

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

FACULTAD DE CIENCIAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS

ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL



**“ANÁLISIS DE LA PRESIÓN ANTROPOGÉNICA Y SU RELACIÓN
CON EL ESTADO DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES EN
EL ARROYO DEL PUEBLO EN SALTILLO, COAHUILA”**

Trabajo terminal

que para obtener el diploma de

ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL

Presenta

ARTURO RAFAEL GARCÍA CONTRERAS

Ensenada, B.C.

Julio de 2015

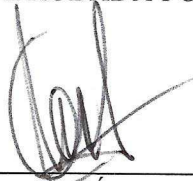
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
FACULTAD DE CIENCIAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS

**“ANÁLISIS DE LA PRESIÓN ANTROPOGÉNICA Y SU RELACIÓN CON EL
ESTADO DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES
EN EL ARROYO DEL PUEBLO EN SALTILLO, COAHUILA”.**

TRABAJO TERMINAL QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE
ESPECIALIDAD EN GESTION AMBIENTAL

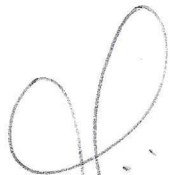
PRESENTA
ARTURO RAFAEL GARCÍA CONTRERAS

APROBADA POR



DRA. MARÍA CONCEPCIÓN ARREDONDO GARCÍA

Directora



DR. JOSÉ LUIS FERMÁN ALMADA

Sinodal



DR. GEORGES SEINGIER

Sinodal

RESUMEN

El propósito de este trabajo fue determinar, mediante un sistema de indicadores ambientales, el grado de presión antropogénica presente sobre el Arroyo del Pueblo y cómo esto ha afectado el suministro de algunos servicios ambientales. El sistema de indicadores ambientales se basa en el modelo propuesto por Garrido *et al.* (2010), fue aplicado en un área de 89.42 km² donde se realizó una zonificación para generar un sistema de unidades ambientales y el análisis incluyó tres niveles espaciales: sobre el cauce (resultado expresado como Impacto Potencial Directo), en la zona riparia (resultado expresado como Impacto Potencial en la Zona Riparia) y en toda el área zonificada (resultado expresado como Impacto Potencial en el Área de Estudio). La suma ponderada de los resultados obtenidos en cada nivel espacial conformó el grado de presión antropogénica, donde se encontró que 10.66 km del cauce (56.19%) se ubica sobre tres unidades ambientales donde existe un nivel de presión antropogénica muy alto asociado con: el uso del cauce como tiradero de escombros, basura doméstica y otros residuos sólidos; lugar de concentración de desagües; fragmentación, alteración de su zona riparia; y cambios de uso de suelo y vegetación a zona urbana. Así mismo, en las unidades ambientales mencionadas existe algún grado de marginación y evidencias de afectación a los servicios ambientales de amortiguación de perturbaciones y regulación hídrica lo que ha impactado el bienestar de la población cercana.

Palabras clave: presión antropogénica, servicios ambientales, indicadores ambientales.

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine through a system of environmental indicators, the degree of anthropogenic pressure on the Arroyo del Pueblo and how this has affected the supply of some environmental services. The system of environmental indicators is based on proposed by Garrido's *et al.* (2010) model, it was applied in an area of 89.42 km² where zoning was performed to generate a system of environmental units and the analysis included three spatial levels: on the channel (result expressed as Potential Direct Impact) in the riparian zone (result expressed as Potential Impact on Riparian Zone) and throughout the zoned area (the result expressed as Potential Impact Study Area). The weighted sum of the results obtained in each spatial level formed the degree of anthropogenic pressure, where it was found that 10.66 km of stream (56.19%) is located on three environmental units where there is a very high level of anthropogenic pressure associated with: the use of the channel as dump debris, household garbage and other solid waste; place of concentration of drains; fragmentation, alteration of riparian zone; and changes in land use to urbanized areas. Also, in the above-mentioned environmental units there is some degree of marginalization and evidence of damage to environmental services of damping shocks and water regulation that has impacted the welfare of nearby population.

Keywords: anthropogenic pressure, environmental services, environmental indicators.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme vida, salud y entendimiento; al CONACYT por el gran apoyo económico; a la Universidad Autónoma de Baja California por las facilidades otorgadas, y a todo el personal académico y administrativo de la Especialidad en Gestión Ambiental, especialmente a mis Maestros y Maestra que contribuyeron, con cada uno de sus cursos y recomendaciones, a mi formación y la generación de este trabajo.

Así mismo agradezco a mis padres y hermanas; tías Lidia y Martha García Silva, de quienes recibí el primer respaldo para realizar esta especialidad. A mis amigos de Saltillo; amigos y compañeros de este y otros posgrados.

Finalmente, y no por eso menos importantes, a las siguientes instituciones y personas que fueron parte esencial para la recolección de información.

- Archivo Municipal de Saltillo
A todo su personal, especialmente a Mirna Vázquez, Jefa Administrativa.
- Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento de Coahuila (CEAS)
Arq. Ramiro Gómez Prado. Gerente de Proyectos Especiales.
- CONAGUA
Lic. Hugo Héctor Martínez González. Director Local.
Lic. José Mauricio Hernández Rodríguez. Secretario Técnico.
Ing. Armando Alonso Rodríguez. Subdirector técnico.
Lic. José Ernesto Siller Olvera. Jefe de Departamento de Recaudación y Fiscalización.
Lic. Alberto Boardman. Jefe de Proyectos de la Subdirección de Recaudación.
Ing. Marco Antonio Rodríguez. Responsable de Archivo.
C. Juan Pérez Ramos. Jefe de Unidad de Servicios Generales.
C. Hugo César Valdés Ramírez. Practicante.

- Dirección de Desarrollo Urbano de Saltillo
Arq. Juan Fernando Pérez Charles. Director.
Arq. César Carrillo Hernández. Subdirector de Planeación Urbana y Cartografía.

- Dirección de Ecología de Saltillo
Ing. Jorge Candelas Ramírez. Director.
C. Javier Carreón.
C. Rodolfo Lara. Coordinador de arroyos.
T. ftal. José Tabaré Ibarra. Supervisor de arroyos.

- Dirección de Protección Civil de Saltillo
Ing. René de la Garza Silva. Director.
C. Aidé Saucedo Salas. Asistente de Dirección.

- Infoteca Central de la Universidad Autónoma de Coahuila
Personal del Centro de Documentación Regional.

- PROFAUNA
Ing. Carlos Armando Ramírez Pérez

- Unión de Productores de Ladrillo y la Región, Similares y Conexos, S.C.
C.P. Jesús Esquivel.

- Sociedad civil
Arq. José Darío Saucedo.
Dra. Lourdes Díaz Jiménez.
Dra. Gloria Tobón de Garza.
Dra. María de Lourdes Lozano Vilano.
Ing. José Luis Salinas Sánchez.
Ing. Ricardo Bustos García.
Ing. José Alfredo Herrera Márquez.

Psic. Erika Luna.

C. Juan Sergio Reta Moreno.

C. Silverio Reta Moreno.

C. Víctor Alejandro Hernández Cadena

C. Ramón Contreras Ramos, gracias tío por acompañarme en la aventura de recorrer todo el arroyo, a pesar de que casi caíamos por un barranco.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	14
II. ANTECEDENTES	16
2.1 Servicios ambientales y sistemas urbanos	16
2.2 Presión antropogénica e indicadores ambientales.....	21
2.3 Arroyo del Pueblo	23
III. JUSTIFICACIÓN.....	33
IV. OBJETIVOS.....	34
V. METODOLOGÍA.....	35
5.1 Trabajo de campo.....	36
5.2 Zonificación del área de estudio	37
5.3 Sistema de indicadores ambientales para la estimación de la presión antropogénica	38
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
6.1 Trabajo de campo.....	46
6.2 Zonificación del área de estudio	50
6.3 Sistema de indicadores ambientales para la estimación de la presión antropogénica	53
6.4 Relación entre la presión antropogénica y los servicios ambientales identificados	80
VII. CONCLUSIONES	85
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Problemas prioritarios entre las zonas urbanas y los servicios ambientales en tres diferentes escalas espaciales.....	20
Cuadro 2. Sistema de clasificación utilizado para la zonificación del área de estudio.....	38
Cuadro 3. Determinación de zonas riparias con base en órdenes de corriente.....	41
Cuadro 4. Conformación de indicadores que dieron paso al InUSV.....	42
Cuadro 5. Conformación del InIPo.....	43
Cuadro 6. Integración del InMoEF.....	44
Cuadro 7. Observaciones utilizadas para la integración del InFB.....	48
Cuadro 8. Observaciones utilizadas para la integración del InFVC.....	49
Cuadro 9. Observaciones utilizadas para la integración del InCA.....	49
Cuadro 10. Caracterización del área de estudio.....	51
Cuadro 11. Servicios ambientales identificados en el Arroyo del Pueblo y su afectación.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de IPD por unidad ambiental.....	56
Tabla 2. Resultados de IPZR por unidad ambiental.....	65
Tabla 3. Diferencias entre las cartas de uso de suelo y vegetación (series I y V) en la zona de estudio.....	66
Tabla 4. Descripción de impactos ambientales negativos encontrados.....	68
Tabla 5. Presión antropogénica por unidad ambiental.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Servicios ambientales en zonas urbanas.....	18
Figura 2. Modelo PER.....	21
Figura 3. La pirámide de la información.....	22
Figura 4. Ubicación de la subcuenca San Miguel (RH24Be).....	23
Figura 5. Microcuenca del arroyo La Encantada.....	24
Figura 6. Ubicación del Arroyo del Pueblo en Saltillo, Coah.....	26
Figura 7. Museo del ladrillo en Saltillo actualmente en construcción.....	27
Figura 8. Crecimiento poblacional de Saltillo y acontecimientos relevantes.....	28
Figura 9. Descripción general de la metodología desarrollada.....	35
Figura 10. Zonificación del área de estudio.....	37
Figura 11. Estructura general del sistema de indicadores ambientales aplicado.....	39
Figura 12. Integración del InICUSV.....	45
Figura 13. Proporción de observaciones registradas en campo.....	46
Figura 14. Caracterización del área de estudio y generación del sistema de unidades ambientales.....	52
Figura 15. Proporción de los tipos de IPD encontrados sobre el cauce del Arroyo del Pueblo.....	53
Figura 16. Distribución espacial del IPD.....	54
Figura 17. Intervalos empleados para la clasificación del IPD.....	55
Figura 18. Proporciones de los tipos de IPZR encontrados.....	59
Figura 19. Distribución espacial del IPZR.....	60
Figura 20. Intervalos empleados para la clasificación del IPZR.....	61
Figura 21. Comportamiento de los indicadores del IPZR y su relación con el mismo...	62
Figura 22. Comparativo entre las coberturas de uso de suelo y vegetación de 1985 y 2011.....	67
Figura 23. Intervalos empleados para la clasificación del IPAE.....	68
Figura 24. Distribución espacial del IPAE.....	69
Figura 25. Proporciones del IPAE.....	70

Figura 26. Alteración del ciclo hidrológico en zonas urbanas.....	72
Figura 27. Viviendas en situación de riesgo durante la temporada de lluvias 2014 y su relación con el IPAE.....	73
Figura 28. Intervalos empleados para la clasificación de la PA.....	75
Figura 29. Distribución espacial de la presión antropogénica.....	77
Figura 30. Relación entre presión antropogénica y marginación.....	79

ACRÓNIMOS

CEAS	Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento de Coahuila de Zaragoza
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONAPO	Consejo Nacional de Población
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
OMS	Organización Mundial de la Salud
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

I. INTRODUCCIÓN

La presencia de agua superficial ha sido un factor determinante en el establecimiento de los asentamientos humanos, la agricultura es la actividad inicial con la que se desarrolla la sociedad. Sin embargo, con el crecimiento económico aparecen los fenómenos de urbanización e industrialización que contribuyen a generar un mayor impacto ambiental (Rivera, 1993; Maya, 2012).

En Coahuila, entre los municipios de Saltillo y Ramos Arizpe corre un arroyo denominado La Encantada, esta corriente se origina cerca de una localidad del mismo nombre ubicada al sur del la ciudad de Saltillo y en las sierras de Arteaga. A su paso por la zona urbana de Saltillo este arroyo recibe el nombre de Arroyo del Pueblo y fue utilizado desde la fundación de la ciudad y hasta 1970 para diversos fines como agricultura, extracción de materiales para construcción, fines recreativos, entre otros (Saucedo, 2008; Aguilera *et al.*, 2013).

A partir de la década de 1970, con el crecimiento urbano y la desaparición de zonas agrícolas al norte de Saltillo, comenzaron al realizarse descargas masivas de agua residual al cauce del arroyo. Esto trajo consigo la contaminación del arroyo y la aparición de tres consecuencias: a) los ramosarizpenses tuvieron que renunciar a acudir a parte de los sitios de recreación familiar; b) la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) prohibió el uso del agua del arroyo para el riego de cultivos de verduras en Ramos Arizpe, permitiendo solo el riego para los cultivos de forraje; y c) la desaparición de un pequeño pez, *Gila modesta* (Aguilera *et al.*, *op. cit.*), actualmente amenazada de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Otro aspecto importante es que la zona metropolitana de Saltillo (ZMS) es, de todas las conurbaciones de Coahuila, la que crece a un ritmo más acelerado. Este fenómeno puede entenderse debido a los cambios en la estructura económica – productiva que ha experimentado la región (Maya, 2012).

De acuerdo con el Plan Director de Desarrollo Urbano vigente para Saltillo, el crecimiento de la ciudad ha dado por resultado una dispersión de la zona urbana a la periferia ante la oferta de suelo más barata, originando asentamientos irregulares en zonas no aptas para el desarrollo urbano, por lo que también se ha propiciado la contaminación por disposición inadecuada de residuos sólidos dentro de los arroyos. En particular los asentamientos irregulares causan bloqueos en los arroyos al rellenar o nivelar partes, evitando así el libre paso de los mismos (Periódico Oficial, 2014).

Una vez analizado lo anterior, de acuerdo con Gómez-Baggethun y de Groot (2007) el estado en el que se encuentra actualmente el Arroyo del Pueblo, obedece a que en zonas con economías donde el sector de servicios tiene una presencia importante¹ la dependencia humana de los ecosistemas no se aprecia de forma evidente, lo que ha repercutido en la pérdida y degradación de algunos servicios ambientales.

¹ Según estadísticas de 2005, el panorama económico de la Zona Conurbada Sureste del estado de Coahuila, integrada por los municipios de Saltillo, Arteaga y Ramos Arizpe, está integrado por una Población Económicamente Activa (PEA) que se dedicaba mayoritariamente al sector terciario con 51%, seguido en orden de importancia el secundario con 45% y el primario con el 1%. Esta estructura económica es el reflejo de una fuerte especialización en el sector servicios (Periódico Oficial, 2009).

II. ANTECEDENTES

2.1 Servicios ambientales y sistemas urbanos

2.1.1 Definición de servicios ambientales

Todo ecosistema, natural o artificial, presenta funciones específicas² como resultado de la interacción de sus elementos vivos (organismos productores y consumidores) y no vivos (suelo, aire, agua) (SEMARNAT, 2004). Estas funciones tienen una incidencia directa o indirecta en los diferentes componentes del bienestar humano, por lo que se han definido como servicios de los ecosistemas o servicios ambientales (SEMARNAT, 2004.; Gómez-Baggethun y de Groot, 2007). Entre estos servicios ambientales se encuentran la regulación del clima, el procesamiento de contaminantes, la depuración de las aguas, la actuación como sumidero de carbono, la prevención contra la erosión y las inundaciones, entre otros (Daily, 1997)³.

