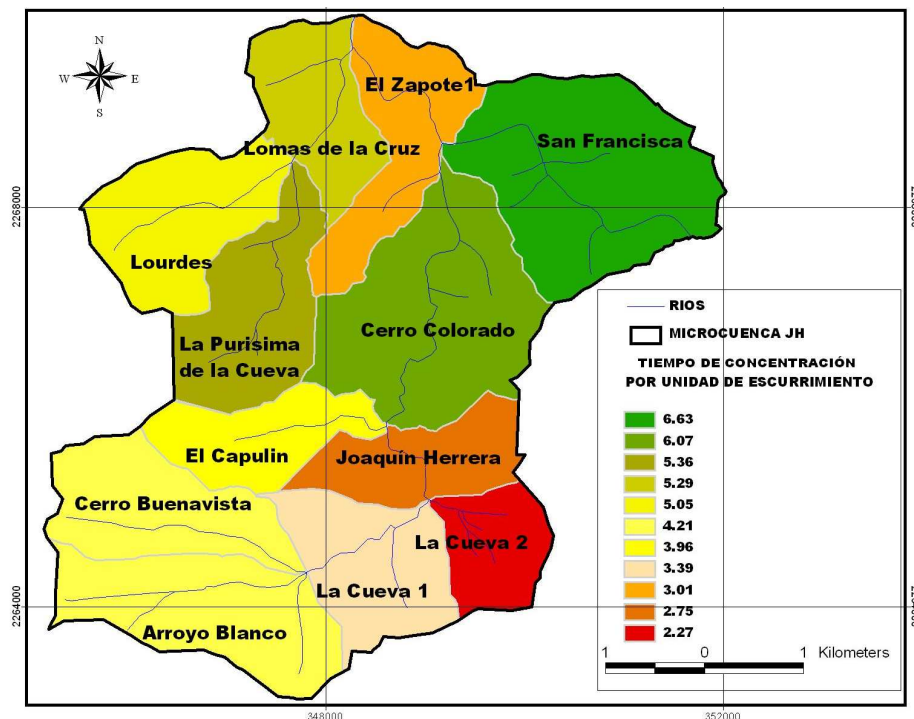
Si suponemos que la tasa de erosión es válida para toda la cuenca y todos los sedimentos alcanzan la salida, la producción total de sedimentos, realizando el producto de la tasa de erosión por el área total de la microcuenca y dividiéndola por un peso específico de 2.65 ton/m³, se obtiene un volumen de 43 037 M³ /año (Vea tabla 12).

Tabla 12. Rangos de tasas de erosión

| Rangos de Erosión (ton/ha/año) | Porcentaje de área nivel de (ton/ha/año) (%) | Nivel de Erosión |
|--------------------------------|--|------------------|
| 0-10 | 45 | Erosión Ligera |
| 10 a 50 | 41 | Erosión Moderada |
| 50-200 | 7 | Erosión Alta |
| 200-500 | 4 | Erosión Muy Alta |
| mayores 500 | 4 | Erosión Extrema |
| | 100 | |

8.4.2 Tiempo de concentración

En la tabla 13 y en el mapa 9 se muestra el comportamiento del tiempo de concentración por microcuenca analizada a partir del análisis jerárquico establecido, observándose en esta el promedio del tiempo de respuesta de la cuenca es alrededor de 52 minutos.



Mapa 10. Clasificación del tiempo de concentración por unidades de escurrimiento.

La tabla 13 se presenta un análisis de este indicador en donde se muestra el área total afectada y su incidencia por cada unidad de escurrimiento.

Tabla 13 Clasificación por factor tiempo de concentración, vulnerabilidad y área afectada.

| VALOR | NOMBRE DE LA UNIDAD DE ESCURRIMIENTO | TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (MIN) | VULNERABILIDAD POR UNIDAD DE ESCURRIMIENTO (BAJA, MEDIA O ALTA) | AREA TOTAL (Ha) |
|-------|--------------------------------------|-------------------------------|---|-----------------|
| 1 | Arroyo Blanco | 4.21 | MEDIA | 266.54 |
| 2 | Cerro Buenavista | 4.21 | MEDIA | 196.38 |
| 3 | Cerro Colorado | 6.07 | BAJA | 395.46 |
| 4 | El Capulín | 3.96 | ALTA | 142.27 |
| 5 | El Zapote1 | 3.01 | ALTA | 185.93 |
| 6 | Joaquín Herrera | 2.75 | ALTA | 157.77 |
| 7 | La Cueva 1 | 3.39 | ALTA | 204.71 |
| 8 | La Cueva 2 | 2.27 | ALTA | 112.79 |
| 9 | La Purísima de la Cueva | 5.36 | MEDIA | 236.67 |
| 10 | Lomas de la Cruz | 5.29 | MEDIA | 156.90 |
| 11 | Lourdes | 5.05 | MEDIA | 190.49 |
| 12 | San Francisco | 6.63 | BAJA | 371.87 |

8.4.3 Factor de forma

Este índice morfométrico se debe a Gravelius, y es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que la cuenca. El coeficiente será mayor que 1, tendiendo a la unidad cuando la cuenca se aproxima a la forma circular, y alcanzando valores próximos a 3 en cuencas muy alargadas.

Este se obtuvo tomando el perímetro y el área de cada unidad de escurrimiento empleando para ello la siguiente ecuación:

$$\text{factor de forma } X = \left(\frac{\text{perímetro de la microcuenca } X}{\sqrt{\text{área de la microcuenca } X}} \right) * 0.28$$

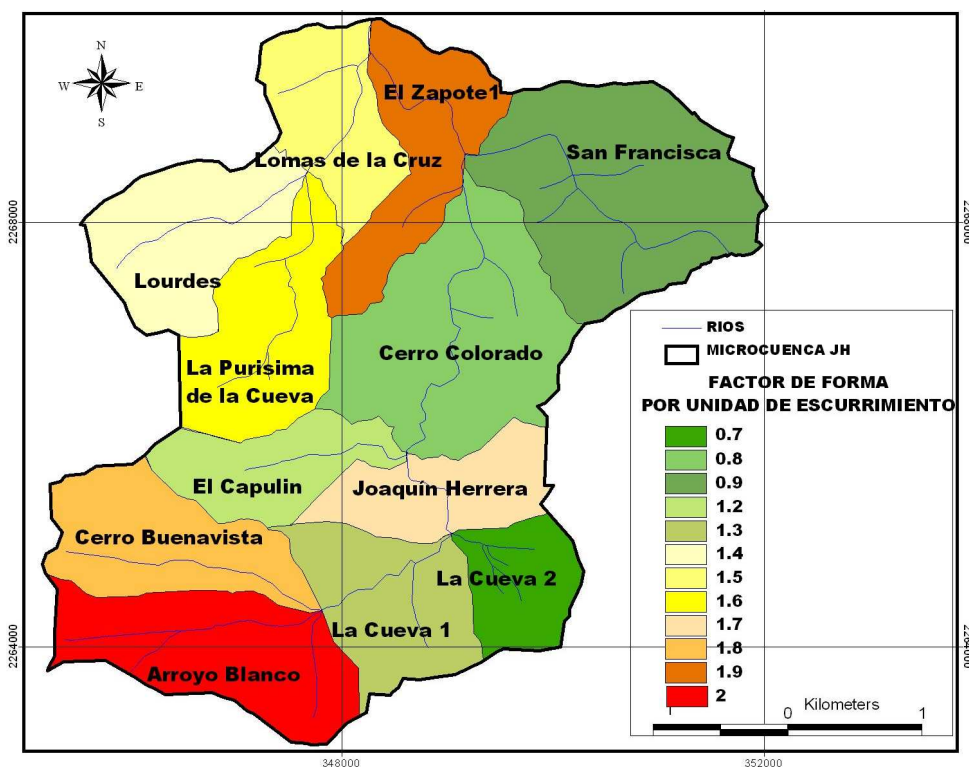
A través de su aplicación se expresa de alguna manera la tendencia de la cuenca cauces alargados y con gran presencia de zonas encañonadas.

En la tabla 14 se presenta un análisis de este indicador en cuanto el porcentaje de área afectada y su vulnerabilidad por cada unidad de escurrimiento.

Tabla 14. Clasificación por valor del factor de forma, vulnerabilidad y área afectada.

| VALOR | NOMBRE DE LA UNIDAD DE ESCURRIMIENTO | FACTOR DE FORMA | VULNERABILIDAD POR UNIDAD DE ESCURRIMIENTO (BAJA, MEDIA O ALTA) | AREA TOTAL (Ha) | PORCENTAJE EN LA MICROCUENCA |
|-------|--------------------------------------|-----------------|---|-----------------|------------------------------|
| 1 | Arroyo Blanco | 1.8 | ALTA | 266.54 | 10.1 |
| 2 | Cerro Buenavista | 1.4 | MEDIA | 196.38 | 7.5 |
| 3 | Cerro Colorado | 0.8 | ALTA | 395.46 | 15.1 |
| 4 | El Capulín | 1.2 | BAJA | 142.27 | 5.4 |
| 5 | El Zapote1 | 1.9 | MEDIA | 185.93 | 7.1 |
| 6 | Joaquín Herrera | 1.7 | BAJA | 157.77 | 6.0 |
| 7 | La Cueva 1 | 1.3 | MEDIA | 204.71 | 7.8 |
| 8 | La Cueva 2 | 0.7 | BAJA | 112.79 | 4.3 |
| 9 | La Purísima de la Cueva | 1.6 | MEDIA | 236.67 | 9.0 |
| 10 | Lomas de la Cruz | 1.5 | BAJA | 156.90 | 5.9 |
| 11 | Lourdes | 1.4 | MEDIA | 190.49 | 7.2 |
| 12 | San Francisco | 0.9 | ALTA | 371.87 | 14.2 |

Con base en lo anterior se obtuvieron los resultados siguientes considerando para ello el proceso de análisis jerárquico que se presenta en la tabla observándose en esta, que existe un 15.1% de la microcuenca JH correspondiente a la unidad de escurrimiento Cerro Colorado con un factor de 0.8, de la misma manera la unidad San Francisco presenta un 14.2%, por otro lado la unidad Arroyo Blanco presentan un 10.1% respectivamente, en el mapa 10 se presenta el análisis realizado y de forma grafica.



Mapa 11. Clasificación del factor de forma por unidad de escurrimiento.

8.4.4 Pendiente media

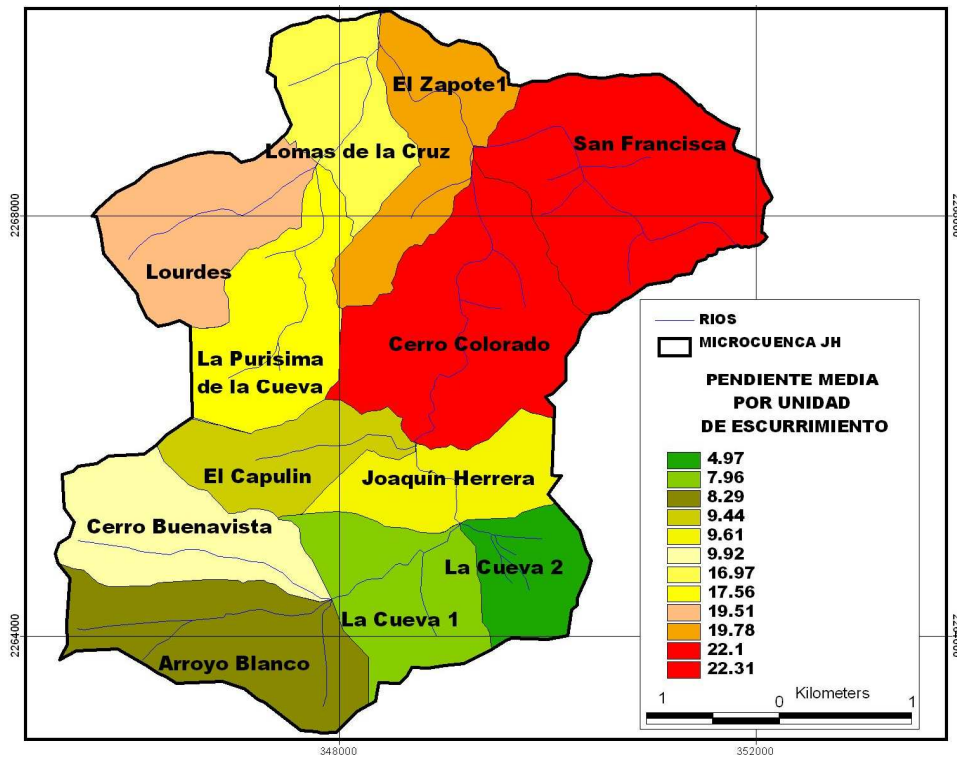
La tabla 15 muestra la distribución de las pendientes por unidad de escurrimiento, considerando el análisis jerárquico descrito con anterioridad, observándose en esta, que existe un 15 % del área de la unidad de escurrimiento Cerro

Colorado con pendientes mayores al 22 %, de la misma manera la unidad San Francisco presenta un 22% y el Zapote1 con un 19%. Por otro lado la unidad de escurrimiento Lourdes y La Purísima de la Cueva presentan un 19% y un 17 % respectivamente. Lo anterior hace que el riesgo de erosión sea alto en caso de que las estas zonas antes mencionadas carezcan de vegetación.

Tabla 15. Clasificación de la pendiente, vulnerabilidad y área afectada.

| VALOR | NOMBRE DE LA UNIDAD DE ESCURRIMIENTO | PENDIENTE MEDIA | VULNERABILIDAD UNIDAD DE ESCURRIMIENTO (BAJA, MEDIA O ALTA) | AREA TOTAL (Ha) | PORCENTAJE EN LA MICROCUENCA |
|-------|--------------------------------------|-----------------|---|-----------------|------------------------------|
| 1 | Arroyo Blanco | 8.29 | BAJA | 266.54 | 10.1 |
| 2 | Cerro Buenavista | 9.92 | MEDIA | 196.38 | 7.5 |
| 3 | Cerro Colorado | 22.31 | ALTA | 395.46 | 15.1 |
| 4 | El Capulín | 9.44 | MEDIA | 142.27 | 5.4 |
| 5 | El Zapote1 | 19.78 | ALTA | 185.93 | 7.1 |
| 6 | Joaquín Herrera | 9.61 | MEDIA | 157.77 | 6.0 |
| 7 | La Cueva 1 | 7.96 | BAJA | 204.71 | 7.8 |
| 8 | La Cueva 2 | 4.97 | BAJA | 112.79 | 4.3 |
| 9 | La Purísima de la Cueva | 17.56 | ALTA | 236.67 | 9.0 |
| 10 | Lomas de la Cruz | 16.97 | MEDIA | 156.90 | 5.9 |
| 11 | Lourdes | 19.51 | ALTA | 190.49 | 7.2 |
| 12 | San Francisco | 22.10 | ALTA | 371.87 | 14.2 |

La tabla anterior presenta un análisis de este indicador en cuanto el porcentaje de área afectada y su clasificación de vulnerabilidad por unidad de escurrimiento, así como el porcentaje correspondiente dentro de la cuenca y en el mapa 12 se presenta el análisis realizado y de forma grafica.



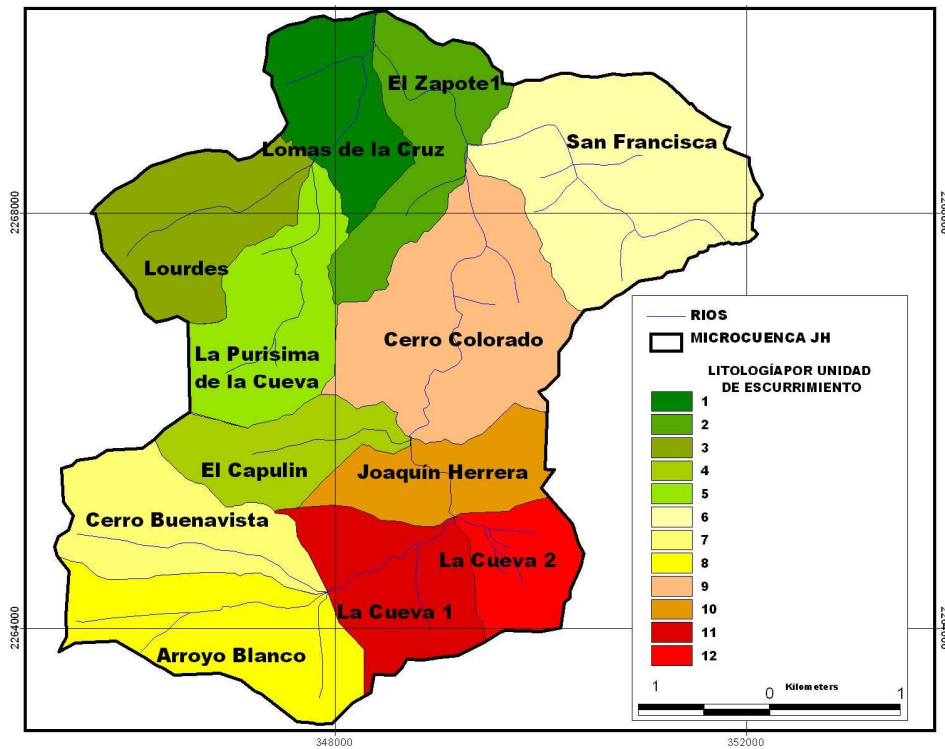
Mapa 12. Clasificación de la pendiente media por unidad de escurrimiento.

8.4.5 Factor geológico

Con base en la aplicación del modelo geológico descrito en el apartado 8.4, se obtuvieron los resultados de las unidades de escurrimiento con un riesgo que se presentan en el mapa 13, considerando para ello el proceso de análisis jerárquico.

En la tabla 16 se observa que existe un 7% del área de la unidad de escurrimiento La Cueva 1 con una vulnerabilidad alta, con la misma clasificación se observan las unidades La Cueva 2 y Joaquín Herrera con un 4% y 6% respectivamente.