La gran variedad de servicios ambientales es generada por interacciones complejas de ciclos naturales impulsados por la energía solar y que operan a través de un amplio rango de escalas espaciales y temporales. Los procesos de eliminación de residuos, por ejemplo, involucran los ciclos de vida de las bacterias así como los ciclos de elementos químicos, como el carbono y el nitrógeno. El valor monetario de estos procesos se ha estimado en varios billones (e incluso trillones) de dólares anuales⁴. Sin embargo, debido a que la mayoría de esos beneficios no se cotizan en el mercado, no tienen un precio que pueda alertar a la sociedad sobre cambios en su abastecimiento o sobre el deterioro de los ecosistemas que los generan, y dado que las amenazas a los ecosistemas están aumentando, es crítico identificar y monitorear los servicios ambientales tanto local como globalmente, e incorporar su valor en los procesos de toma de decisiones (Daily *et al.*, 1997). Se han propuesto varios esquemas para la clasificación de los servicios ambientales, Gómez-Baggethun y de Groot (*op. cit.*) integraron un esquema con base

² Procesos particulares de naturaleza química, física, biológica y ecológica.

³ Citado por Gómez-Baggethun y de Groot, *op. cit.*

⁴ Una vía para estimar el valor de los servicios ambientales es determinar cuánto costaría replicar el servicio de forma artificial (Costanza *et al.*, 1997).

en los trabajos de de Groot (1992 y 2006) y Costanza y colaboradores (1997). Esta clasificación agrupa 30 servicios en cinco categorías identificadas como funciones de regulación, hábitat, producción, información y de sustrato. En el cuadro 1 del anexo 1 puede observarse este esquema de clasificación.

2.1.2 Servicios ambientales en las zonas urbanas

De acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio o MEA por sus siglas en inglés (2005), las zonas urbanas no son grandes productoras de servicios ambientales. Sin embargo, también afirma que al interior de las zonas urbanas y en sus límites existen ecosistemas pueden proporcionar una amplia variedad de servicios ambientales, la mayoría de ellos se asocian con áreas verdes donde se proveen servicios recreativos y culturales. Otros de los servicios que pueden prestarse en las áreas verdes son la filtración del aire, la regulación del microclima, la reducción del ruido, el drenaje de las corrientes superficiales de agua, la retención de nutrientes, la variabilidad genética, la polinización, la dispersión de semillas y la regulación de plagas (Bolund y Hunhammar, 1999)⁵. Córdova y colaboradores (2014) plasman lo anterior como se observa en la figura 1.

Se dice que la urbanización no es por sí misma perjudicial para los ecosistemas, sin embargo, las actividades que se desarrollan dentro de las zonas urbanas pueden alterar el suministro de los servicios ambientales en diversas escalas, desde dentro de la zona urbana hasta más allá de los límites de la misma; por consiguiente, lo más importante para que los ecosistemas que se encuentran en las zonas urbanas provean de servicios ambientales a la misma es la forma en que estos son manejados, como evidencia de esto existen muchos ecosistemas ubicados dentro y alrededor de las zonas urbanas que tienen mayor biodiversidad que los que pueden encontrarse en zonas donde existen monocultivos⁶ (MEA, *op. cit.*).

⁵ Citado por MEA (*op.cit.*).

⁶ Cultivo de una planta en una explotación agrícola muy grande y la siembra del mismo cultivo año tras año, sin rotación de cultivos ni períodos de barbecho (FAO, 2009).

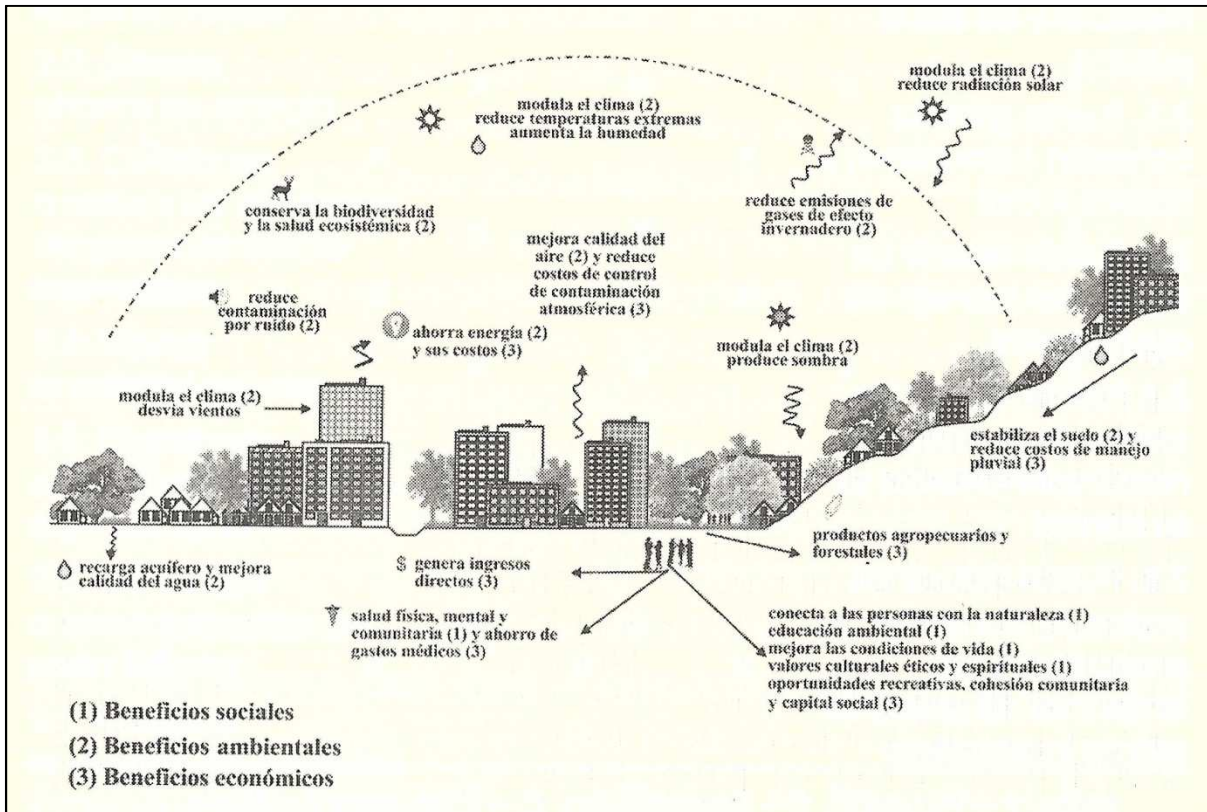


Figura 1. Servicios ambientales en zonas urbanas.

Fuente: Córdova *et al.*, 2014.

En el cuadro 1 se presentan algunos problemas entre las zonas urbanas y los servicios ambientales. Estos problemas se consideran de importancia crítica para el bienestar humano en cada una de las escalas consideradas e involucran cuestiones de bienestar humano y justicia social, con dimensiones espaciales distintas. En la primera escala se considera a los grupos más vulnerables que viven en las zonas urbanas, estos grupos generalmente enfrentan condiciones de vida insalubres y desagradables por lo que los riesgos a los que se enfrentan aumentan cuando se carece de servicios ambientales y las alternativas de desarrollo son inaccesibles. En la segunda escala, cuando el desarrollo urbano daña a los ecosistemas en la

región circundante, hay problemas más extensos de injusticia espacial⁷, aunque la mayoría de los afectados son probablemente de la misma nacionalidad. La tercera escala implica cargas que las actividades urbanas imponen a las personas alejadas de los centros urbanos y a las generaciones futuras mediante la reducción de su acceso a los servicios de los ecosistemas, ya sea porque estos servicios se desvían a usos urbanos o porque los ecosistemas se degradan, esto plantea cuestiones internacionales de justicia espacial (MEA, *op. cit.*).

Se ha observado que con la urbanización, la capacidad de los ecosistemas locales para proveer servicios ambientales tiende a disminuir conforme aumenta la densidad de población y la demanda de estos servicios. Así muchos de estos servicios que una vez fueron cubiertos por ecosistemas locales son ahora cubiertos por una mezcla de servicios ambientales de ecosistemas más lejanos, como el agua conducida a una ciudad a través de acueductos, y servicios manufacturados, como las plantas de tratamiento para agua residual (MEA, *op. cit.*). Por otra parte, los ecosistemas locales pueden ser importantes, sobre todo para los hogares que carecen de ingresos monetarios, un ejemplo de esto es la agricultura practicada en los centros urbanos del África subsahariana donde esta práctica contribuye de manera significativa a la seguridad alimentaria e incrementa el sustento de las personas (Bakker *et al.*, 2000)⁸

⁷ Como justicia espacial se entiende que instalaciones benéficas como los equipamientos urbanos no estén desigualmente repartidas sobre el espacio, de modo que no existan diferencias, o al menos estas no sean excesivamente grandes, en el acceso de la población a estas instalaciones. En el caso de equipamientos no deseables (reellenos sanitarios, entre otros) nuevamente se trata de que las distancias entre la población y los equipamientos no sean demasiado desiguales, de modo que unas personas se vean muy afectadas y otras no lo estén en absoluto (injusticia espacial) por lo que también se plantea que la distribución de los costes ambientales sea igualitario en el territorio (Bosque *et al.*, 2002).

⁸ Citado por MEA (*op. cit.*).

Cuadro 1. Problemas prioritarios entre las zonas urbanas y los servicios ambientales en tres diferentes escalas espaciales.

Problema y características	Intra-urbano (zona urbana como hábitat humano)	Urbano-regional (zonas urbanas y sus biósferas)	Urbano-global (zonas urbanas y ecosistemas globales)
<i>Problema prioritario identificado</i>	Condiciones de vida insalubres y desagradables	Deterioro de las relaciones con los ecosistemas contiguos	"Huellas ecológicas" excesivas
<i>Áreas urbanas más estrechamente asociados con problemas</i>	Vecindarios y ciudades con bajos ingresos	Ciudades industriales grandes con ingresos medios	Ciudades prósperas y suburbios
<i>Fuerzas indirectas de impulso</i>	Cambio demográfico, desigualdad; comercio y desarrollo que ignora la ecología de las enfermedades infecciosas y servicios de los ecosistemas urbanos	Industrialización, motorización (número de vehículos de motor registrados en circulación por cada 1 000 habitantes); comercio y desarrollo que ignoran los impactos sobre los ecosistemas adyacentes	Riqueza material, generación de residuos; comercio y desarrollo que ignoran los impactos sobre los ecosistemas globales
<i>Fuerzas directas de impulso</i>	Acceso inadecuado de los hogares al agua potable, el saneamiento, los combustibles limpios y el suelo para vivienda	Contaminación del aire, degradación de aguas subterráneas, contaminación de ríos, saqueo de recursos, presiones sobre el uso del territorio	Emisiones de gases con efecto invernadero, importación de recursos intensiva así el desecho de bienes (se prefieren los flujos de materiales lineales a los circulares)
<i>Impactos negativos asociados con el problema</i>	Propagación de enfermedades infecciosas, pérdida de la dignidad y el bienestar	Pérdida de servicios de los ecosistemas naturales, aparición de nuevas enfermedades, disminución de la productividad en los agroecosistemas	Cambio climático global, pérdida de la biodiversidad, agotamiento de los recursos naturales escasos a nivel global
<i>Caracterización temporal del proceso clave</i>	Rápido	Variable	Lento
<i>Ejemplo de respuesta históricamente relevante</i>	Reformas sanitarias	Controles de contaminación	¿Ciudades sustentables?

Fuente: MEA, 2005.

2.2 Presión antropogénica e indicadores ambientales

Las actividades humanas ejercen de manera directa e indirecta presiones sobre el ambiente, afectando la calidad y cantidad de recursos naturales (Polanco, 2006). Para entender este tipo de procesos y otros se han utilizado diferentes modelos que se construyen a partir de la agregación de indicadores ambientales.

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) un indicador ambiental es un parámetro o valor derivado de parámetros que proporciona información para describir el estado de un fenómeno, ambiente o área, con un significado que va más allá del directamente asociado con el valor del parámetro en sí mismo (SEMARNAT, s.f.).

Dentro de los modelos de indicadores ambientales, el esquema Presión – Estado – Respuesta (PER) es uno de los más conocidos (SEMARNAT, s. f.). En el modelo PER (figura 2) la presión antropogénica está estrechamente relacionada con métodos de producción y de consumo que reflejan, frecuentemente, intensidades de emisión o de uso de recursos (Polanco, *op. cit.*). Como resultado de la presión antropogénica se modifica el estado (calidad y cantidad) de los recursos naturales, por lo que la sociedad responde con políticas generales y sectoriales, tanto ambientales como socioeconómicas, las cuales afectan y se retroalimentan de las presiones de las actividades humanas (INEGI, 2000a).

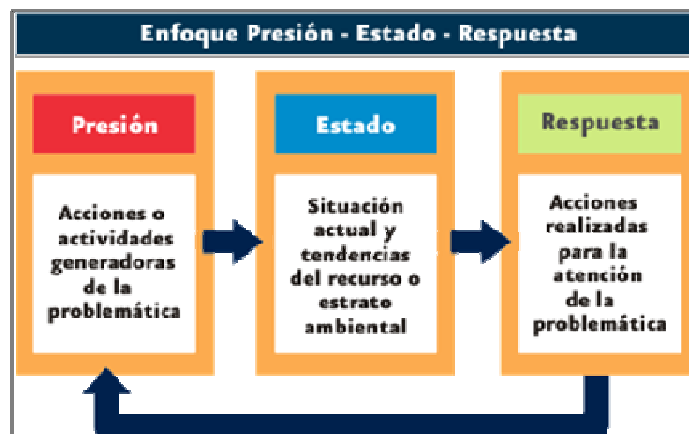


Figura 2. Modelo PER.

Fuente: SEMARNAT (s.f.).

Frecuentemente, cuando se utiliza un solo indicador para describir la situación de un tema, ocurre que no se refleja bien la condición del sistema, por lo que no se tiene un buen soporte para la toma de decisiones. Es por ello que a menudo se recurre a la elaboración de índices y conjuntos de indicadores en temas complejos, como el ambiental. Algunos de los índices más conocidos que tratan de evaluar la sustentabilidad ambiental son el Índice del Planeta Viviente, la Huella Ecológica y el Índice de Sustentabilidad Ambiental (SEMARNAT, s. f.).

De manera general, los indicadores e índices encabezan una pirámide de información (figura 3) en cuya base se encuentran los datos primarios obtenidos a partir de monitoreos (Hammond *et al.*, 1995).

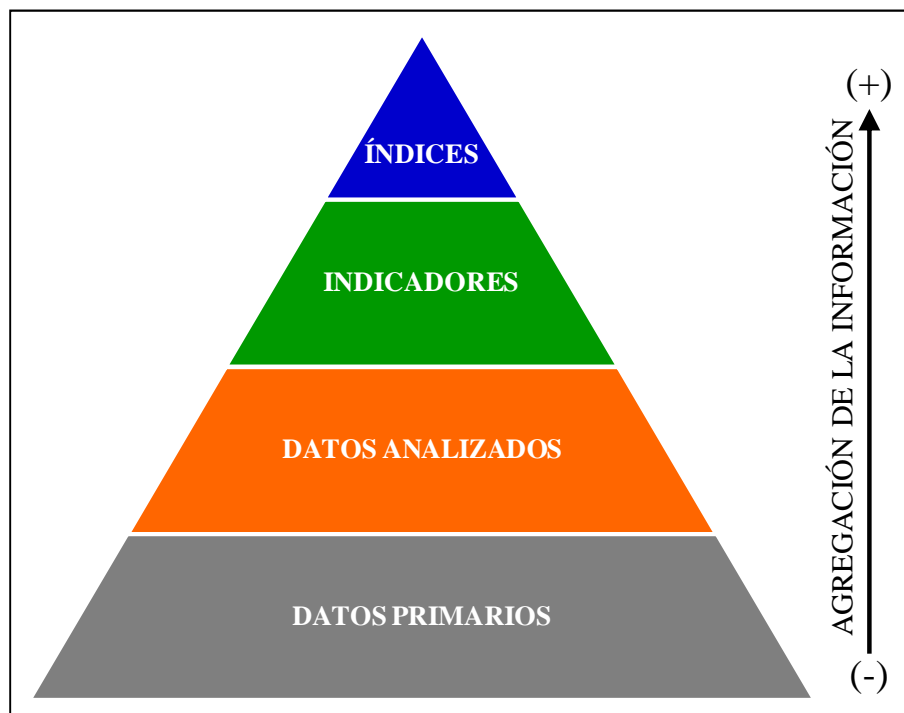


Figura 3. La pirámide de la información.

Fuente: modificado a partir de (Hammond *et al.*, 1995).

2.3 Arroyo del Pueblo

2.3.1 Ubicación

Parte de la región sureste de Coahuila se encuentran en la llamada subcuenca⁹ San Miguel (RH24Be) como se observa en la figura 4.

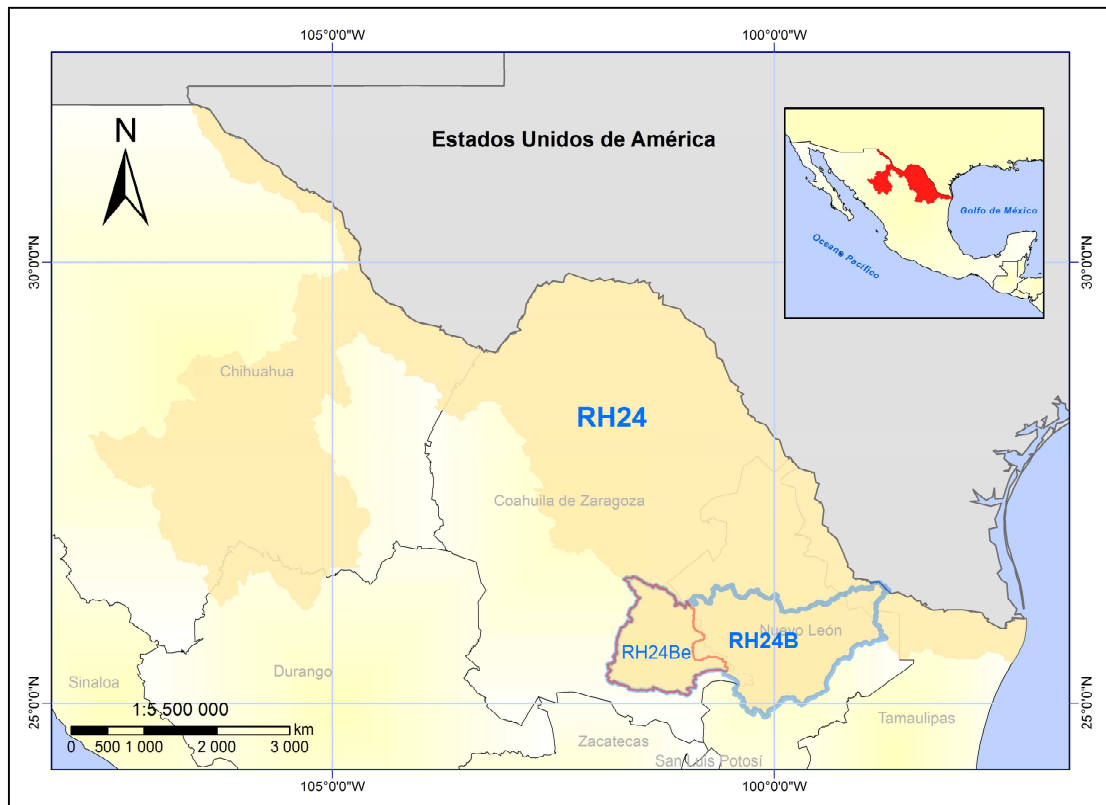


Figura 4. Ubicación de la subcuenca San Miguel (RH24Be).

La subcuenca San Miguel se encuentra dentro de la cuenca del río San Juan (RH24B) y esta última dentro de la región hidrográfica Bravo – Conchos (RH24).

Fuente: propia con datos del INEGI (2010a).

⁹ Una cuenca hidrográfica es un espacio territorial delimitado por un parteaguas (partes más altas de las montañas), donde se concentran todos los escurrimientos (arroyos o ríos) que confluyen en un punto común llamado también punto de salida de la cuenca, que generalmente puede ser un lago o el mar. Las cuencas a su vez pueden dividirse en subcuencas, delimitadas también por un parteaguas y donde se concentran los escurrimientos que desembocan en el cauce principal; y en microcuencas, cuyos límites pueden incluir o no límites administrativos (Cotler *et al.*, 2013).

De acuerdo con datos del INEGI (2010b), observados a través del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL), la subcuenca San Miguel puede dividirse en tres microcuencas principales, una de ellas corresponde a la del arroyo La Encantada (figura 5).

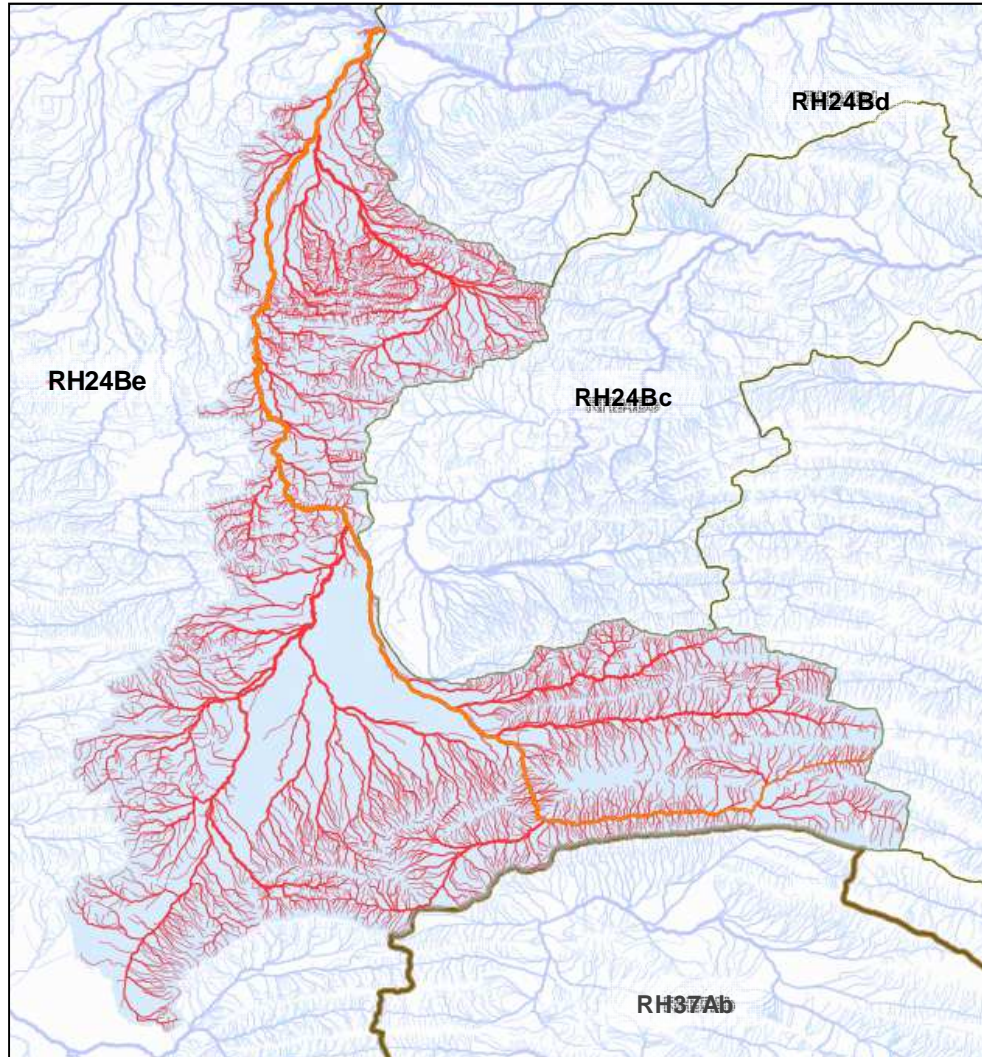


Figura 5. Microcuenca del arroyo La Encantada.

Fuente: elaboración propia por medio del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL) del INEGI (http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#).

El arroyo La Encantada se origina cerca de una localidad del mismo nombre ubicada al sur del la ciudad de Saltillo y en las sierras de Arteaga (Aguilera *et al.*, *op. cit.*; Saucedo, *op. cit.*). Su recorrido es en dirección al noreste. Una vez que sale del lugar de origen pasa por La Angostura, El Álamo y entra a la zona urbana de Saltillo cruzándola por el poniente. A su paso por las ciudades de Saltillo y Ramos Arizpe el arroyo recibe el nombre de Arroyo del Pueblo (INEGI, 2010a) en una longitud aproximada de 23 km (18.97 km en Saltillo y 4.13 km en Ramos Arizpe). Después de esto la corriente se une con el Arroyo Cárdenas o Ceballos y se retoma el nombre de La Encantada¹⁰ (Aguilera *et al.*, *op. cit.*). En la figura 6 puede observarse la sección correspondiente al Arroyo del Pueblo en Saltillo.

3.3.2 Contexto histórico

A lo largo de la historia de Saltillo el Arroyo del Pueblo ha tomado cinco nombres diferentes. Los españoles lo nombraron Río Saltillo, posteriormente con la llegada de los tlaxcaltecas que fundaron el pueblo de San Esteban de la Nueva Tlaxcala en 1591 se le nombró como Arroyo del Pueblo (Saucedo, *op. cit.*). Tras la construcción de un dique¹¹ por los tlaxcaltecas en 1878 cerca de lo que ahora es la colonia Guayulera (Destenave, s.f.), se le nombró Río de la Presa (Saucedo, *op. cit.*). Los otros dos nombres con que se le puede conocer al cauce son Arroyo de las Barrancas, por los altos taludes de sus riberas (Saucedo, *op. cit.*); y arroyo La Encantada (Saucedo, *op. cit.*; Destenave, *op. cit.*; Aguilera *et al.*, *op. cit.*).

Se reconoce que desde la fundación de la ciudad en 1577 y hasta 1970 el Arroyo del Pueblo ha suministrado diferentes servicios ambientales a buena parte de los saltillenses. Pues fue utilizado para diversos fines como agricultura, extracción de materiales para construcción, fines recreativos, entre otros (Saucedo, *op. cit.*; Aguilera *et al.*, *op. cit.*).

¹⁰ El arroyo La Encantada se une con el arroyo Patos a la altura del ejido Mesillas en Ramos Arizpe, hasta este punto existe una distancia aproximada de 77 km desde el origen (Aguilera *et al.*, *op. cit.*; Saucedo, *op. cit.*). La corriente originada entre los arroyos Patos y La Encantada ingresa a Nuevo León por Icamole en el municipio de García y recibe el nombre de río Salinas que desemboca en el río Pesquería y este en el río San Juan. El río San Juan llega a la presa Marte R. Gómez en Tamaulipas y después de ciudad Camargo en el mismo estado al río Bravo, que desemboca en el Golfo de México donde se cierra el ciclo hidrológico (Saucedo, *op. cit.*).

¹¹ La finalidad de este dique o calicanto, como localmente se le conoce, era aprovechar el agua para el riego de cultivos (nogales y otros árboles frutales, trigo, viñedos, verduras, entre otros) de San Esteban de la Nueva Tlaxcala. La administración del agua estaba encabezada por 28 accionistas que tenían derecho a disponer del recurso un determinado número de horas (Destenave, *op. cit.*). El agua también se empleaba en la fabricación de ladrillos (Destenave, *op. cit.*; Saucedo, *op. cit.*; Santos, 2009; Aguilera *et al.*, *op. cit.*).

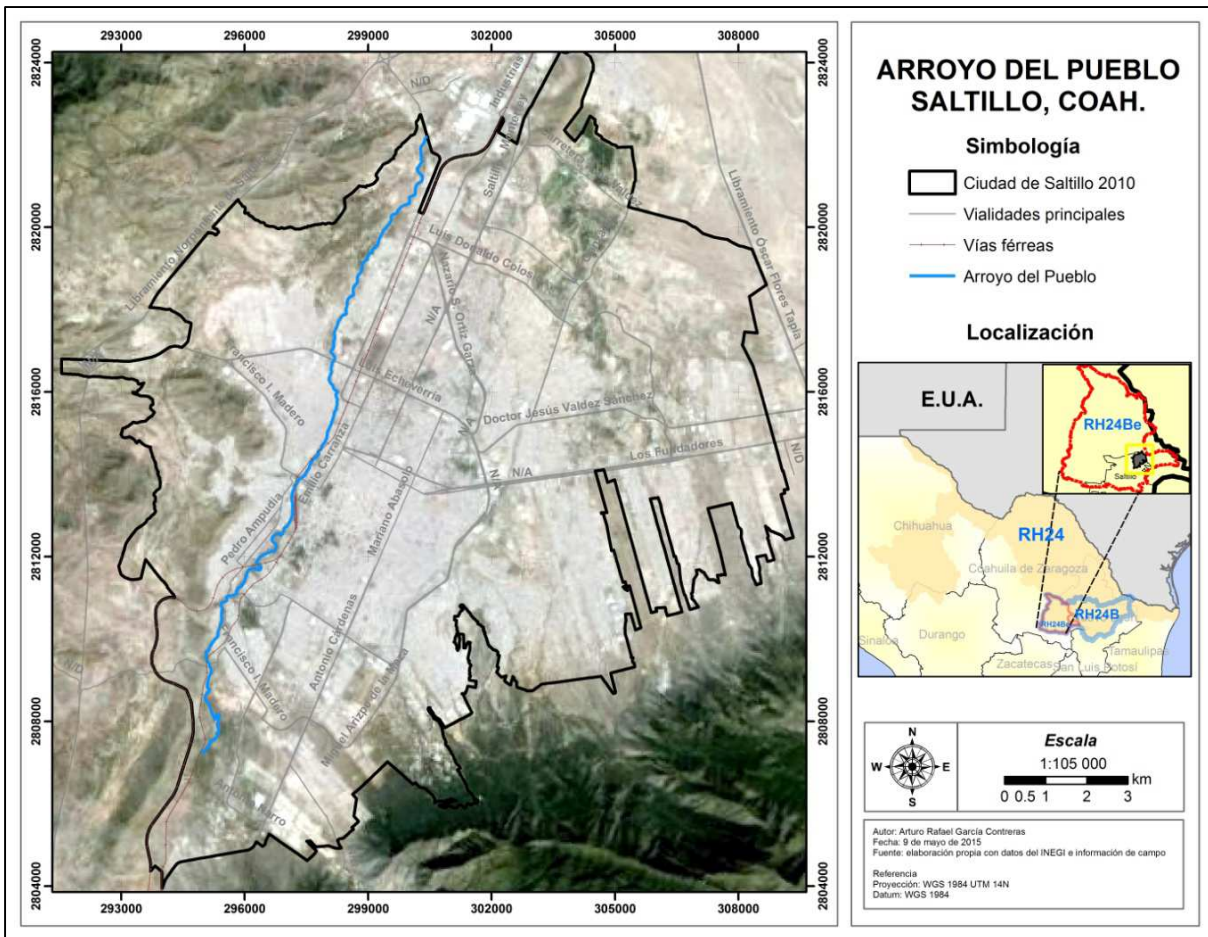


Figura 6. Ubicación del Arroyo del Pueblo en Saltillo, Coah.