Por otro lado las unidades Lomas de la Cruz y El Zapote 1 se clasificaron como regiones de vulnerabilidad baja con un 5.9% y un 7.1% respectivamente, del área total de la microcuenca.



Mapa 13. Clasificación de litología por unidad de escurrimiento.

La tabla 16 presentan un análisis de este indicador en cuanto el porcentaje de área afectada y su vulnerabilidad por cada unidad de escurrimiento.

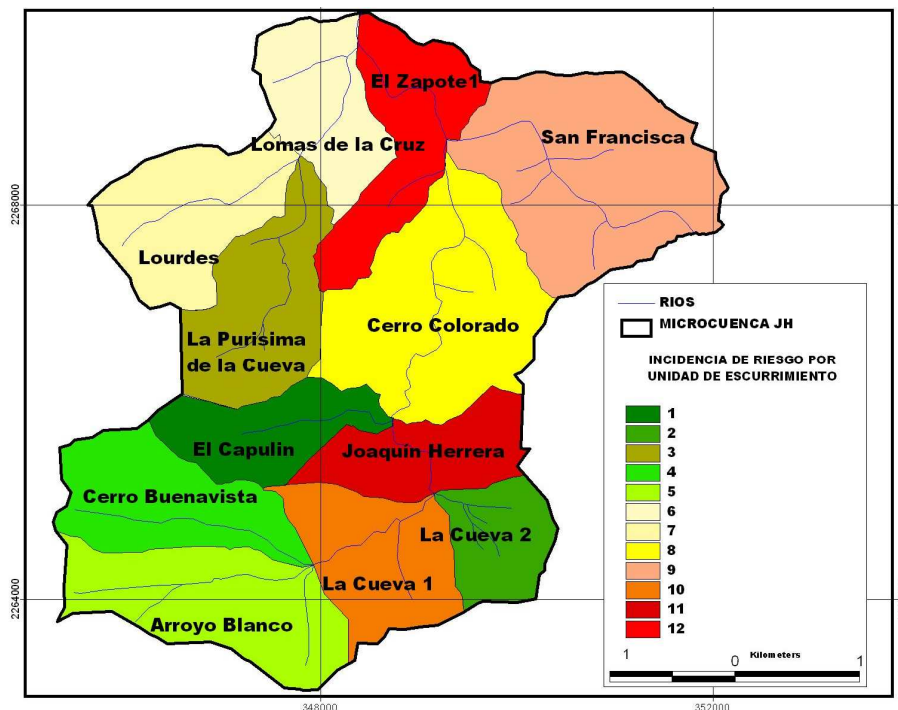
Tabla 16. Clasificación de litología, vulnerabilidad y área afectada.

| VALOR | NOMBRE DE LA UNIDAD DE ESCURRIMIENTO | UNIDAD LITOLÓGICA | VULNERABILIDAD UNIDAD DE ESCURRIMIENTO (BAJA, MEDIA O ALTA) | AREA TOTAL (Ha) | PORCENTAJE EN LA MICROCUENCA |
|-------|--------------------------------------|-------------------|---|-----------------|------------------------------|
| 1 | Arroyo Blanco | 8 | MEDIA | 266.54 | 10.1 |
| 2 | Cerro Buenavista | 6 | MEDIA | 196.38 | 7.5 |
| 3 | Cerro Colorado | 9 | MEDIA | 395.46 | 15.1 |
| 4 | El Capulín | 4 | BAJA | 142.27 | 5.4 |
| 5 | El Zapote1 | 2 | BAJA | 185.93 | 7.1 |
| 6 | Joaquín Herrera | 10 | ALTA | 157.77 | 6.0 |
| 7 | La Cueva 1 | 12 | ALTA | 204.71 | 7.8 |
| 8 | La Cueva 2 | 11 | ALTA | 112.79 | 4.3 |
| 9 | La Purísima de la Cueva | 5 | BAJA | 236.67 | 9.0 |
| 10 | Lomas de la Cruz | 1 | BAJA | 156.90 | 5.9 |
| 11 | Lourdes | 3 | BAJA | 190.49 | 7.2 |
| 12 | San Francisco | 7 | MEDIA | 371.87 | 14.2 |

8.5 Integración de indicadores para determinar el riesgo de incidencia de avenidas torrenciales y por unidad de escurrimiento

Los indicadores de factor de erosión, tiempo de concentración, pendiente media, factor de forma y factor geológico, se clasificaron por el método natural breaks ya descrito anteriormente obteniendo las figuras y tablas anteriores

Los resultados obtenidos por el sistema de información geográfica, a partir del análisis de los resultados de los indicadores, permitió realizar el mapa 14 que se presenta a continuación. Este mapa es la integración de los mapas anteriormente descritos y que con base a los rangos determinados establece un nuevo parámetro a partir de la suma de valores determinados para cada unidad de escurrimiento, que da como resultado un nuevo valor para estas, a partir del cual, tal y como se observa en dicho mapa, los de mayor valor presentan una incidencia de efectos de riesgo, y de las cuales existe una probabilidad de que en ellas se inicie un evento de avenidas extraordinarias.



Mapa 14. Clasificación de Incidencia de riesgo por unidad de escurrimiento.

La tabla 17 presentan un análisis de este indicador en cuanto el porcentaje de área afectada, su incidencia en porcentaje por cada unidad de escurrimiento, el área total y su clasificación para determinado valor.

Tabla 17. Clasificación por valor de la incidencia y área afectada.

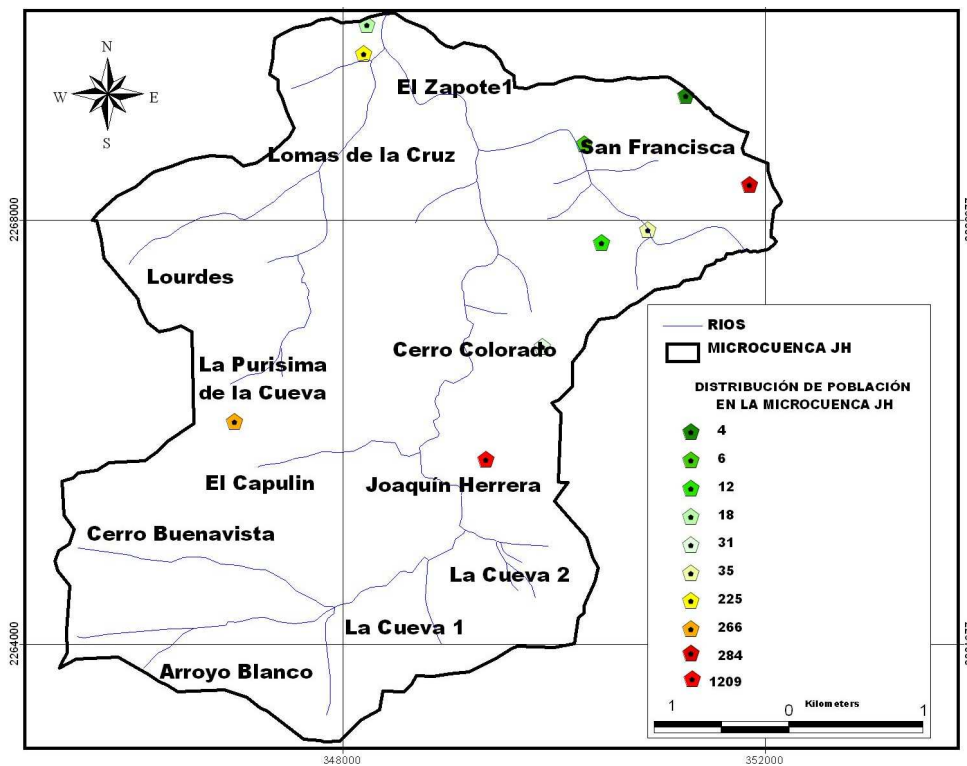
| VALOR | NOMBRE DE LA UNIDAD DE ESCURRIMIENTO | NUEVO VALOR DE CLASIFICACIÓN | CLASIFICACIÓN DE LA INCIDENCIA DE EFECTOS RIESGO (BAJO, MEDIO O ALTO) | AREA TOTAL (Ha) | PORCENTAJE EN LA MICROCUENCA |
|-------|--------------------------------------|------------------------------|---|-----------------|------------------------------|
| 1 | Arroyo Blanco | 5 | MEDIO | 266.54 | 10.1 |
| 2 | Cerro Buenavista | 4 | MEDIO | 196.38 | 7.5 |
| 3 | Cerro Colorado | 8 | ALTO | 395.46 | 15.1 |
| 4 | El Capulín | 1 | BAJO | 142.27 | 5.4 |
| 5 | El Zapote1 | 12 | ALTO | 185.93 | 7.1 |
| 6 | Joaquín Herrera | 11 | ALTO | 157.77 | 6.0 |
| 7 | La Cueva 1 | 10 | ALTO | 204.71 | 7.8 |
| 8 | La Cueva 2 | 2 | BAJO | 112.79 | 4.3 |
| 9 | La Purísima de la Cueva | 3 | MEDIO | 236.67 | 9.0 |
| 10 | Lomas de la Cruz | 6 | BAJO | 156.90 | 5.9 |
| 11 | Lourdes | 7 | MEDIO | 190.49 | 7.2 |
| 12 | San Francisco | 9 | ALTO | 371.87 | 14.2 |

Con base en lo anterior se obtuvieron los resultados siguientes, las unidades de escurrimiento El zapote 1, Joaquín Herrera, La Cueva 1 y San Francisco presentan un valores de 12, 11,10 y 9 respectivamente que se clasificaron como regiones de alto riesgo con un área total de 1315.69 Ha que representa el 52.1% del total de la microcuenca JH.