Saucedo (*op. cit.*) explica que el arroyo fue el más grande proveedor de materiales para la construcción como arena, grava y piedra bola para cimentación. También menciona que se emplea para obtener adobe y para el asentamiento de ladrilleras artesanales las cuales utilizaron sus arcillas. Hoy en día se mantienen algunos de sus hornos para cocción en sus bordes (Saucedo, *op. cit.*). Esta última actividad alcanzó un auge importante en la segunda mitad del siglo XX (Aguilera *et al.*, *op. cit.*) y contribuyó a dar identidad a la ciudad (ver figura 7)¹². Por su parte Santos (*op. cit.*) afirma que en sus márgenes también se establecieron un gran número de caleras (hornos donde se procesaba piedra caliza para obtener cal).

¹² Actualmente está en construcción un museo del ladrillo en Saltillo por parte de la Unión de Productores de Ladrillo de Saltillo y la Región, Similares y Conexos, S.C.



Figura 7. Museo del ladrillo en Saltillo actualmente en construcción.

Fuente: archivo particular del autor.

El Arroyo del Pueblo también proveía de materia prima a muchas personas que se dedicaban a la fabricación de jaulas para aves¹³. Para esto se utilizaba una planta conocida como jarilla (*Barkleyanthus salicifolius*) que crece en sus márgenes (Saucedo, *op. cit.*).

Hasta finales de los años sesenta del siglo pasado, el agua de La Encantada era relativamente limpia. De tal manera que tomar chapuzones en el agua del Arroyo del Pueblo era para los habitantes de Saltillo y Ramos Arizpe una fuente de diversión (Aguilera *et al.*, *op. cit.*). De acuerdo con Herrera (2002) muchas de las personas usan el agua del Arroyo del Pueblo para diversos propósitos como lavar ropa, para bañarse, y para dar de beber a algunos animales, entre otros.

Finalmente, es conveniente reconocer que todo el arroyo La Encantada participa en la recarga de los acuíferos Cañón del Derramadero en Saltillo, Saltillo-Ramos Arizpe en los dos

¹³ Entre 1940 y 1950 los señores Juan Guevara y Daniel Ojeda sobresalían como proveedores de jaulas para el Mercado Juárez y para otros saltillenses (Saucedo, *op. cit.*).

municipios y Paredón en el norte de Ramos Arizpe (Aguilera *et al.*, *op. cit.*). La zona de estudio de este trabajo se encuentra dentro del acuífero Saltillo – Ramos Arizpe.

3.3.3 Contexto regional

El Arroyo del Pueblo se encuentra en la zona metropolitana de Saltillo (ZMS) que es, de todas las conurbaciones de Coahuila, la que crece a un ritmo más acelerado. Este fenómeno puede entenderse debido a los cambios en la estructura económica – productiva que ha experimentado la región (Maya, *op. cit.*). La figura 8 muestra el crecimiento poblacional de Saltillo a partir de 1900 e incluye algunos hechos relevantes a lo largo de ese periodo de tiempo.

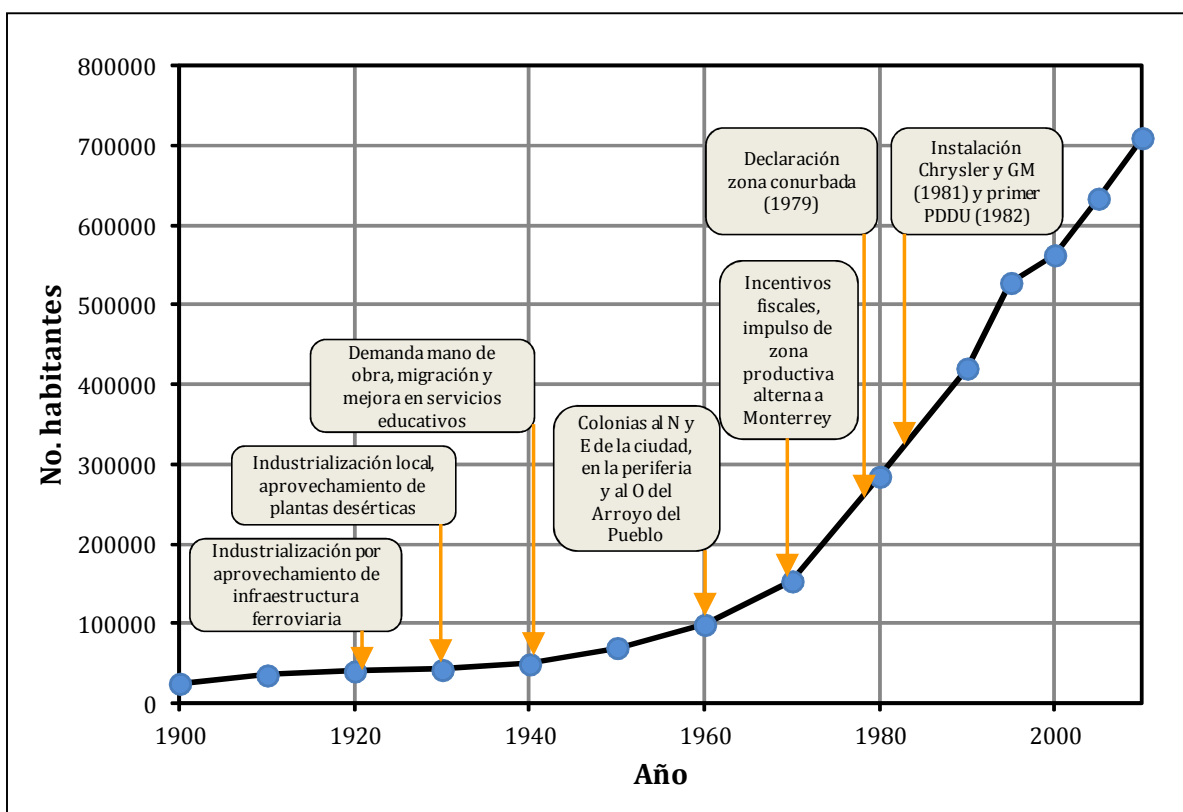


Figura 8. Crecimiento poblacional de Saltillo y acontecimientos relevantes.

Fuente: propia con datos del INEGI (2000b y 2010c), Destenave (*op. cit.*), y Periódico Oficial (2005).

En Saltillo, alrededor de 1960 el crecimiento poblacional mostró una tendencia lineal, y es a partir de 1970 que el crecimiento se volvió exponencial (Aguilera *et al.*, *op. cit.*), lo cual se vio favorecido por el impulso de incentivos económicos para ser de Saltillo un área productiva alterna a Monterrey (INEGI, 2000b). En 1978 se acordó la creación de la zona conurbada¹⁴ Saltillo – Ramos Arizpe – Arteaga, y para el 3 de agosto de 1979 se publicó en el Periódico Oficial del Estado la declaratoria correspondiente (Rivera, *op. cit.*).

Los incentivos tuvieron como resultado la consolidación de la industria manufacturera mediante la instalación de las industrias mecánica – automotriz y químico – farmacéutica al inicio de la década de 1980. Destacan en esta década la inauguración de las plantas de motores y ensamble de automóviles de las empresas Chrysler y General Motors en Ramos Arizpe (Rivera, *op. cit.*; Maya, *op. cit.*).

En 1982 aparece el primer Plan Director de Desarrollo Urbano o PDDU (INEGI, 2000b) cuando ya se evidenciaba un crecimiento descontrolado, por lo que se habla de que la previsión en la planeación urbana gubernamental fue rebasada en dos décadas. Posteriormente se actualizó en 1987 bajo la orden de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, y en 1992¹⁵ (Maya, *op. cit.*).

El crecimiento de la población y sus necesidades agotó la capacidad industrial de absorber la creciente migración por lo que el sector comercial y de servicios abrió la oportunidad para esa población que llegaba para quedarse, generando una segunda oleada de crecimiento económico y de urbanización. Así a mediados de la década de 1990 hasta la fecha, el sector terciario contribuyó fuertemente a la conurbación de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga (Maya, *op. cit.*).

¹⁴ Un proceso de conurbación se presenta cuando dos o más centros urbanos forman o tienden a formar una unidad demográfica, económica y social; la cual debe ser reconocida a través de la declaratoria correspondiente, elaborada por el ejecutivo local cuando se trate de localidades de un mismo estado, o por el Federal cuando la conurbación abarque a dos centros urbanos de distintas entidades federativas (Rivera, *op. cit.*).

¹⁵ El PDDU de Saltillo se actualizó posteriormente en 2005 y 2011, la versión vigente se publicó el 15 de abril de 2014.

Se estima que entre 2005 y 2008 se incrementó un 4% la superficie urbana de Saltillo destinada a los conjuntos habitacionales, llegando a conformar 34% del total de la ciudad. El incremento de hectáreas autorizadas por el municipio para la construcción de fraccionamientos fue de más de 444 hectáreas (Mendoza, 2008)¹⁶. Lo anterior requirió el cambio de uso de suelo de áreas verdes y recreación a espacios de uso habitacional de alta densidad (García, 2009)¹⁷.

La caída en la demanda norteamericana entre 2007 y 2008, impactó el empleo industrial y el de servicios, lo que ocasionó un aumento de la economía informal. Según datos del Censo de Población y Vivienda 2010 el desempleo y subempleo¹⁸ suman 23.3% de la población activa, es decir 28 mil desempleados más 47 mil subempleados (Murayama, 2010)¹⁹. Por otro lado los empleos en el sector terciario local son muy precarios por los bajos niveles salariales, que sitúan a 23.4% de los empleados en una condición de pobreza. Dicho porcentaje ha crecido en la última década, ya que en 2000, 13% estaba en esa posición (Castro Lugo, 2011)²⁰. Este estrato social contribuye a la urbanización irregular, ya que un estudio arrojó que las personas que ganaban entre dos y cuatro salarios mínimos prefieren comprar lotes grandes sin servicios básicos a tener viviendas de interés social que carecen de amplios espacios (Maya, *op. cit.*).

Finalmente, pese al crecimiento económico de la región, hay evidencia del deterioro en la calidad de vida por el rebasado límite de la planeación urbana al ocuparse áreas no aptas para el desarrollo, siendo insuficientes los equipamientos existentes, así como la infraestructura y servicios urbanos básicos (Maya, *op. cit.*). Entre la población de Saltillo existe la percepción de que la ampliación urbana de su ciudad es propiciada por el crecimiento industrial a la vez que adolece de planeación, y añaden que es de esperar que se agudice su problema por la mala infraestructura vial, con zonas hacinadas e inadecuadas para la buena convivencia vecinal por

¹⁶ Citado por Maya, *op. cit.*

¹⁷ *Ibid.*

¹⁸ El término de subempleo se refiere a un conjunto de condiciones ocupacionales como: baja productividad, magros ingresos, jornadas incompletas o irregulares, etc. Así, aunque prácticamente la mayoría de los subempleados se desempeñan en actividades informales, no todo trabajador informal está subempleado (INEGI, 2002).

¹⁹ Citado por Maya, *op. cit.*

²⁰ *Ibid.*

su rápida concentración, además de un aumento en la inseguridad general en la conurbación, como un segundo grupo de preocupaciones. Un tercer conjunto de inquietudes sobre el futuro urbano se refiere al rápido deterioro de la infraestructura de agua y su saneamiento (García, 2003; Carabaza *et al.*, 2007)²¹.

En resumen el escenario que vive la ZMS, bajo la dinámica del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, genera un círculo, que atrae más inversiones a la industria, migración hacia esta zona, que ocasiona demanda en servicios de salud, educación, transporte y espacio para la construcción de vivienda, la mayoría irregular en la periferia; al agotarse el ritmo de expansión económica, crece el subempleo y el desempleo, e incluso desarticulación agraria por el creciente éxodo de población del campo a esta zona metropolitana (Maya, *op. cit.*).

3.3.4 Situación actual del Arroyo del Pueblo

Conforme se ha desarrollado la ciudad de Saltillo han ocurrido cambios en ciertos patrones biofísicos, algunos de ellos son: el clima, la calidad del aire, la disponibilidad de áreas verdes; y las fuentes de abastecimiento de agua y el manejo de su contaminación.

De acuerdo con el PDDU vigente para Saltillo (Periódico Oficial, 2014), el crecimiento de la ciudad ha dado por resultado una dispersión de la zona urbana a la periferia ante la oferta de suelo más barata, originando asentamientos irregulares²² en zonas no aptas para el desarrollo urbano, por lo que se ha propiciado la contaminación de los arroyos por disposición inadecuada de residuos sólidos y descargas de aguas residuales sin tratamiento.

Según datos de la Dirección de Ecología Municipal, de abril a diciembre de 2014 se recolectaron más de 20 toneladas de residuos del cauce del Arroyo del Pueblo. En cuanto a la calidad del agua que corre por el cauce solo se identifica el trabajo hecho por Herrera en 2002 donde no se detectaron concentraciones tóxicas de contaminantes, aunque el autor reconoce el

²¹ *Ibid.*

²² El PDDU también revela que los asentamientos irregulares causan bloqueos en los arroyos al rellenar o nivelar partes, evitando así el libre paso del mismo. En el caso del Arroyo del Pueblo se menciona que hay cinco colonias que cuentan con viviendas en zonas de riesgo de inundación por estar al interior del cauce siendo la población estimada de 1248 personas (Periódico Oficial, 2014).

impacto que la mancha urbana tiene sobre el cauce. En dicho trabajo se observa que parámetros como la conductividad eléctrica, los sólidos totales y los cloruros aumentan a medida que el agua se desplaza hacia el norte. Lo que según Aguilera y colaboradores (2013) se explica por las descargas de aguas residuales y la evaporación que tienen lugar a lo largo del cauce.

Aún con la puesta en marcha de plantas de tratamiento para agua residual en 2007 la contaminación del agua del arroyo persiste (Aguilera *et al.*, *op. cit.*). Además en las notas periodísticas de Saltillo es común observar quejas de las personas que viven cerca del Arroyo del Pueblo debido a la presencia de malos olores, sobre todo en verano (Pámanes, 2010; Zavala, 2012).

Se ha descrito que entre los costos que paga la sociedad, por el hecho de que los arroyos estén contaminados con descargas de aguas residuales, se encuentran: mala imagen, bajo valor predial, salud y bajo valor comercial de las cosechas, estas últimas dos sobre todo en Ramos Arizpe (Garza y Sesma, 2002; Aguilera *et al.*, *op. cit.*).

Es importante mencionar que dentro del PDDU de Saltillo para tratar de resolver la problemática anteriormente expuesta se contemplan aspectos como la preservación de arroyos y cañadas como zonas de desagüe natural, el establecimiento de parques hídricos, corredores riparios y ciclovías para ser realizados de manera conjunta entre las autoridades (Periódico Oficial, 2014).

III. JUSTIFICACIÓN

El Arroyo del Pueblo, al igual que otros arroyos que cruzan la ciudad, es vulnerable a la contaminación por las descargas de aguas negras y por utilizarse como tiradero de desechos sólidos provenientes de zonas habitacionales e industriales ubicadas en su proximidad (Periódico Oficial, 2014), esto ocasiona una disminución en la calidad de los servicios ambientales que puede ofrecer.

Ante el interés de las autoridades municipales por mejorar la situación actual resulta de utilidad identificar aquellas zonas donde exista un mayor grado de alteración sobre el arroyo. La información generada podría tomarse en cuenta por los diferentes niveles de gobierno que lleguen a participar en el desarrollo de los parques hídricos contemplados en el PDDU vigente para Saltillo.

IV. OBJETIVOS

General

Estimar la presión antropogénica que se ejerce sobre el Arroyo del Pueblo y analizar el efecto que esta puede tener sobre la provisión de los distintos servicios ambientales.

Particulares

1. Documentar las obras y actividades humanas que se han presentado sobre el cauce del Arroyo del Pueblo.
2. Realizar una zonificación a partir de las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEBs) urbanas del INEGI con afluentes al arroyo.
3. Generar un sistema de indicadores ambientales que permita estimar la presión antropogénica en tres niveles espaciales.
4. Reconocer las funciones y servicios ambientales asociados al Arroyo del Pueblo y determinar su relación con los resultados del modelo de indicadores ambientales.

V. METODOLOGÍA

En la figura 9 se describe de manera general el proceso metodológico desarrollado para el cumplimiento de los objetivos particulares planteados.

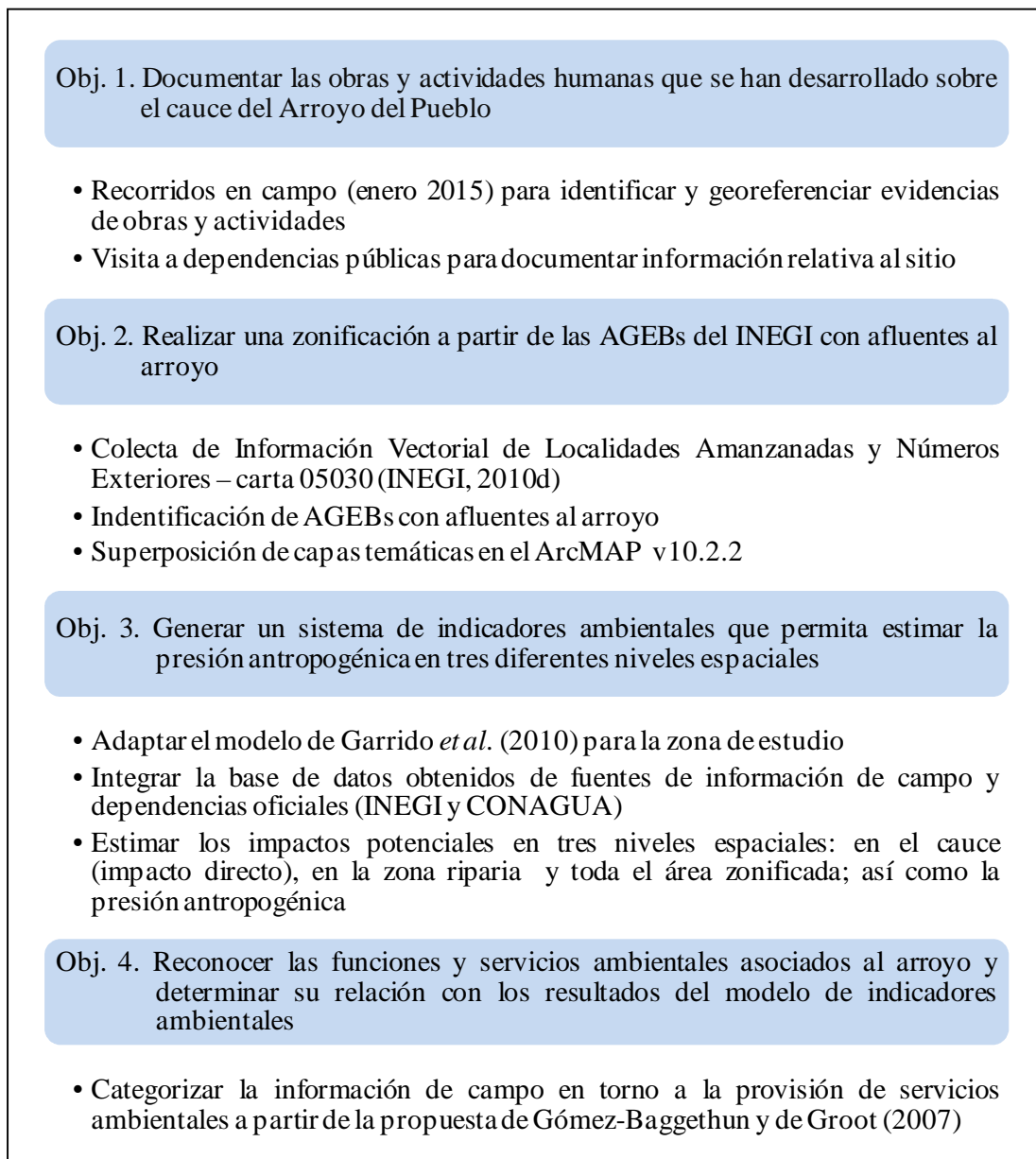


Figura 9. Descripción general de la metodología desarrollada.

La primera fase de este estudio fue desarrollada en campo para el registro de observaciones (objetivo 1), en las fases restantes se realizó una zonificación del área de estudio (objetivo 2) y se aplicó un sistema de indicadores ambientales para la estimación de la presión antropogénica (objetivo 3). A partir de ese sistema se hicieron inferencias sobre el estado de los servicios ambientales del Arroyo del Pueblo (objetivo 4).

Cabe mencionar que las fases de gabinete se desarrollaron utilizando los programas Microsoft Excel, ArcMap 10.2.2 y Quantum GIS 1.5.0 para el diseño de un sistema de información geográfica. Todos los archivos vectoriales se trabajaron en el sistema de coordenadas UTM zona 14 N y datum WGS 1984.

5.1 Trabajo de campo

Durante el mes de enero de 2015 se recorrió la totalidad del cauce identificado como Arroyo del Pueblo en la ciudad de Saltillo (18.97 km) de acuerdo con la nomenclatura manejada por el INEGI²³. En estos recorridos se registraron, con un GPS, rasgos como cercas, descargas de aguas residuales, puentes y otras vías de comunicación, rellenos, sitios con acumulación de residuos sólidos, entre otros.

En ese periodo de tiempo también se obtuvo información de dependencias como la Dirección Local de CONAGUA en Coahuila, las direcciones municipales de Desarrollo Urbano, Ecología y Protección Civil; así como también de la Unión de Productores de Ladrillo de Saltillo y la Región, Similares y Conexos, S.C y de personas que realizan actividades en el arroyo.

²³ El cauce del Arroyo del Pueblo fue modificado de acuerdo con los recorridos efectuados e imágenes de Google Earth.

5.2 Zonificación del área de estudio

Puesto que el Arroyo del Pueblo se ubica dentro de la zona urbana se eligió una sección de la ciudad de Saltillo para delimitar el área de estudio. Para construir este espacio de trabajo se utilizó la Información Vectorial de Localidades Amanzanas y Números Exteriores, carta 05030 (INEGI, 2010d). A partir de esta información se seleccionaron: las Áreas Geoestadísticas Básicas²⁴ (AGEBs) urbanas sobre las que encontraba el arroyo de interés, todas las del lado poniente de la ciudad por poseer afluentes y aquellas a 1 500 m hacia el oriente o las que tuvieran afluentes del arroyo. Las AGEBs fueron fusionadas²⁵ para delimitar tres subzonas. Luego se añadieron²⁶ datos de relieve (curvas de nivel), tipo de roca y tipo de suelo dominante como se observa en la figura 10. Todos los datos vectoriales empleados se descargaron de la página web del INEGI. Para los datos de relieve se empleó la información topográfica a escala 1:50 000 de las cartas G14C33, G14C24 y G14C34 en sus ediciones 2014; la geología se tomo del Conjunto de Datos Geológicos Vectoriales G1407 Escala 1: 250 000 serie I y la edafología del Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1: 250 000 Serie II (Continuo Nacional).

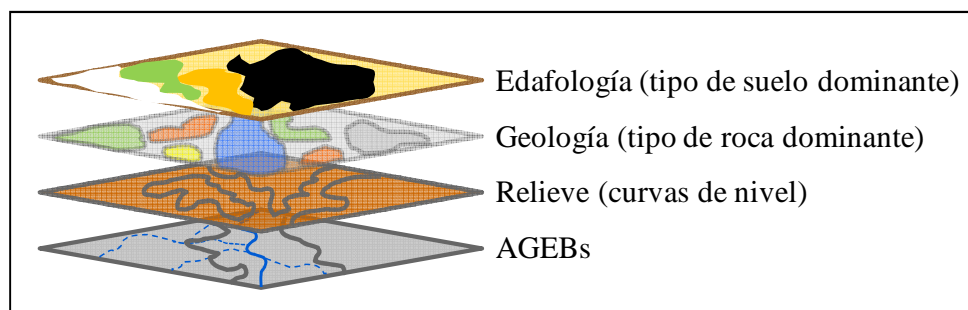


Figura 10. Zonificación del área de estudio.

²⁴ Una AGEB urbana es la extensión territorial ocupada por un conjunto de manzanas que generalmente son de 1 a 50, están delimitadas por calles, avenidas, andadores o cualquier otro rasgo fácil de identificar en el terreno y cuyo uso del suelo es principalmente habitacional, industrial, de servicios y comercial.

²⁵ Se utilizó la herramienta dissolve.

²⁶ Se utilizaron las herramientas Overlay/Union y Generalization/Eliminate para agregar capas y obtener unidades ambientales con una superficie mínima de 1 ha.

El sistema de clasificación utilizado para la codificación de las posteriores unidades ambientales (UAs) se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Sistema de clasificación utilizado para la zonificación del área de estudio.

Característica	Clave	Descripción
Subzona	1	AGEBs de contacto
	2	AGEBs secundarias al poniente
	3	AGEBs secundarias al oriente
Relieve	1	Hasta 1600 m
	2	Más de 1600 y menos de 1700 m
	3	1700 m
	4	Más de 1700 y menos de 1800 m
	5	1800 m
Geología	1	Aluvial
	2	Conglomerado
	3	Lutita
	4	Lutita-Arenisca
Edafología	1	Calcisol
	2	Chernozem
	3	Kastañozem
	4	leptosol
	5	Regosol
	6	No aplica

Fuente: propia a partir de datos del INEGI.

5.3 Sistema de indicadores ambientales para la estimación de la presión antropogénica

El sistema de indicadores presentado en este trabajo se basó en el modelo de análisis multicriterio propuesto por Garrido y colaboradores en 2010 para evaluar el grado de alteración ecohidrológica en las cuencas hidrográficas de México.

Para el caso del análisis de la presión antropogénica sobre el Arroyo del Pueblo se consideraron tres etapas. En la primera se evaluó el Impacto Potencial Directo (IPD) sobre el

cauce, en la segunda se analizó el Impacto Potencial sobre la Zona Riparia (IPZR) y en la tercera se estimó un Impacto Potencial sobre toda el Área de Estudio (IPAE), en cada una de estas estimaciones se utilizaron diferentes indicadores. Posteriormente se realizó una suma ponderada de los resultados de las tres etapas anteriores y se obtuvo la presión antropogénica. Los pesos asignados a cada etapa de análisis se tomaron del esquema de Garrido y colaboradores. (2010), donde se otorga un valor de 0.57 para el IPD, 0.29 para el IPZR y 0.14 para el IPAE²⁷. En la figura 11 se indica la estructura general del sistema de indicadores aplicado.

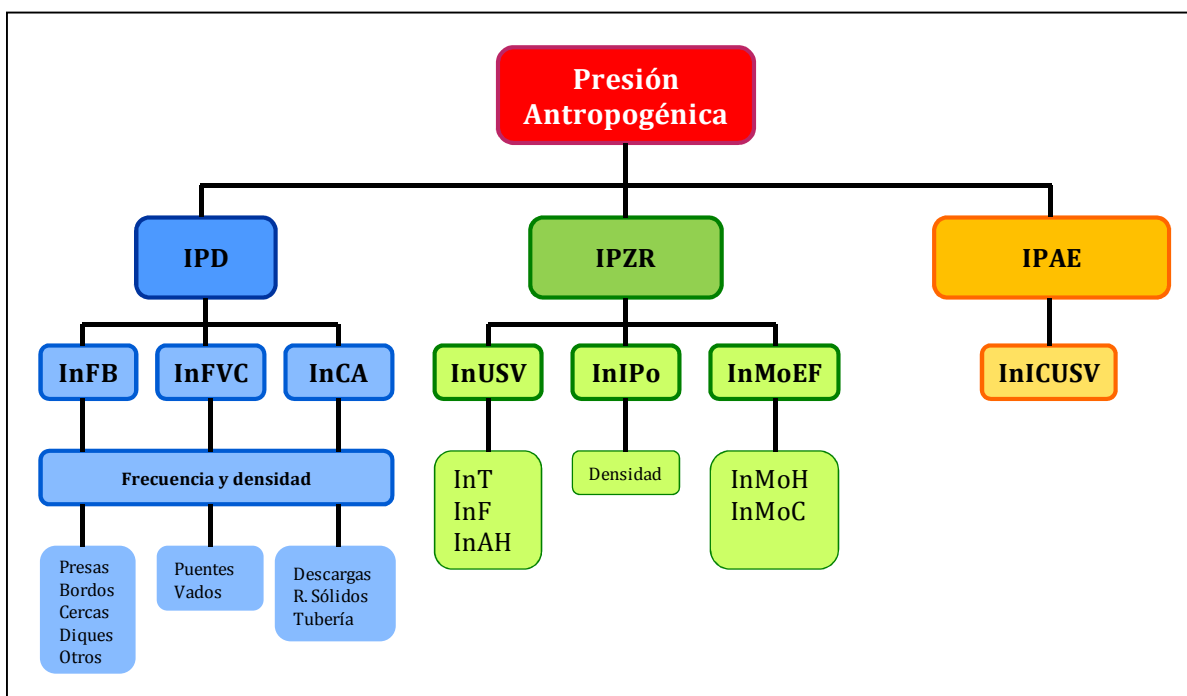


Figura 11. Estructura general del sistema de indicadores ambientales aplicado.

Fuente: propia a partir de Garrido *et al.*, 2010.

²⁷ Valores asignados a través de la contribución de un grupo de 25 expertos durante 2008 (Garrido *et al.*, *op. cit.*).

5.3.1 Impacto Potencial Directo (IPD)

El IPD se integró por medio de tres indicadores, dos fueron de fragmentación, uno por barreras (InFB) y otro por vías de comunicación (InFVC). El tercer indicador fue para estimar la afectación a la calidad del agua que llega a correr por el arroyo (InCA). Estos indicadores se construyeron a partir de los rasgos identificados en el trabajo de campo, para ello se estimó la frecuencia (número de rasgos dividido entre la longitud del cauce en km por unidad ambiental) y densidad (número de rasgos dividido entre el área de la unidad ambiental en km²) de cada rasgo. Enseguida se aplicó un proceso de normalización a estos parámetros para poder sumarlos, para ello se utilizó el método estadístico no paramétrico modificado de Rietveld (Nijkamp y Rietveld, 1990). La técnica utilizada emplea la siguiente fórmula:

$$VN = (Va - Vmin) / (Vmax - Vmin)$$

Donde *VN* significa el valor normalizado, *Va* el valor a normalizar, *Vmin* es el valor mínimo de la serie de datos y *Vmax* es el valor máximo de la serie. De esta manera se obtuvieron números del 0 al 1 por rasgo, donde el 1 indica una alteración con mayor intensidad. Una vez efectuada la normalización se sumaron la frecuencia y la densidad de cada rasgo. Posteriormente, a través de sumas ponderadas donde se tomaron en cuenta las características de los rasgos encontrados, se determinaron los tres indicadores antes mencionados. La suma normalizada de estos indicadores dio como resultado el IPD.

Además de utilizarse para el cálculo de los datos, Microsoft Excel se empleó para asociar las tablas generadas a algunos shapefiles. Para la clasificación del tipo de IPD y el resto de los datos generados se utilizó el método de clasificación de cortes naturales de Jenks en ArcMap 10.2.2, donde los cortes de clase se caracterizan porque agrupan mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases. Las entidades se dividen en clases cuyos límites quedan establecidos dónde hay diferencias considerables entre los valores de los datos (ESRI, 2012).

5.3.2 Impacto Potencial sobre la Zona Riparia (IPZR)

La determinación del IPZR incluyó lo siguiente:

A. Determinación de la zona riparia

Se adoptó como zona riparia la zona de amortiguamiento descrita por Vargas (2013). Este autor determina el ancho de la zona riparia o de amortiguamiento con base en el orden de la corriente, lo cual está relacionado con el número de afluentes que un cauce posee. De esta manera una corriente de primer orden es aquella que surge en la parte más alta y que no tiene afluentes; cuando se juntan dos corrientes de primer orden se genera una de segundo orden, y así sucesivamente. Con esta clasificación (cuadro 3) se determinó el ancho de la zona riparia sobre los diferentes segmentos del Arroyo del Pueblo elaborando buffers de ancho variable en el programa Quantum GIS (1.5.0).