8.6 Distribución de la población e infraestructura en la microcuenca JH

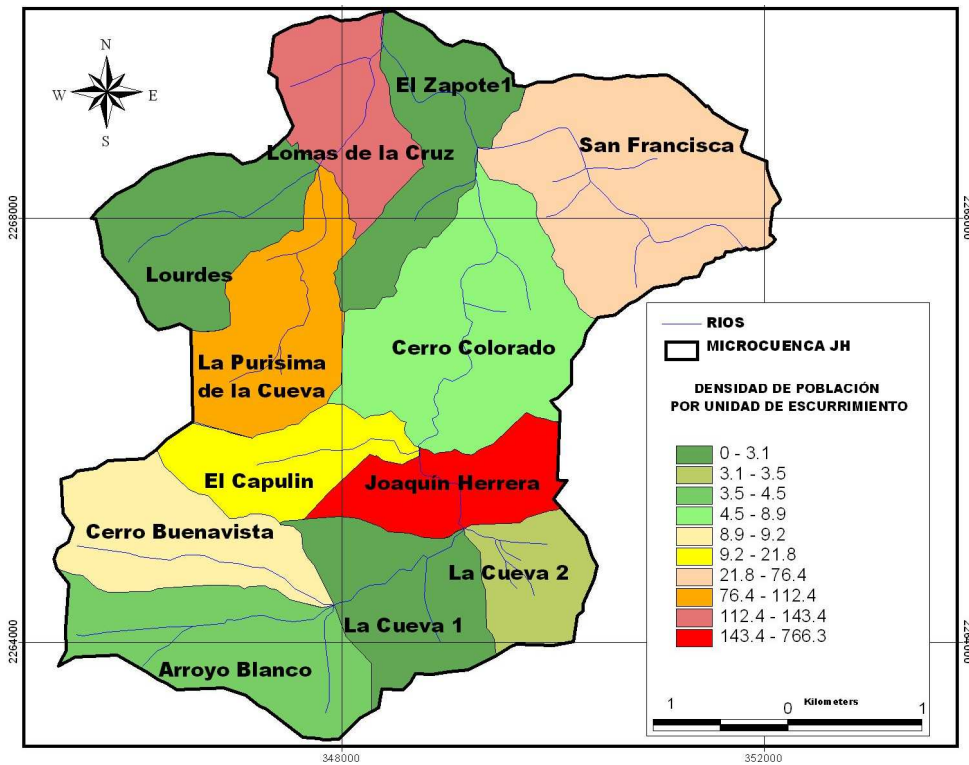
8.6.1 Distribución de la población

La información de la distribución de los habitantes de cada población se presentan en la el mapa 14. Esta información permitió obtener la densidad poblacional existente en cada unidad de escurrimiento de la microcuenca JH.



Mapa 15. Distribución poblacional en la microcuenca JH.

A partir de este mapa se determinó la densidad poblacional (área y población), de cada unidad de escurrimiento y se clasificó a partir del análisis jerárquico establecido. El mapa 15 presenta esta distribución.



Mapa 16. Clasificación de la densidad poblacional unidad de escurrimiento.

8.6.2 Distribución de la infraestructura

Los tipos de infraestructura, obtenidos a partir de un sistema de información geográfica, se clasificaron según su grado de importancia, de tal forma que el valor de mayor peso fue para los puentes y el de menor para las veredas, tal y como se presentan a continuación:

| | |
|--------------------------------|----|
| -Puentes | 10 |
| -Autopista | 9 |
| -Línea de conducción eléctrica | 8 |
| -Canal | 7 |
| -Carretera federal | 6 |
| -Carretera estatal | 5 |
| -Calle | 4 |

| | |
|-------------|---|
| -Terracería | 3 |
| -Brecha | 2 |
| -Veredas | 1 |

Esta clasificación fue con base al riesgo que se pudiera presentar en caso de tener daños por la presencia de una “barrancada”. Estos indicadores representan la infraestructura de la zona de estudio (ver Mapa 17), que permitió hacer las consideraciones siguientes:

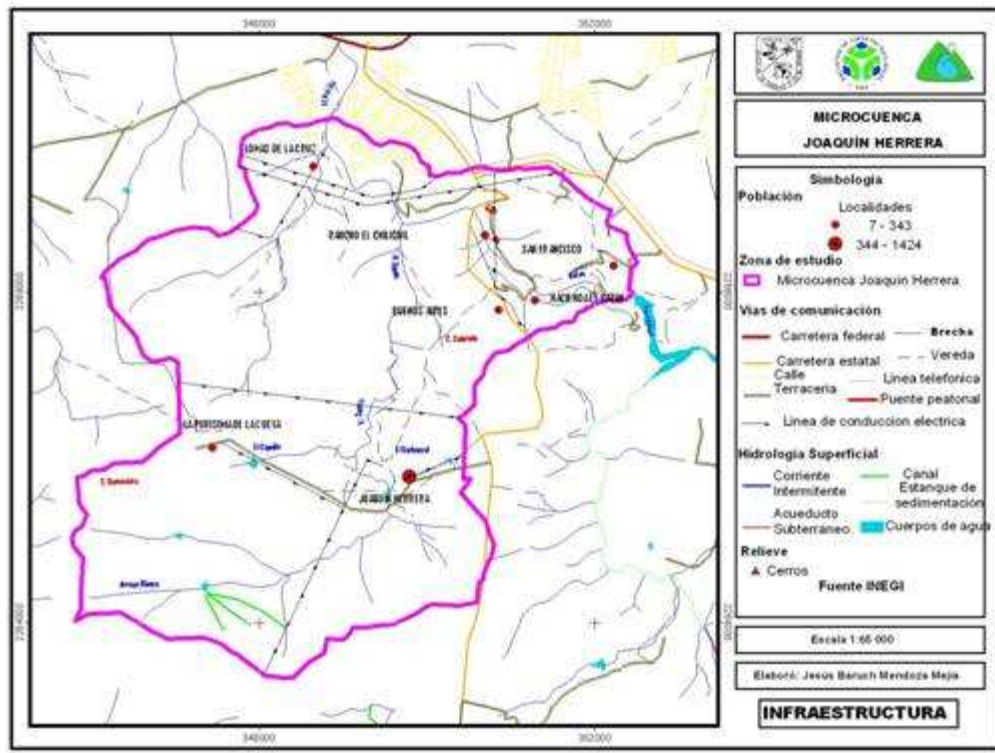
$$Infraestructura_XMicrocuenca_Y = \frac{\sum Long_X_i Microcuenca_Y}{LongTotal_X}$$

Excepto para los puentes, a esto se aplicó la siguiente operación:

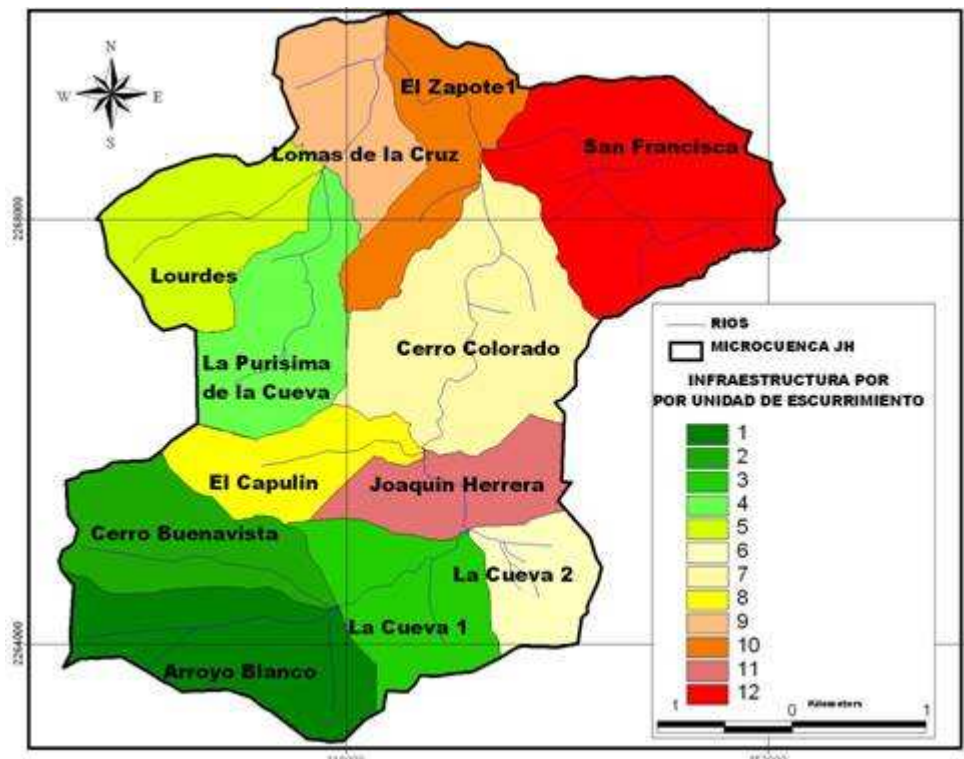
$$PuentesMicrocuenca_X = \frac{\sum PuentesMicrocuenca_X}{TotalPuentes}$$