Cuadro 3. Determinación de zonas riparias con base en órdenes de corriente.

Orden de la corriente	Buffer (m)
Primer orden	20
Segundo orden	40
Tercer orden	60
Cuarto orden en adelante	100

Una vez obtenida la zona riparia, el resto de las actividades se llevaron a cabo usando ArcMap 10.2.2 donde se verificó, mediante un mapa de pendientes, que no fuera necesario ampliar el espacio de acuerdo con las recomendaciones del autor. Se determinaron zonas riparias por UA.

B. Generación de indicadores de uso de suelo y vegetación (InUSV), de impacto por la población (InIPo), y de modificación a la estructura física (InMoEF)

InUSV

El InUSV muestra indirectamente la condición y funcionalidad del sistema. Es un indicador compuesto por los indicadores de transformación (InT), fragmentación (InF) y de asentamientos humanos (InAH). La base del uso de este indicador es que a mayor presencia de vegetación natural (o menor grado de transformación) se espera una mejor condición (Garrido *et al.*, *op. cit.*). La forma en que se obtuvo cada indicador se describe en el cuadro 4.

Cuadro 4. Conformación de indicadores que dieron paso al InUSV.

Indicador	Descripción
InT	<ol style="list-style-type: none"> 1 Se determinó el área cubierta con vegetación natural presente en la zona riparia de cada UA, empleando la capa de uso de suelo y vegetación de la serie V del INEGI y corroborando con Google Earth manteniendo una escala 1 : 2128 (barra de escala igual a 100 m en la pantalla) sobre imágenes de satélite con fecha del 28 de octubre de 2014 y 19 de febrero de 2015. La vegetación natural observada en Google Earth se digitalizó generando polígonos que se utilizaron para determinar el área real con vegetación natural por porción riparia. Los polígonos de Google Earth se asociaron espacialmente con los polígonos de las zonas riparias. 2 El área transformada fue igual a la resta del área riparia menos el área con vegetación natural. 3 El área transformada se dividió entre el área riparia y se obtuvo un porcentaje de transformación. 4 Normalización de los datos.
InF	<p>En aquellas zonas riparias con vegetación natural el número de polígonos generados se tomó en cuenta para la normalización de los datos. Se tuvo cuidado de no duplicar polígonos.</p>
InAH	<ol style="list-style-type: none"> 1 Se determinaron las áreas consideradas como zona urbana y asentamientos humanos con base en la capa de uso de suelo y vegetación del INEGI utilizada para el primer indicador y corroborando con Google Earth que sirvió para agregar superficies no consideradas en los datos del INEGI. 2 La determinación real del área ocupada por la zona urbana y los asentamientos humanos requirió la suma de las superficies obtenidas a través del INEGI y de Google Earth, y en algunas zonas se requirió restar el área con vegetación natural. 3 El área con asentamientos humanos se dividió entre el área riparia y se obtuvo un porcentaje. 4 Normalización de los datos.

Una vez que se obtuvo cada indicador se sumaron los volares normalizados de cada uno de ellos para generar el InUSV.

InIPo

El InIPo se basa en la densidad de población por porción de interés (zonas riparias de cada unidad ambiental). La manera en que se calculó el InIPo se describe en el cuadro 5. Se emplearon los datos del Censo de Población y Vivienda 2010.

Cuadro 5. Conformación del InIPo.

No.	Paso	Descripción
1	Determinación de zona riparia en AGEBS de interés	Se crearon polígonos a partir de la porciones de las AGEBS que se encontraron en la zona riparia. Se utilizó la función Split Polygons.
2	Asociación con UAs riparias	Se hizo una unión espacial entre los polígonos de las fracciones riparias de las AGEBS y los polígonos de las fracciones riparias de las UAs.
3	Estimación de habitantes por porción riparia de AGEB	Se realizó conforme a la siguiente fórmula: $\text{Población riparia} = \frac{\text{área riparia de la AGEB} * \text{habitantes totales en AGEB}}{\text{área total de la AGEB}}$
4	Determinación de habitantes y densidad por parte riparia de la UA	En Microsoft Excel se obtuvieron los habitantes por zona riparia de cada UA y se calculó la densidad. Posterior a esto se normalizaron los datos.

InMoEF

El InMoEF propuesto por Garrido y colaboradores (2010) toma en cuenta la modificación a la geomorfología de los cauces. La metodología original toma en cuenta el número de bancos de extracción de materiales, así como los procesos de erosión hídrica. En esta ocasión se tomó en cuenta la evidencia de actividades económicas realizadas en la zona riparia determinada (InMoH) y las concesiones vigentes de zonas federales otorgadas por la dirección local de la CONAGUA (InMoC). La suma de los valores normalizados del InMoH y del InMoC dio como resultado el InMoEF. En el cuadro 7 se muestra la conformación de cada indicador.

Cuadro 6. Integración del InMoEF.

Indicador	Descripción
InMoH	<ol style="list-style-type: none">1 Se determinó la presencia de actividades realizadas en la zona riparia de cada UA empleando Google Earth con imágenes de satélite con fecha del 28 de octubre de 2014 y 19 de febrero de 2015.2 Se determinó la densidad de actividades dentro de la zona riparia de la UA y se normalizó el dato.
InMoC	<ol style="list-style-type: none">1 Se utilizó una capa de puntos obtenida a partir de datos proporcionados por la CONAGUA sobre las zonas federales concesionadas en el Arroyo del Pueblo. Estos puntos se unieron espacialmente a las zonas riparias.2 Se calculó la superficie total concesionada por área riparia de cada UA, enseguida se calculó la proporción de uso dividiendo la superficie concesionada entre la superficie riparia y finalmente se normalizó esta proporción.

C. Suma de los indicadores anteriores y determinación del IPZR

La determinación del IPZR se realizó mediante la suma de los valores normalizados del InUSV, InIPo e InMoEF. El resultado se volvió a normalizar para obtener valores entre 0 y 1.

5.3.3 Impacto Potencial sobre el Área de Estudio (IPAE)

El IPAE está representado por un indicador de impacto por cambio de uso de suelo y vegetación (InICUSV), que se construyó a partir de las diferencias encontradas entre la carta G1407 de Uso de Suelo y Vegetación escala 1:250 000 en sus series I de 1985 y V del 2011. Las diferencias encontradas fueron cambios en las coberturas de vegetación natural, agricultura, pastizal inducido y, zona urbana y asentamientos humanos por UA. Estas diferencias se consideraron como impactos ambientales los cuales fueron clasificados, descritos y evaluados individualmente tomando en cuenta criterios como reversibilidad (Conesa, 2010)²⁸, las proporciones de la UA en la que se produjo el cambio y la que produjo un nuevo uso de suelo, así como la diferencia de las calidades ambientales entre un uso de suelo y otro. Este último parámetro se determinó de manera subjetiva considerando los

²⁸ Recuperación de un impacto por medios naturales, puede ser: inmediata o de corto plazo (tiempo menor a 1 año, calificada como 1), de mediano plazo (tiempo de 1 a 10 años, calificada como 2), de largo plazo o casi irreversible (tiempo de 10 a 15 años, calificada como 3) e irreversible (mayor a 15 años y calificada como 4) (Conesa, *op. cit.*).

servicios ambientales que pueden obtenerse de uno u otro uso. Finalmente se sumó la importancia (resultado de la evaluación) de todos los impactos negativos encontrados en cada UA y después de un proceso de normalización se determinó el InICUSV por cada UA. En la figura 12 se esquematiza el proceso de trabajo anteriormente descrito.

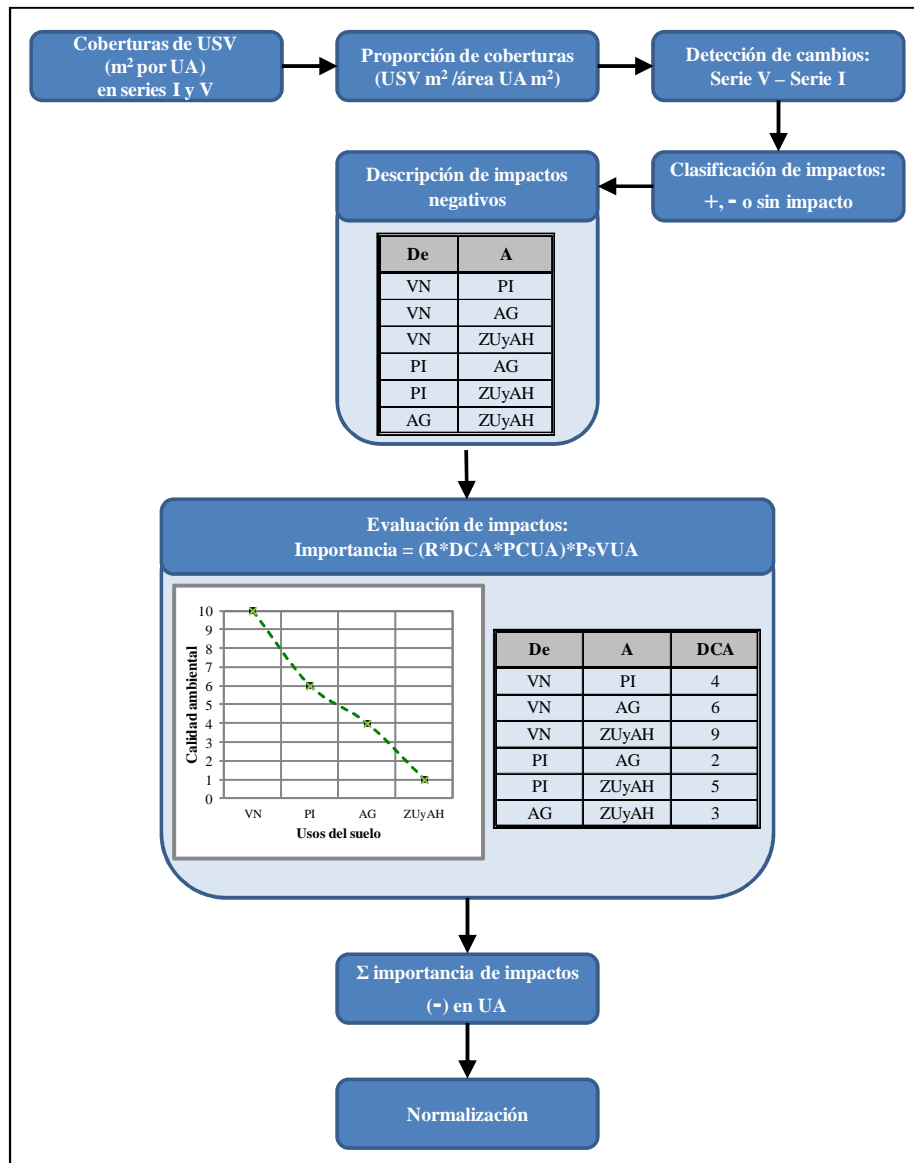


Figura 12. Integración del InICUSV.

Notas: VN = vegetación natural, PI = pastizal inducido, AG = agrícola, ZUyAH = zona urbana y asentamientos humanos, R = reversibilidad, DCA = diferencia en calidad ambiental, PCUA = proporción con cambio en la UA, PsVUA = proporción del nuevo uso de suelo dentro de la UA.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Trabajo de campo

A partir de los recorridos efectuados se identificaron 15 tipos principales de rasgos, que sirvieron para construir el IPD. El número de puntos georreferenciados con GPS fue de 175 y su proporción se muestra en la figura 13.

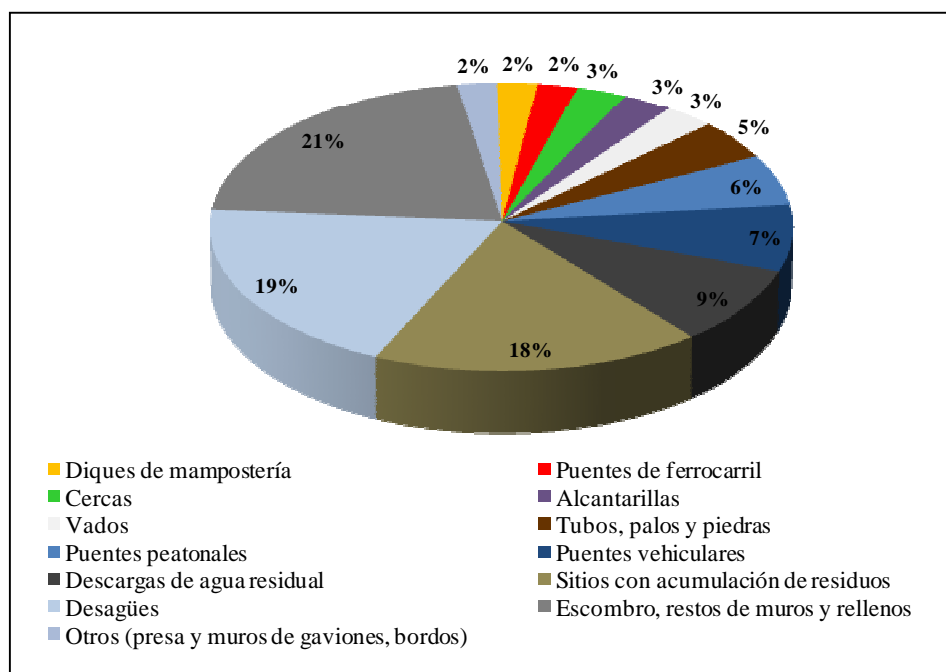


Figura 13. Proporción de observaciones registradas en campo.

Como se observa en la figura 13 los rasgos predominantes fueron: puntos con acumulación de escombros, restos de muros y rellenos (37 sitios); desagües o tubería que conduce al arroyo (34 sitios) y sitios con acumulación de residuos sólidos como basura doméstica y estiércol (31 puntos). Estos tres rasgos representan el 58% de todas las observaciones realizadas.

En el caso del escombros, restos de muros y rellenos; y de los sitios con acumulación de residuos sólidos su existencia a lo largo de prácticamente todo el cauce, indica una falta de conciencia y preocupación por parte de la población que puede tener poco aprecio por su entorno, situación que también manifiesta Herrera (2002). Este escenario también se describe

dentro del PDDU donde se menciona que las zonas habitacionales inmediatas son las que contaminan los arroyos con aguas negras y desechos sólidos, así mismo se argumenta un servicio eficiente en cuanto la recolección de basura por parte del municipio (de acuerdo con datos de 2012) al cubrir el 100% de las colonias de Saltillo (Periódico Oficial, 2014). Madrid *et al.* (2009) describen una situación similar para el caso de las barrancas en la Ciudad de México. Por su parte Garrido *et al.* (2010) reconocen esta situación como frecuente a nivel mundial.

Es importante mencionar que aún cuando la recolección de basura en la ciudad es eficiente, se ha rebasado la capacidad del departamento de Ecología Municipal dedicado a la limpieza de arroyos.

Referente a las descargas de agua residual (9% de las observaciones) se corrobora lo descrito por Aguilera *et al.* (2013), pues se encontraron algunas descargas de diámetro considerable que aún no se han conectado a los colectores que conducen el agua residual a la planta de tratamiento principal. Como descargas de agua residual también se incluyeron aquellas alcantarillas que presentaban desbordamiento y que rebasan la capacidad de depuración que ofrece el arroyo. Las descargas sanitarias de las alcantarillas debido a su concentración de materia orgánica, necesitan gran parte del oxígeno disuelto en el agua para ser asimiladas (Herrera, *op. cit.*).

En los cuadros 7, 8 y 9 se muestra la clasificación posterior de las observaciones para la integración de los indicadores de fragmentación por barreras (InFB), vías de comunicación (InFVC), y de afectación a la calidad del agua (InCA), respectivamente. Los anteriores como componentes del Impacto Potencial Directo (IPD).

Cuadro 7. Observaciones utilizadas para la integración del InFB.

No.	Rasgo	No. elementos	Ponderación
1	Presa de gaviones	1	9
2	Diques mampostería	4	8
3	Muro de gaviones	1	7
4	Restos (muros, escombros) y rellenos	37	6
5	Bordos	2	5
6	Tubos, palos y piedras	8	4
7	Cercas de malla	2	3
8	Alcantarillas	5	2
9	Cercas de alambre de púas	3	1
Total:		63	

Las observaciones incluidas en el cuadro 7 corresponden a todas aquellos elementos que retienen, almacenan, regulan, modifican o desvían el libre flujo del agua, por lo que pueden alterar el caudal y régimen natural del arroyo (Garrido *et al.*, *op. cit.*). La ponderación utilizada atiende a las características de tamaño y efectos potenciales. De esta manera la presa de gaviones conocida como Nazario Ortiz Garza además de retener puede: modificar la composición química del agua, cambiar su temperatura, alterar el patrón temporal y espacial del flujo hídrico, modificar la disponibilidad de agua y la distribución de sedimentos; todo lo anterior puede repercutir en la degradación de los hábitats (Garrido *et al.*, *op. cit.*).

El considerar a las vías de comunicación como elementos de fragmentación se debe a que la construcción de este tipo de obras, aún sobre los cauces, también modifica el volumen, la velocidad, la calidad y la estacionalidad de los sistemas fluviales (Jones *et al.*, 2000; Trombuclack y Frissell, 2000; Revenga *et al.*, 1998; Allan *et al.*, 1997)²⁹. En otro tipo de estudios ambientales también se ha tomado en cuenta a las vías de comunicación como indicadores de presión.

²⁹ Citados por Garrido *et al.*, *op. cit.*

Cuadro 8. Observaciones utilizadas para la integración del InFVC.

No.	Rasgo	No. elementos	Ponderación
1	Puentes vehiculares 6 carriles	2	10
2	Puentes de ferricarril	4	9
3	Puentes vehiculares 4 carriles	1	8
4	Puentes vehiculares 3 carriles	2	7
5	Puentes vehiculares 2 carriles	6	6
6	Puentes vehiculares 1 carril	2	5
7	Vados	5	4
8	Puentes peatonales dobles	1	3
9	Puentes peatonales sencillos	6	2
10	Puentes peatonales hechizos	3	1
Total:		32	

Cuadro 9. Observaciones utilizadas para la integración del InCA.

No.	Rasgo	No. elementos	Ponderación
1	Descargas del drenaje sanitario	10	5
2	Descargas industriales	1	3
3	Basura doméstica y ceniza	1	2
4	Descargas domésticas y de tratadora	4	2
5	Ceniza	5	1
6	Sitios con basura doméstica	21	0.6
7	Tubos de drenaje pluvial	5	0.5
8	Sitios con estiércol	4	0.4
9	Sitios con 6 tubos al arroyo	1	0.2
10	Sitios con 5 tubos al arroyo	1	0.15
11	Sitios con 3 tubos al arroyo	4	0.10
12	Sitios con 2 tubos al arroyo	2	0.03
13	Sitios con 1 tubo al arroyo	21	0.02
Total:		80	

En cuanto a los rasgos utilizados para el InCA se determinó incluir la tubería o desagües que conducen al arroyo ante la posibilidad de generar descargas contaminantes.

En el anexo 2 puede observarse la evidencia fotográfica de las observaciones registradas durante el trabajo de campo.

6.2 Zonificación del área de estudio

El área regionalizada resultó ser de 89.42 km². En este espacio se encontraron 141 AGEBS, 21 de ellas son cruzadas por el Arroyo del Pueblo y cuentan con una población de 48 904 habitantes según datos del Censo de Población y Vivienda 2010.

La mayor parte del territorio zonificado se encontró en una zona con una altitud máxima de 1 600 m, la de menor altitud (clave 1) comparada con las demás, esto es porque Saltillo es un valle y 1 600 m es la altura promedio de la ciudad (INEGI, 2000b). En cuanto a los datos geológicos, sólo se utilizó el tipo de roca dominante encontrándose cuatro tipos, el 46.33% de la superficie de estudio se identificó como aluvial. Aunque la palabra puede referirse a un tipo de suelo; desde el punto de vista de las cartas geológicas del INEGI esta denominación se utiliza para referirse a un lugar de depósito, en el caso de estudio se trata de gravas y arenas que se han depositado en un valle (INEGI, 2005). Finalmente en cuanto a los datos de edafología se identificaron seis posibilidades, una de ellas identificada como no aplica debido a que se carece de la información del tipo de suelo por parte del INEGI por encontrarse en la zona urbana, esta característica se encontró en el 52.69% de la superficie. En el cuadro 11 se muestra la caracterización del área de estudio, mientras que en la figura 14 se observa la distribución de las características utilizadas para la conformación de las 158 unidades ambientales (UAs) utilizadas para la expresión de los resultados de la estimación de la presión antropogénica. A través de la zonificación realizada cada UA generada puede ser vista como un sistema, resultado de la interacción de factores físicos importantes para su manejo por comunidades humanas (Bocco *et al.*, 2009).

Cuadro 10. Caracterización del área de estudio.

Característica	Clave	Descripción	% con respecto a la superficie total	No. de UAs
Subzona	1	AGEBs de contacto	21.95	45
	2	AGEBs secundarias al poniente	35.72	63
	3	AGEBs secundarias al oriente	42.33	50
Relieve	1	Hasta 1600 m	47.34	67
	2	Más de 1600 y menos de 1700 m	26.65	38
	3	1700 m	4.63	18
	4	Más de 1700 y menos de 1800 m	18.06	27
	5	1800 m	3.31	8
Geología	1	Aluvial	46.33	63
	2	Conglomerado	17.45	30
	3	Lutita	6.10	2
	4	Lutita-Arenisca	30.13	63
Edafología	1	Calcisol	5.16	18
	2	Chernozem	3.05	6
	3	Kastañozem	20.58	31
	4	leptosol	15.52	26
	5	Regosol	3.00	8
	6	No aplica	52.69	69

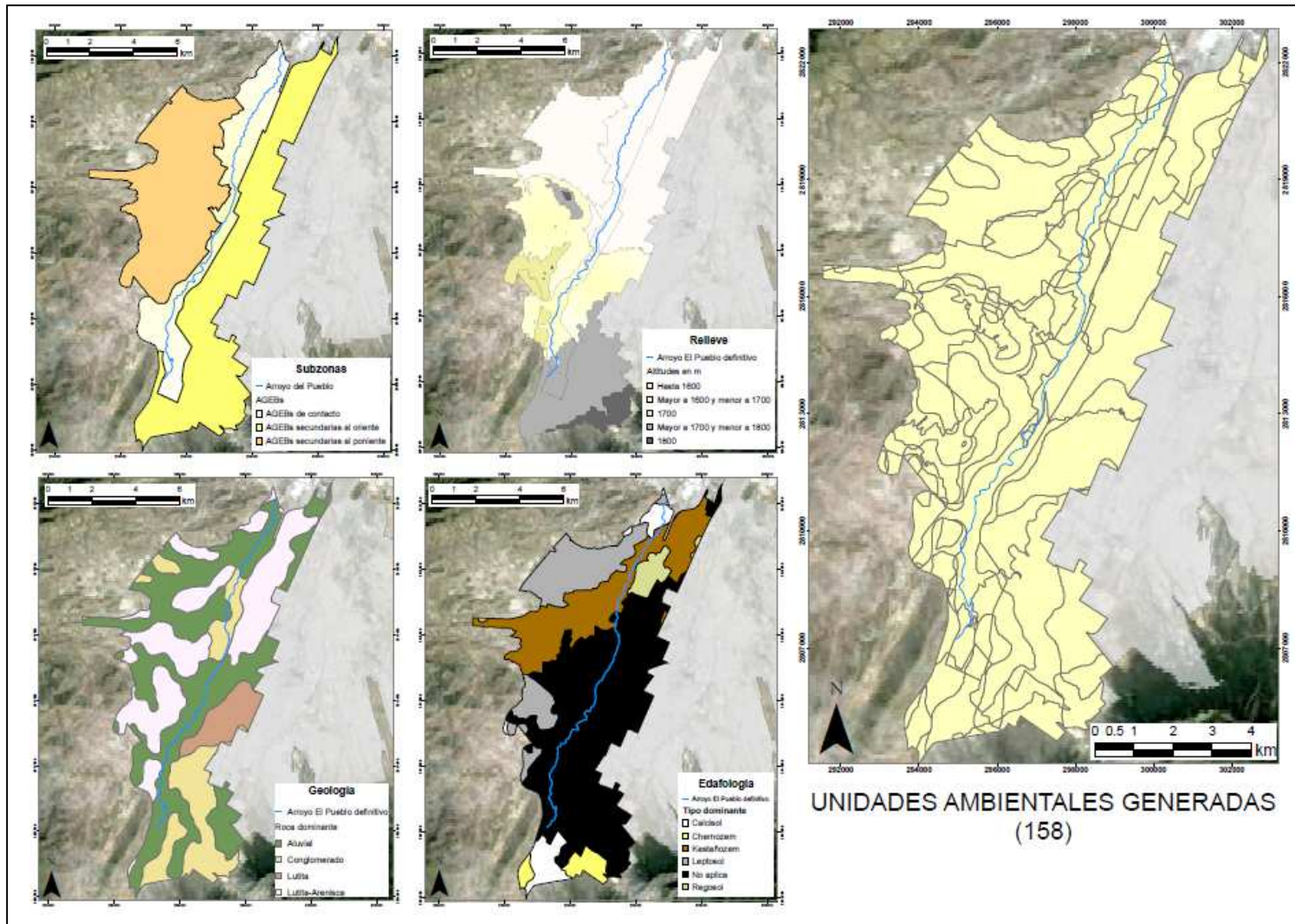


Figura 14. Caracterización del área de estudio y generación del sistema de unidades ambientales.

6.3 Sistema de indicadores ambientales para la estimación de la presión antropogénica

6.3.1 Impacto Potencial Directo (IPD)

Los 18.97 km del cauce analizados se encontraron en 13 UAs que ocupan una superficie total aproximada de 12.41 km². De los 18.97 km el 47.45% (9 km) mostró un IPD muy alto, mientras que el 6.16% (1.17 km) se clasificó sin alteración. El resto del IPD sobre el cauce se clasificó como alto, medio, bajo y muy bajo como se observa en la figura 15. La distribución espacial de los resultados puede observarse en la figura 16 y en la figura 17 se encuentran los intervalos utilizados por el software empleado para la clasificación del IPD.

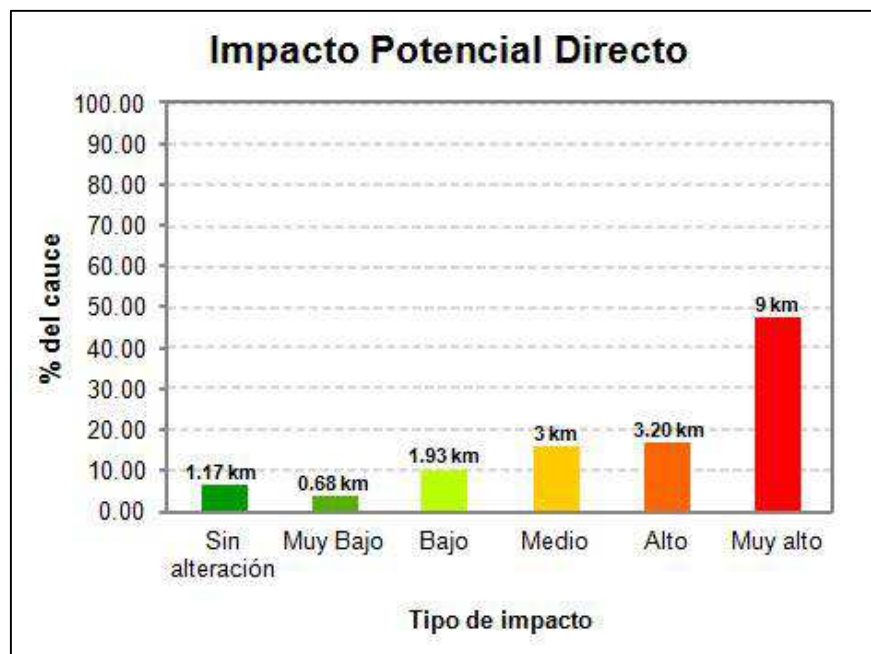


Figura 15. Proporciones de los tipos de IPD encontrados sobre el cauce del Arroyo del Pueblo.

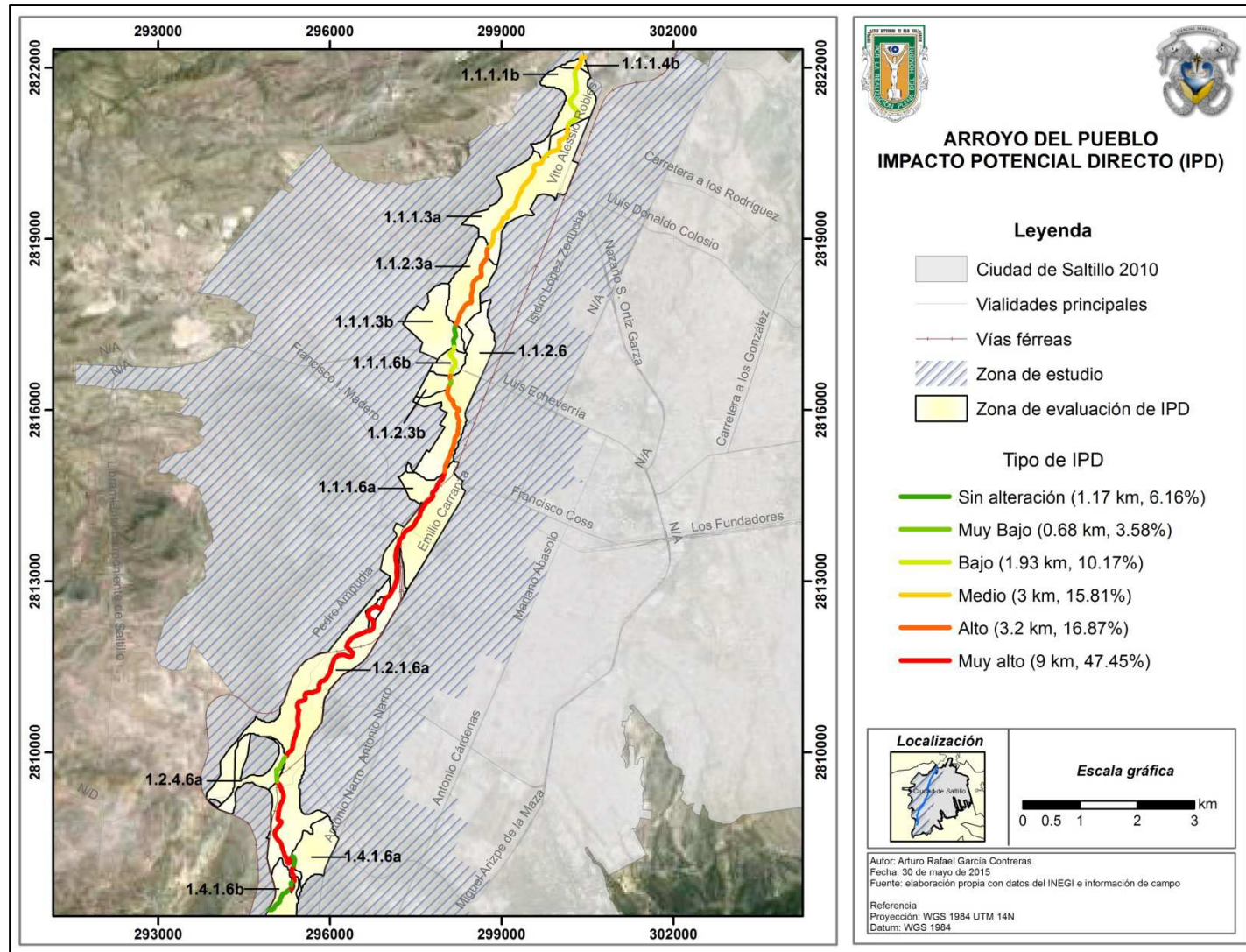


Figura 16. Distribución espacial del IPD.