Con esta ecuación se cuantificó en porcentaje de infraestructura por microcuenca, es decir del total de infraestructura en toda la cuenca se ve que cuenca tiene la mayoría de la infraestructura y su importancia. A continuación se buscó el valor para cada microcuenca para posteriormente clasificarlas con el método de análisis jerárquico y con ello obtener los valores específicos para este parámetro, que se encuentran representados en el mapa 18.

$$Cuenca_Y = \sum Infraestructura_XMicrocuenca_Y * ValorClasificaciónInfraestructura_X$$



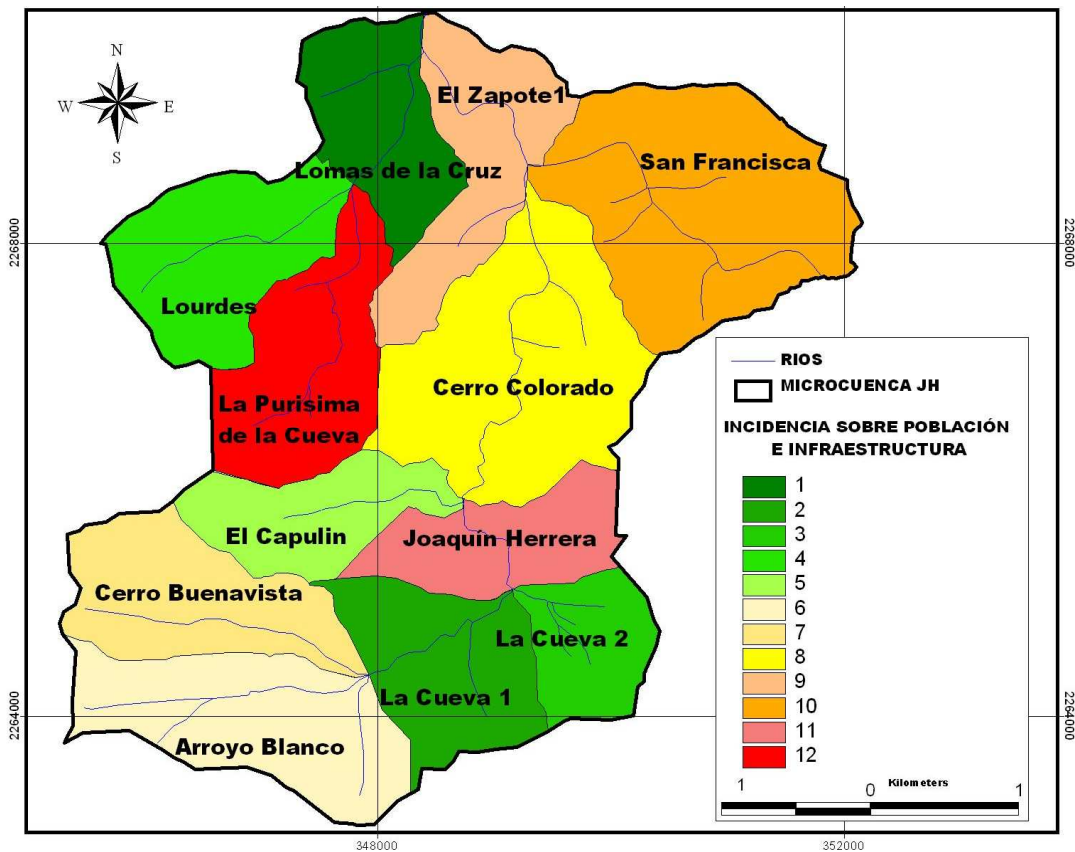
Mapa 17. Infraestructura en la microcuenca Joaquín Herrera



Mapa 18. Clasificación de la infraestructura por unidad de escurrimiento.

8.7 Incidencia sobre población e infraestructura

La sobreposición de los mapas, como los son el de incidencia de efectos riesgo, el mapa de infraestructura y el mapa de densidad de población, permitieron obtener un mapa de vulnerabilidad, mismo que se presenta en el mapa 19 y en la tabla 18. En ellos se indican con un valor mayor, las unidades de escurrimiento que pueden llegar a tener efectos a partir de la incidencia de eventos que se puedan presentar sobre las zonas con mayor vulnerabilidad.



Mapa 19. Vulnerabilidad (incidencia de riesgo, población e infraestructura).

Tabla 18. Clasificación del mapa de vulnerabilidad y área afectada.

| VALOR | NOMBRE DE LA UNIDAD DE ESCURRIMIENTO | VULNERABILIDAD | NUEVO VALOR DE CLASIFICACIÓN | AREA TOTAL (Ha) | PORCENTAJE EN LA MICROCUENCA |
|-------|--------------------------------------|----------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|
| 1 | Arroyo Blanco | BAJA | 6 | 266.54 | 10.1 |
| 2 | Cerro Buenavista | MEDIA | 7 | 196.38 | 7.5 |
| 3 | Cerro Colorado | MEDIA | 8 | 395.46 | 15.1 |
| 4 | El Capulín | MEDIA | 5 | 142.27 | 5.4 |
| 5 | El Zapote1 | ALTA | 9 | 185.93 | 7.1 |
| 6 | Joaquín Herrera | ALTA | 11 | 157.77 | 6.0 |
| 7 | La Cueva 1 | BAJA | 2 | 204.71 | 7.8 |
| 8 | La Cueva 2 | BAJA | 3 | 112.79 | 4.3 |
| 9 | La Purísima de la Cueva | ALTA | 12 | 236.67 | 9.0 |
| 10 | Lomas de la Cruz | BAJA | 1 | 156.90 | 5.9 |
| 11 | Lourdes | MEDIA | 4 | 190.49 | 7.2 |
| 12 | San Francisco | ALTA | 10 | 371.87 | 14.2 |

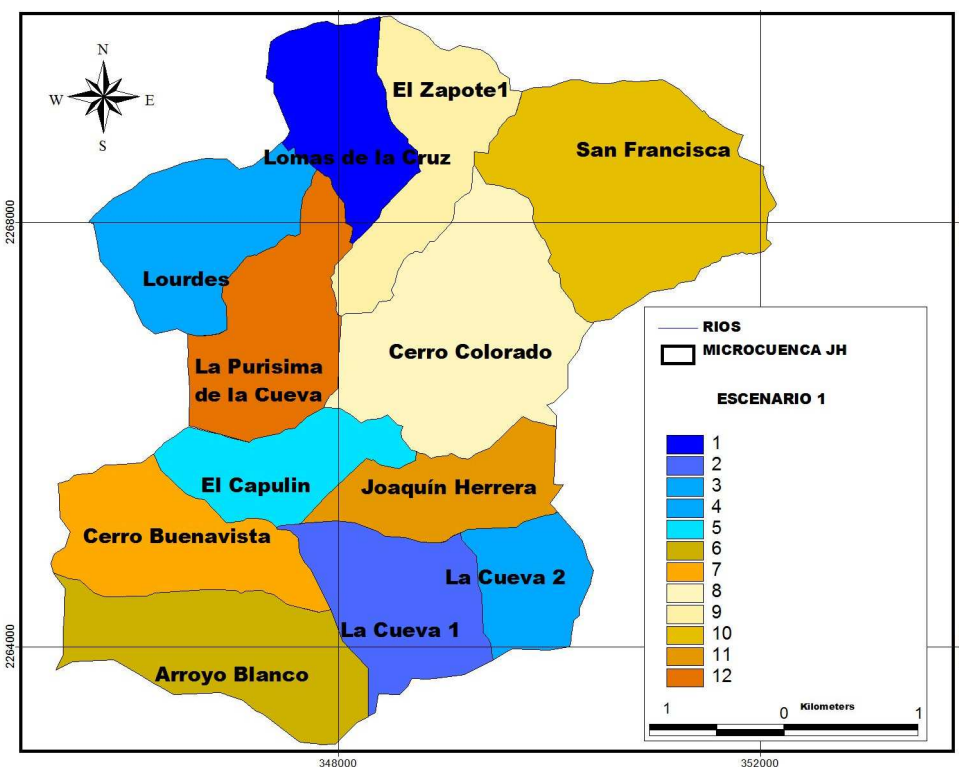
Entre las unidades de escurrimiento que resultaron con un grado de vulnerabilidad alta se encuentran El Zapote 1, Joaquín Herrera, San Francisco y La Purísima de la Cueva que representa el 36% del área total de la microcuenca JH con una superficie de 952.24 Ha.

Por el contrario las unidades de escurrimiento clasificadas con una vulnerabilidad baja fueron Arroyo Blanco, La Cueva 1, La Cueva 2 y Lomas de la Cruz con una superficie de 740.94 Ha. que representan un 29% del total de la microcuenca JH.

9. ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD EN LA MICROCUENCA JOAQUÍN HERRERA.

Para la presente investigación se plantearon 2 escenarios de vulnerabilidad, esto con el fin de conocer como fue y como sería el grado de vulnerabilidad de la microcuenca JH utilizando las capas de uso de suelo y vegetación de los años 1996 y 2014 respectivamente, este último se determinó realizando un promedio o tasa del comportamiento de la cobertura en los años anteriores y así determinar la tendencia que tendría para el año 2014 (Vea anexo 2).

En el siguiente mapa se observa el resultado del primer escenario de vulnerabilidad para el año 1996 en la microcuenca Joaquín Herrera.



Mapa 20. Clasificación de primer escenario de de vulnerabilidad para el año 1996.

Tabla 19. Clasificación del primer escenario de vulnerabilidad, área afectada y porcentaje dentro de la microcuenca JH.

| VALOR | NOMBRE DE LA UNIDAD DE ESCURRIMIENTO | VULNERABILIDAD | NUEVO VALOR DE CLASIFICACIÓN | AREA TOTAL (Ha) | PORCENTAJE EN LA MICROCUENCA |
|-------|--------------------------------------|----------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|
| 1 | Arroyo Blanco | BAJA | 6 | 266.54 | 10.1 |
| 2 | Cerro Buenavista | BAJA | 7 | 196.38 | 7.5 |
| 3 | Cerro Colorado | MEDIA | 8 | 395.46 | 15.1 |
| 4 | El Capulín | BAJA | 5 | 142.27 | 5.4 |
| 5 | El Zapote1 | MEDIA | 9 | 185.93 | 7.1 |
| 6 | Joaquín Herrera | MEDIA | 11 | 157.77 | 6.0 |
| 7 | La Cueva 1 | SIN | 2 | 204.71 | 7.8 |
| 8 | La Cueva 2 | BAJA | 3 | 112.79 | 4.3 |
| 9 | La Purísima de la Cueva | ALTA | 12 | 236.67 | 9.0 |
| 10 | Lomas de la Cruz | SIN | 1 | 156.90 | 5.9 |
| 11 | Lourdes | BAJA | 4 | 190.49 | 7.2 |
| 12 | San Francisco | MEDIA | 10 | 371.87 | 14.2 |

En la tabla anterior se observa que la microcuenca JH presentaba una vulnerabilidad baja para el año 1996 en un área correspondiente a 908.47 ha, que representaba el 33.1% del área de estudio, mientras que la vulnerabilidad media cubría un 53.1%. Destacan las unidades de escurrimiento Lomas de la Cruz y la Cueva 2 que no presentaron vulnerabilidad estas cubrían el 13.8% de la microcuenca. Solo se presentó vulnerabilidad alta en la unidad de escurrimiento La Purísima de la Cueva que representaba el 9% de la microcuenca.

En el segundo escenario se empleo la cobertura de uso de suelo y vegetación con la tendencia que tendría para el año 2014. En el mapa 21 se observa de manera grafica el resultado de este y de manera cuantitativa en la tabla 20.

Mapa 21. Clasificación del segundo escenario de de vulnerabilidad para el año 2014.

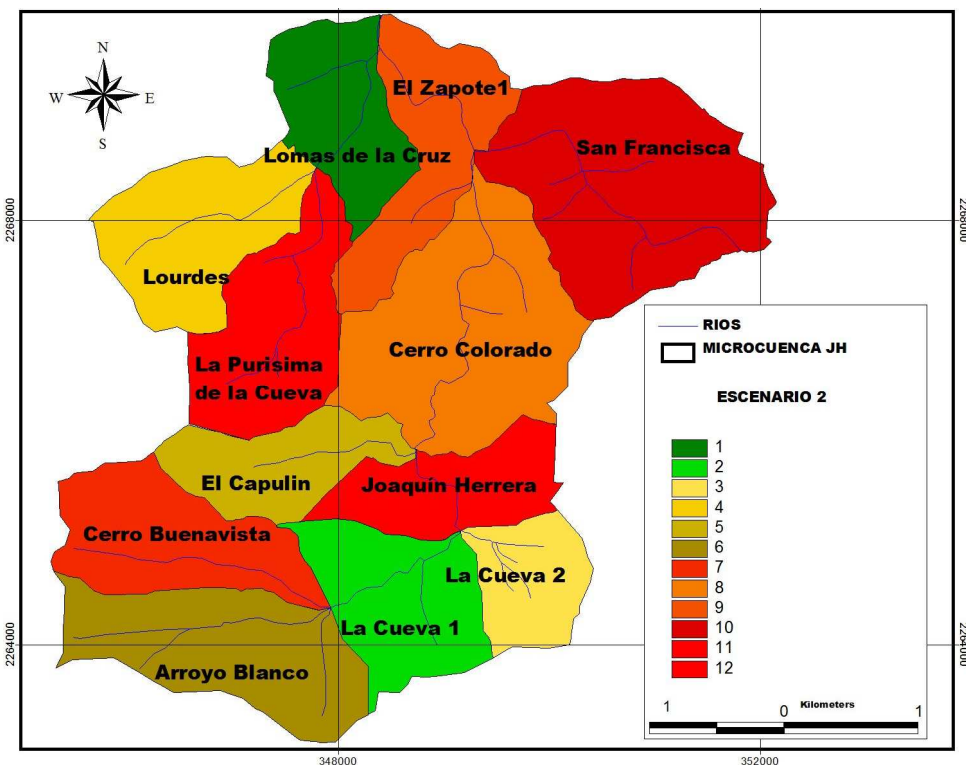


Tabla 20. Clasificación del segundo escenario de vulnerabilidad, área afectada y porcentaje dentro de la microcuencia JH.

| VALOR | NOMBRE DE LA UNIDAD DE ESCURRIMIENTO | VULNERABILIDAD | NUEVO VALOR DE CLASIFICACIÓN | AREA TOTAL (Ha) | PORCENTAJE EN LA MICROCUENCA |
|-------|--------------------------------------|----------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|
| 1 | Arroyo Blanco | BAJA | 6 | 266.54 | 10.1 |
| 2 | Cerro Buenavista | MEDIA | 7 | 196.38 | 7.5 |
| 3 | Cerro Colorado | MEDIA | 8 | 395.46 | 15.1 |
| 4 | El Capulín | MEDIA | 5 | 142.27 | 5.4 |
| 5 | El Zapote1 | MEDIA | 9 | 185.93 | 7.1 |
| 6 | Joaquín Herrera | MEDIA | 11 | 157.77 | 6.0 |
| 7 | La Cueva 1 | ALTA | 2 | 204.71 | 7.8 |
| 8 | La Cueva 2 | ALTA | 3 | 112.79 | 4.3 |
| 9 | La Purísima de la Cueva | ALTA | 12 | 236.67 | 9.0 |
| 10 | Lomas de la Cruz | ALTA | 1 | 156.90 | 5.9 |
| 11 | Lourdes | ALTA | 4 | 190.49 | 7.2 |
| 12 | San Francisco | ALTA | 10 | 371.87 | 14.2 |

En este mapa se puede observar que incrementaron las áreas de vulnerabilidad alta, pasando de 1 unidad de escurrimiento en 1996 a 6 para el año 2014 las cuales ocupan el 48.8% de la microcuenca. La vulnerabilidad media aumento de 3 a 5 unidades de escurrimiento, cubriendo el 41.1% del área estudiada. Por último, y con un 10% del área total de la microcuenca, se presenta la unidad de escurrimiento Arroyo Blanco. para prevenirlo es necesario realizar diferentes acciones o estrategias que lleven a la reducción de dicha vulnerabilidad.

Con base en lo observado en los escenarios anteriormente descritos, es evidente el incremento de las áreas de vulnerabilidad alta en este periodo de tiempo. Para poder reducir dicha vulnerabilidad es necesario llevar a cabo estrategias y acciones para el control de la microcuenca.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 Conclusiones

- Con la utilización de información a escala 1: 250 000 los resultados obtenidos eran muy generales poco productivos para una investigación de este tipo ya que la microcuenca presenta una área de 26km².
- Con el cambio de escala de 1: 250 00 a una escala 1:50 000 de las coberturas de usos de suelo y vegetación, edafología y geología permitió tener un mayor detalle de análisis y con la actualización se pudo conocer estado actual de la microcuenca JH.
- Con la actualización de la cartografía antes mencionada se pudieron identificar rasgos hidrológicos, poblaciones y datos de erosión que no se encuentran integrados en la cartografía proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Estos rasgos son los ríos El Zapote 1 y El Zapote 2, los poblados de Familia García, Casa de niños y Lomas de Zaragoza y el aumento de la erosión hídrica actual la cual cambio de erosión hídrica moderada a extrema y su cobertura dentro de la microcuenca aumento en un 2% con respecto a la reportada por INEGI.
- A partir de la subdivisión de la microcuenca Joaquín Herrera en 12 unidades de escurrimiento permitió tener un mayor detalle de análisis en la etapa del diagnóstico de la microcuenca.

- El 36% del área de la microcuenca Joaquín Herrera (JH) se encuentran en un nivel de vulnerabilidad alto, mientras que un 35% del total de la microcuenca se clasifico con un nivel de vulnerabilidad medio y el 29% restante baja.
- Las pendientes mayores a 22% presentan limitaciones importantes para el desarrollo agrícola y urbano, las cuales ocupan el 36% de la microcuenca JH.
- La erosión actual de la microcuenca JH estuvo entre 2451 t ha⁻¹ año⁻¹ que representa un 14% del total de la microcuenca, este porcentaje es el resultante del área clasificada con erosión alta, muy alta y extrema, esta ultima ocupando un 4% dentro de la microcuenca.
- La superposición de los mapas tales como el de factor de forma, pendiente media, tiempo de concentración y erosión permitió obtener el mapa de Incidencia de riesgo, el cual nos permitió analizar la microcuenca JH desde el punto de vista físico.
- La sobreposición del mapa anterior con el mapa de densidad de población e infraestructura nos permito conocer las unidades de escurrimiento con una alta vulnerabilidad a través del mapa de Incidencia sobre la población e infraestructura o mapa de vulnerabilidad.

- A partir de la delimitación de zonas de mayor riesgo en la microcuenca, se pudo definir lineamientos y acciones concertadas y requeridas para la prevención y mitigación de avenidas torrenciales.

- En la subcuenca Molino Norte se encuentran 7 poblados y/o caseríos con un nivel de vulnerabilidad alta, 2 en el nivel medio y 1 con baja vulnerabilidad.

- La metodología aplicada en esta investigación es muy factible para la zona como para otras microcuencas de la región, aunque con otras variables como por ejemplo un mapa de tenencia de la tierra, ingreso económico por finca, número de casas con servicios básicos (agua, luz), se podría llegar a tener resultados más precisos y llevar mejores planes de acción.

10.2 Recomendaciones

Las acciones y lineamientos concertados con la población para el manejo de la microcuenca JH y la reducción de la vulnerabilidad a desastres naturales son:

- Fortalecer las organizaciones locales de las comunidades para que puedan tener mejor capacidad de gestión de sus problemas ante las autoridades locales, a través de capacitaciones a los líderes.
- Mejorar los sistemas de producción de los agricultores, introducción de prácticas agroforestales sería una alternativa válida para disminuir la erosión de los suelos.
- Frenar la habilitación de tierras agrícolas, para preservar e incrementar la superficie forestal.
- Reactivar los comités de las localidades de la microcuenca JH para que participen en trabajos y acciones de prevención (forestación, construcción de obras de conservación de suelos), así permite una mejor formación de la conciencia y solidaridad, además educa a la gente mediante la acción.
- Los mayores beneficiarios de esta investigación son las autoridades municipales, ya que con los mapas realizados, los problemas y soluciones aportados por la población de las subcuencas son una herramienta de mucha utilidad para que el

departamento ambiental de las mismas puedan realizar mejores proyectos y llegar a solucionar las causas de los problemas que hay en las mismas. Ellos deberían asumir la responsabilidad de implementar las acciones propuestas.

- Se recomienda que la presente investigación sea revisada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática a fin de tener datos actuales de la microcuenca Joaquín Herrera.

11. PROPUESTAS

Con base en los escenarios del apartado anterior y desde una perspectiva general de los ámbitos fisiográfico y social se proponen las siguientes estrategias o acciones que ayudarían a evitar llegar al escenario futuro y a reducir y mitigar los efectos de los desastres naturales. Es importante que cualquier acción de manejo de la microcuenca parta de un consenso local participativo, donde los habitantes y los sectores involucrados sean los actores activos en todo el proceso. En esta etapa solo se llega a plantear el tipo de obras necesarias para la corrección de cuencas de montaña, y la posible ubicación de estos en la microcuenca según su tipo y función.

La finalidad de la corrección de la microcuenca es tener bajo control la presencia de un fenómeno natural, cuyas acciones permitan el desarrollo de las diferentes actividades humanas, controlando para ello los fenómenos de evolución de la corteza terrestre y que representan un constante factor de riesgo por la presencia del hombre. Es evidente que las causas de los daños de origen natural resultan inducidas o acentuadas por la actividad antrópica.

La corrección de la cuenca vendrá efectuada mediante intervenciones de carácter extensivo así como de carácter intensivo.

11.1 Intervenciones extensivas

Las intervenciones extensivas a considerar son aplicadas a la totalidad de la microcuenca, y comprenden:

- Obras de mejoramiento de la cobertura vegetal, así como del estado de los bosques, la potencialidad de su función antierosiva y de regulación, la reducción

de la superficie descubierta (deforestación) y el correcto uso del suelo (prácticas agrícolas).

- Dentro de la zona de estudio y a partir de los recorridos realizados en campo se llegó a determinar que se debe de establecer, debido a la alta deforestación existente un programa de reforestación sobre las áreas que presenta una erosión por arriba de 183 ton/ha/año distribuyéndose estas por las unidades de escurrimiento de Joaquín Herrera, El Zapote1, Cerro Colorado y San Francisco.
- Asistencia técnica relacionada al medio ambiente para capacitarse y poder realizar ellos mismos las soluciones a los terrenos erosionados. Así se podrá establecer un sistema para mejorar las prácticas agrícolas existentes, como sería el cultivo a base de terrazas, o en contornos, evitar sembrar en laderas, hacer obras de conservación de suelos como curvas de nivel, barreras vivas y muertas, etc.
- Capacitación y educación ambiental: concientizar y fomentar interés a los pobladores de todas los niveles a través de charlas, cursos sobre la importancia de un medio ambiente saludable.
- Mantenimiento de los caminos se puede lograr a través de un apoyo conjunto entre la población y la Alcaldía de Matagalpa, aportando la comunidad mano de obra.

11.2 Intervenciones intensivas

Este tipo de intervenciones intensivas están enfocadas esencialmente a las obras de control de los cauces torrenciales: la primera distinción entre las obras de

control de un cauce torrencial está hecha entre las obras que serán ubicadas transversalmente a la corriente, cuya función es la de controlar directamente la evolución morfológica del cauce, impidiendo con ello la erosión y/o causando un realce del mismo, y las obras que serán ubicadas longitudinalmente respecto a la dirección prevaleciente de la corriente, que su función principal es proteger las márgenes de una posible erosión y además de contener con ello la corriente que se presenta en los cauces.

Existe una clasificación propuesta por De Horatiis (1930), en la cual la forma de transporte que se puede presentar en cauces torrenciales puede tener dos tipos de acción, ya sea de socavación o de transporte. En función de estos se determina el tipo de intervención a realizar.

Dentro de las obras transversales, necesarias se deberán de seleccionar aquellas que permitan reducir o controlar la pendiente longitudinal con obras en cascada (en escalones) principalmente, en el plano de pendiente media se puede observar la localización de este tipo de obras, a partir de las microcuencas con valor mayor a siete que representan una pendiente mayor al 25 %, dentro de las cuales se encuentran las unidades de escurrimiento de San Francisco, El Zapote 1 y Cerro Colorado.

Los diques de Consolidación son empleados en la corrección de este tipo de torrente, en los cuales, como ya se mencionó, la erosión del lecho del cauce conduce, evento tras evento, a un ahondamiento continuo, mismo que genera un peligro en la estabilidad de las márgenes y laderas. Estas constituyen los elementos fundamentales dentro del diseño de obras de tipo grada o escalones, que prevén la disminución de la pendiente longitudinal del cauce, mediante la creación de una serie de saltos de fondo. La pendiente es en efecto directamente proporcional a la velocidad del agua y por ello presenta un gran poder erosivo.

La función de este tipo de diques es la de acumular material aguas arriba de su localización, y con ello se previene de posibles erosiones tanto de las laderas o el fondo del cauce, a través de la reducción de la velocidad de la avenida. Este tipo de obras se pueden realizar a base de gaviones, mampostería o piedra acomodada, la imagen siguiente muestra una aplicación de este tipo de obras y la posible localización dentro de la microcuenca JH.



Figura 5. Ejemplo de dique de consolidación



Figura 6. Sitios sugeridos dentro de la unidad de escurrimiento Cerro Colorado.

En cuanto a las obras longitudinales para la estabilización de las márgenes y laderas están constituidas por bordos longitudinales de variadas dimensiones, dotados de cierta inclinación misma que permite construir una sección del cauce de forma trapecial.

Estos se pueden realizar de materiales diversos: piedras grandes ligadas con cemento, concreto armado simple, espigones, gaviones, etc. Estas estructuras son realizadas a lo largo del río, sobre torrentes amplios o en puntos particularmente definidos, como pueden ser las zonas urbanas.

La protección de márgenes por lo general se efectúa a base de escolleras y espigones con rocas de gran diámetro. Estas deben de tener una cimentación profunda para evitar que la elevada velocidad de la corriente en cercanía de las márgenes no llegue a debilitar la base, ni flanquearlas por la margen.

En las fotografías siguientes se visualiza la conformación de este tipo de obras y su posible ubicación dentro de la microcuenca.



Figura 7. Ejemplo de escollera sobre un cauce



Figura 8. Sitio sugerido dentro de la unidad de escurrimiento El Zapote 1.

BIBLIOGRAFÍA

-BLAIKIE, P., CANNON T., DAVIS I., WISNER, B., 1996. Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres. Colombia. La Red. 374 p.

-BID. 1999. Reducción de la vulnerabilidad ante amenazas naturales: Lecciones aprendidas del huracán Mitch.

-CARDONA A. O., 1993a. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. *In* Los desastres no son naturales. Colombia, La Red, p. 51 – 74.

-CARDONA A. O., 1993b. Manejo ambiental y prevención de desastres: dos temas asociados. *In* Los desastres no son naturales. Colombia, La Red, p. 75 – 93.

-CABRERA, C. 1987. Identificación de áreas críticas con base en criterios biofísicos y análisis básico de la degradación específica y transporte de sedimentos en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 174 p

-CAMPOS, A., 1987. Procesos del ciclo hidrológico. Universidad de san Luis Potosí. Editorial Universitaria Potosina. p. 2-15.

-CASTRO S. M., 1999. Cooperación regional para reducir la vulnerabilidad ambiental y promover el desarrollo sostenible en Centroamérica. *In* Uribe, A., Franklin, H. Eds. Memorias del taller sobre vulnerabilidad ecológica y social. Memoria. Estocolmo, SE. p. 59 – 88.

-CENAPRED. 2001. Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México.

-CENAPRED. 2006. Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones y avenidas súbitas en zonas rurales, con arrastre de sedimentos.

-CIAT. 1997. Fundamentos básicos de cuencas hidrográficas: curso taller corto. Matagalpa, NI. 47 p.

-CIDIAT. 1984. Diagnóstico físico conservacionista en cuencas hidrográficas. Mérida, VE, CIDIAT. 63 p.

-CNA. 1993. Manual de Ingeniería de Ríos. Capítulo 3. Subdirección General de Administración del Agua, Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos, México.

-CORTÉS T. H. (1991). Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados, Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillos, MEX., 168 p.

-D.O.F. 2006. Declaratoria de Desastre Natural para efectos de las Reglas de Operación del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN),

-DOMÍNGUEZ, E., 2000. Protocolo para la modelación matemática de procesos hidrológicos en Meteorología Colombiana, Bogotá, Colombia.

-ENGEBAK, P. 1999. Vulnerabilidad social: desastres, vulnerabilidad social y derechos humanos. *In* Uribe, A., Franklin, H. Eds. Memorias del taller sobre vulnerabilidad ecológica y social. Memoria. Estocolmo, SE. p. 141 – 143.

-FAO. 1996. Planificación y manejo integrado de cuencas hidrográficas en zonas áridas y semiáridas de América Latina. Santiago, Chile. FAO, 321 p. (Serie: zonas áridas y semiáridas No. 7).

-GARCÍA, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. UNAM. México.

-GARNICA, R. y ALCÁNTARA, I., 2004. Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz, Investigaciones Geográficas, 55, 23-45, Instituto de Geografía de la UNAM.

-GEILFUS, F., 2000. 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. IICA-GTZ, San Salvador, El Salvador. 208 p.

-HIDALGO R. P., 1993. Diagnóstico Físico Conservacionista. Santiago, Chile. CONAF. 70 p. *Presentado* en Primer Seminario de Planificación Ambiental Participativa para el Manejo de Cuencas Hidrográficas.

-INEGI 1976. Cartas de uso de suelo y vegetación, edafología, geología y topográfica. Serie 1.

-INEGI 2005. Censo de Población y Vivienda.

-LAVELL, A. 1993. Ciencias Sociales y desastres naturales en América Latina: un encuentro inconcluso. . *In* Los desastres no son naturales. Colombia, La Red, p. 135 - 154.

-LAVELL, A. 1996. Los desastres no son naturales. Revista Hombre de Maíz 43: 20-22.

-MAHONE, T. 1999. Manejo de cuencas hidrográficas para la reconstrucción después de Mitch: una cuestión de escala. *In* Uribe, A., Franklin, H. Eds. Memorias del taller sobre vulnerabilidad ecológica y social. Memoria. Estocolmo, SE. P. 89 – 101

-MAZA, A. Y FRANCO, V., 1993, “Manual de Ingeniería de Ríos”, Capítulo 16, Obras de protección para control de inundaciones, Subdirección General de Administración del Agua, Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos, México.

-MÉNDEZ, W Y MARCUCCI E., 2006. Análisis Morfométrico de la microcuenca Quebrada Curucutí, estado de Vargas – Venezuela. Vol. 47.

-MEDINA, B. 1995. Identificación de áreas críticas y plan de reforestación mediante sistemas de información geográfica, en la cuenca del río Purires, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 88 P.

-MUNICIPIO DE CORREGIDORA, QUERÉTARO. 2004. Plan Maestro río El Pueblito.

-RAMAKRISHMA, B. 1997. Estrategia de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias. San José, CR, IICA, BMZ/GTZ. 319 p. (Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible no.3).

-ROMERO, G y MASKREY, A., 1993. Cómo entender los desastres naturales. *In* Los desastres no son naturales. Colombia, La Red, p. 1 -7.

-SÁENZ S. 1995. Identificación de áreas críticas para el manejo de un sector de la cuenca del Río Pacuare, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 145 p.

-SAATY, T.L. (1980): Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process. Mc Graw-Hill, New York. (2ª impresión 1990, RSW Pub. Pittsburgh)

-SENCIALES, J.M. y FERRE E., 1992. Análisis morfométrico de la cuenca del río Benamargosa (provincia de Málaga) en López B. F., C. Conesa y M.A. Romero: Estudios de Geomorfología en España. Actas de la II Reunión Nacional de Geomorfología, Murcia, S.E.G. 365-375 p.

-UAQ, 1996. Estudio de perfectibilidad del establecimiento de un área protegida en la cuenca del río Huimilpan-Pueblito.

-USAID. 1999. Manejo de las cuencas hidrográficas para la reconstrucción después de los huracanes y reducción de la vulnerabilidad ante los desastres naturales. (en línea). Estocolmo, Suecia. Consultado en 15 ago. 2000. Disponible en: <http://hurricane.info.usaid.gov/span-env.htm>

-VALTIERRA, J. G., 2007. Desarrollo de una herramienta computacional para el diagnóstico hidrológico de cuencas. Tesis de Maestría. Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. Universidad Autónoma de Querétaro. 148p.

-VIESSMAN, W., 1977. Introduction to Hydrology, 2nd edition, Harper and Row.

-WILCHES-CHAUX, G. 1993. La vulnerabilidad global. In Maskrey, A. Comp..Los desastres no son naturales. Colombia. La Red. pp. 9 – 50.

-WISCHMEYER, W.H., and SMITH, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. US Department of Agriculture. Agric. Handbook No. 537, Washington D.C. 58 p.

ANEXOS

Anexo 1. Álbum Fotográfico

Parte alta de la microcuenca JH



Foto1



Foto2



Foto3

Parte media de la microcuenca JH



Foto4



Foto5

Parte baja de la microcuenca JH



Foto 6



Foto 7



Foto 8



Foto 9

**Anexo 2. Comparación del uso de suelo y vegetación para la microcuenca
Joaquín Herrera en el periodo 1996-2014.**

| USO DE SUELO Y VEGETACIÓN 1996 | | |
|---------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| TIPO DE USO SUELO | SUPERFICIE (HA) | PORCENTAJE EN LA MICROCUENCA |
| Agricultura temporal permanente | 692 | 28% |
| Bosque de galería | 27 | 1% |
| Erosión hídrica moderada | 17 | 1% |
| Matorral subinerme | 1297 | 45% |
| Pastizal inducido | 500 | 19% |
| Vegetación secundaria | 210 | 6% |
| TOTAL | 2737 | 100% |

| USO DE SUELO Y VEGETACIÓN 2009 | | |
|---------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| TIPO DE USO SUELO | SUPERFICIE (HA) | PORCENTAJE EN LA MICROCUENCA |
| Agricultura temporal permanente | 876 | 32% |
| Bosque de galería | 27 | 0.5% |
| Erosión hídrica extrema | 82 | 3% |
| Localidad rural | 82 | 3% |
| Matorral Subinerme | 1067 | 39% |
| Pastizal Inducido | 438 | 16% |
| Zona urbana | 55 | 2% |
| Vegetación secundaria | 109 | 4% |
| TOTAL | 2737.00 | 100% |

| TASA DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN 1996-2009 | | |
|--|------------------------|-------------------------------------|
| TIPO DE USO SUELO | SUPERFICIE (HA) | PORCENTAJE EN LA MICROCUENCA |
| Agricultura temporal permanente | 184 | 4% |
| Bosque de galería | 14 | 0.5% |
| Erosión hídrica extrema | 55 | 2% |
| Localidad rural | 82 | 3% |
| Matorral Subinerme | 230 | 8% |
| Pastizal Inducido | 62 | 2% |
| Zona urbana | 55 | 2% |
| Vegetación secundaria | 101 | 4% |

| | |
|--|--------------------------------|
| | La superficie aumento |
| | La superficie disminuyo |