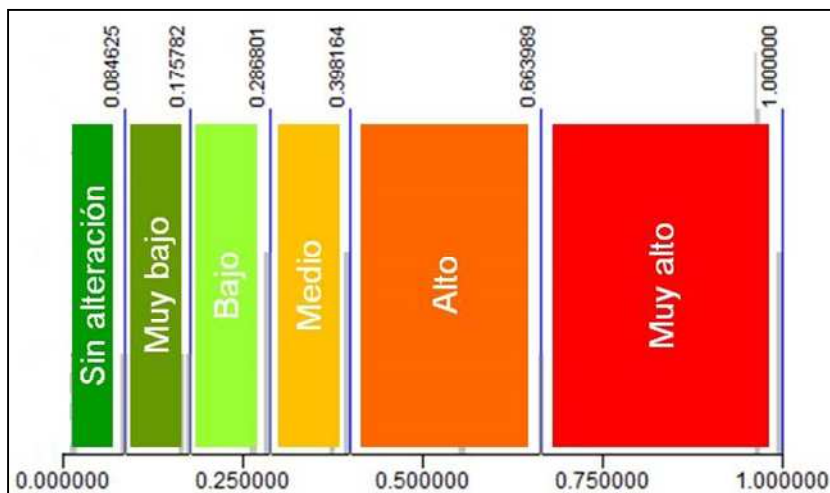


Figura 17. Intervalos empleados para la clasificación del IPD.

Las UAs donde se encontró un IPD muy alto (1.1.1.6a y 1.2.1.6a) se ubican al sur de la ciudad y abarcan el cauce casi desde su inicio hasta el puente vehicular de la calle Pablo L. Sidar (cercano al cruce entre Emilio Carranza y Francisco Coss en la figura 16); es conveniente aclarar que en este recorrido existen porciones de otras UAs que son atravesadas por el arroyo y donde el IPD se clasificó como sin alteración (1.4.1.6b y 1.4.1.6a al inicio del cauce) y con un IPD muy bajo (1.2.4.6a en la colonia Diana Laura Riojas de Colosio, la sección que se encuentra entre el Puente Moreno y la calle Rigoberta Menchú, en la figura 16 aparece después del primer cruce con las vías de ferrocarril). Así mismo debe recordarse que los valores obtenidos mediante la técnica de normalización son relativos a la situación encontrada en otras UAs. La tabla 1 contiene los valores de cada indicador del IPD así como el tipo de IPD por UA.

Tabla 1. Resultados de IPD por unidad ambiental.

UA	Área (km ²)	Longitud del arroyo (km)	InFB	InFVC	InCA	IPD	Tipo de IPD	Ubicación del IPD
1.4.1.6b	0.62	0.57	0.18	0.00	0.00	0.08	Sin alteración	Inicio del cauce
1.4.1.6a	0.56	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	Sin alteración	
1.2.4.6a	0.42	0.49	0.00	0.29	0.06	0.16	Muy bajo	500 m después de Puente Moreno
1.2.1.6a	3.50	5.57	1.00	0.37	0.68	0.96	Muy alto	Poción de mayor tamaño en la parte sur del cauce hasta 600 m después del segundo puente
1.1.1.6a	1.57	3.43	0.38	1.00	0.75	1.00	Muy alto	600 m después del segundo puente ferroviario hasta 100 m después del puente de la calle Pablo L. Sidar
1.1.2.6	1.39	1.66	0.03	0.96	0.42	0.66	Alto	Parte central del recorrido del cauce
1.1.2.3b	0.17	0.19	0.37	0.00	0.00	0.18	Muy bajo	400 m antes de llegar al periférico Luis Echeverría
1.1.1.6b	0.20	0.60	0.00	0.48	0.07	0.26	Bajo	Cruce con el periférico Luis Echeverría
1.1.1.3b	0.76	0.43	0.00	0.00	0.03	0.01	Sin alteración	400 m después del periférico Luis Echeverría
1.1.2.3a	0.80	1.54	0.13	0.04	1.00	0.55	Alto	840 m después del periférico Luis Echeverría
1.1.1.3a	1.64	2.74	0.09	0.33	0.38	0.38	Medio	Norte de la ciudad
1.1.1.1b	0.71	1.33	0.06	0.00	0.55	0.29	Bajo	Norte de la ciudad, hasta 195 m antes del final del recorrido del cauce en Saltillo
1.1.1.4b	0.07	0.26	0.47	0.29	0.09	0.40	Medio	Límite norte de la ciudad

▪ Indicadores de fragmentación por barreras (InFB) y vías de comunicación (InFVC)

Poco después del inicio del cauce se observó la abundancia de barreras seguidas del predominio de vías de comunicación. Es por eso que en la UA 1.2.1.6a, donde se registraron cercas, un muro y una presa de gaviones, alcantarillas, así como la mayor incidencia de sitios con escombros, restos de muros y rellenos; se obtuvo un InFB con un valor de 1. La situación

de fragmentación en la UA 1.2.1.6a fue reconocida por Contreras y Contreras (2008) al realizar estudios con peces de la zona.

Por otro lado en la UA 1.1.1.6a, se registró un predominio de puentes vehiculares (seis puentes: cuatro de dos carriles, uno de tres carriles y uno de un carril), dos puentes ferroviarios y dos puentes peatonales, lo que dio como resultado un InFVC de 1. Estos valores en los indicadores de fragmentación, junto con valores superiores a 0.6 en el InCA contribuyeron a generar el IPD muy alto.

En las UAs con un IPD muy alto se detectaron seis de los ocho puntos con riesgo de inundación alto, esos puntos están asociados con vías de comunicación y asentamientos irregulares que han dado paso a la modificación de la corriente del Arroyo del Pueblo (CONAGUA, 2014).

- Indicador de afectación a la calidad del agua (InCA)

El InCA solo se encontró con un valor de 1 en la UA 1.1.2.3a (al poniente de las colonias Nazario Ortiz Garza, La Purísima y Omega) donde se registraron tres sitios con acumulación de basura doméstica, tres descargas de drenaje sanitario, un sitio con estiércol y tubería. Este resultado del InCA es congruente con valores promedio de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)³⁰ de primavera y verano³¹ obtenidos a partir de los análisis de la calidad del agua del Arroyo del Pueblo realizados en 2001 por Herrera (2002). El punto 18 muestreado por Herrera, tuvo el segundo valor promedio más alto en la DQO (14.11 mg O₂/L) correspondiente a aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable (SEMARNAT, 2010). Ese punto se ubicó en la UA 1.1.2.3a de este estudio. Cabe mencionar que aunque esta unidad es la que tuvo el InCA más alto no significa que tuvo la mayor cantidad de rasgos indicativos de esta alteración (descargas, por ejemplo). El InCA

³⁰ La DQO junto con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST) son los indicadores que muestran la influencia antropogénica sobre la calidad del agua desde el punto de vista de la afectación por la presencia de centros urbanos e industriales (SEMARNAT, 2010). La DBO y los SST .no fueron abordados en el trabajo de Herrera (2002).

³¹ En el trabajo también se realizaron muestreos en invierno, sin embargo estos valores no fueron considerados debido a que las muestras no se procesaron adecuadamente, lo que incrementó la DQO (Herrera, *op. cit.*).

alto se debe a que para estimarlo se tomaron en cuenta datos como el área de la UA y la longitud del cauce que se encuentra dentro de ella, con lo que se obtuvo la densidad y la frecuencia de los rasgos de interés. De esta manera, este pequeño sistema tiene mayor presión que otras UAs.

Así mismo se observó que el promedio del punto de muestreo 3 de Herrera (2002), que se ubicó en la UA 1.2.1.6a, es el que presentó menor DQO promedio (2.66 mg O₂/L) correspondiente a agua prácticamente no contaminada, situación que aún puede considerarse verdadera debido a que durante los recorridos efectuados en dicha zona se observaron peces (ver sección 6.4, cuadro 12) que se consideran indicadores de una buena calidad del agua (Ole, 1997). Según Contreras y Contreras (2008) existe la posibilidad de que los peces observados sean *Dionda melanops* (sardinita ojinegra de Saltillo), una especie endémica en peligro de extinción según la NOM-059-SEMARNAT-2010.

En la 1.1.2.3a el InCA fue de 0.67, por lo que puede observarse una falta de correspondencia con los resultados de Herrera (2002), aunque es preciso recordar que el InCA es un indicador de presión, mientras que la DQO es un indicador de estado.

6.3.2 Impacto Potencial sobre la Zona Riparia (IPZR)

De acuerdo con la red hidrográfica escala 1:50 000 del INEGI, el Arroyo del Pueblo está integrado por segmentos con órdenes de corriente de segundo, cuarto, quinto y sexto orden, por lo que la zona riparia tuvo en su mayoría un ancho de 100 m, observándose solo un ancho de 40 m al inicio del cauce donde la corriente tiene asignado un segundo orden. A medida que la corriente avanza hacia el norte de la ciudad el orden se va incrementando por la presencia de afluentes que aumentan dicho parámetro (Vargas, *op. cit.*). Entre los afluentes se encuentran los arroyos San Lorenzo, El Mimbres, El Morillo, Presa de los Narro, Las Víboras, Santiaguito, Las Cajas y Flores (CONAGUA, *op. cit.*).

En cuanto a la asignación de porciones riparias por UA, inicialmente resultaron 21 UAs asociadas, sin embargo se descartó una de ellas debido a que se observó que se encontraba

sobre la ladera de un cerro y se determinó que podría causar interferencia con el análisis del resto de las porciones riparias de las UAs. De esta manera se obtuvieron 20 UAs con porciones riparias que en total sumaron un área de 3.6 km². En la figura 18 se observan las proporciones de los tipos de IPZR encontrados en este estudio, la figura 19 contiene la distribución espacial de los resultados y la figura 20 muestra los intervalos utilizados para la asignación del tipo de IPZR.

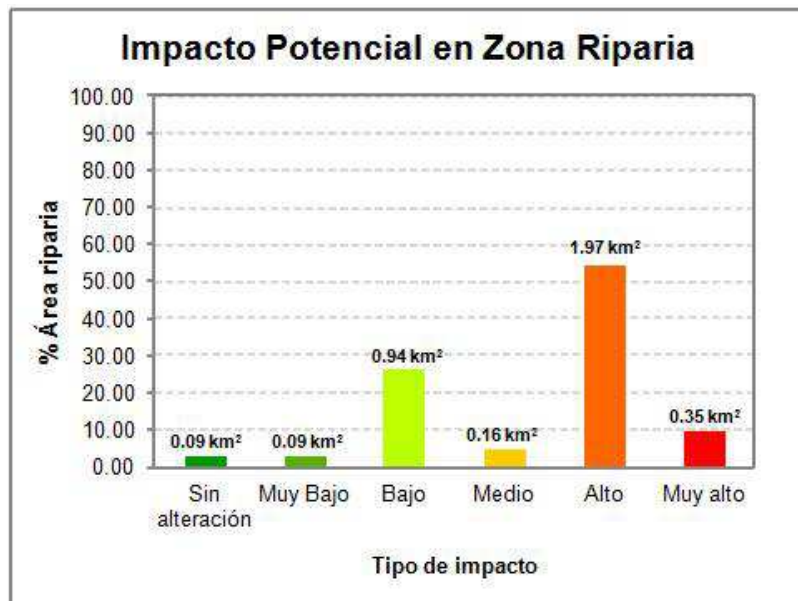


Figura 18. Proporciones de los tipos de IPZR encontrados.

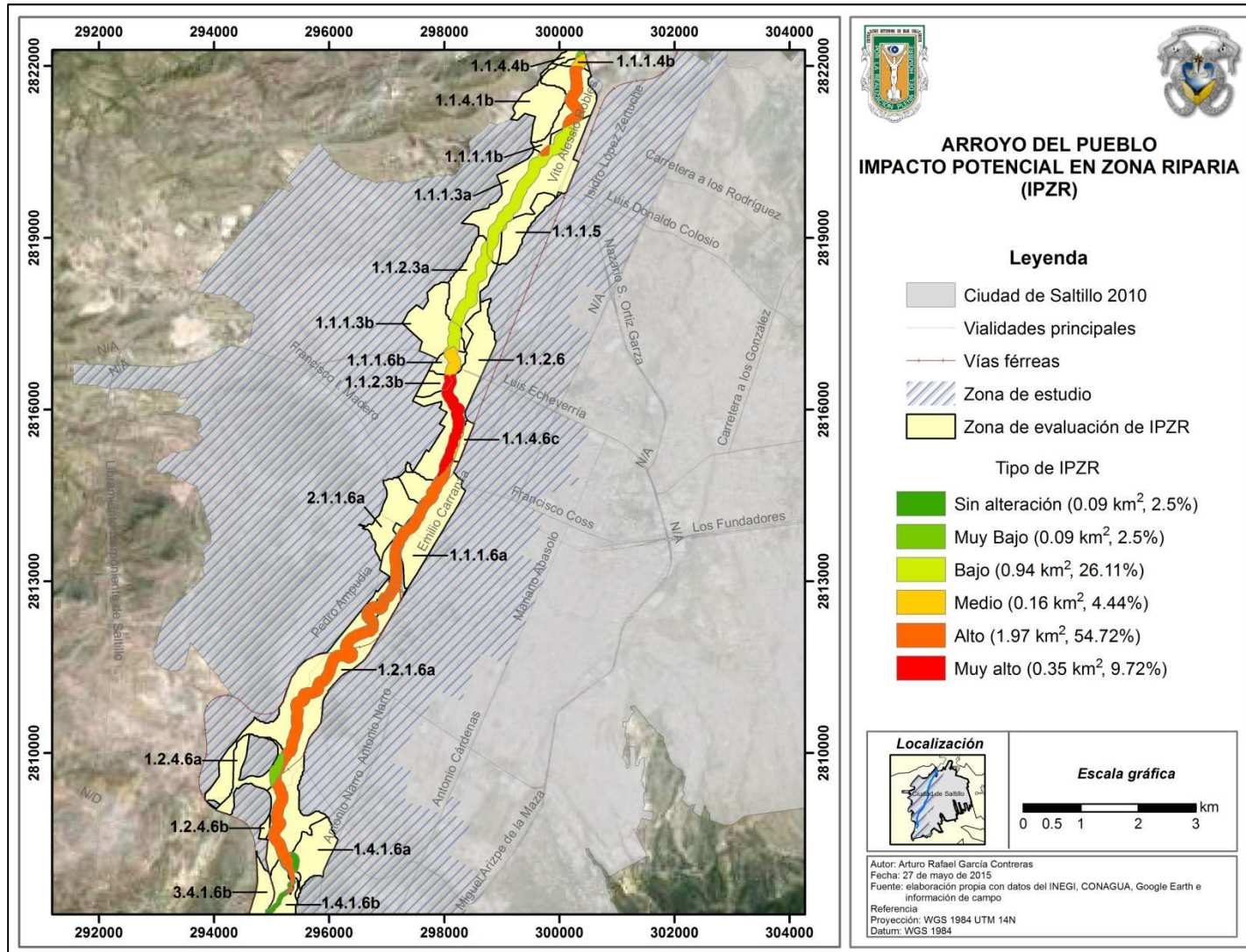


Figura 19. Distribución espacial del IPZR.

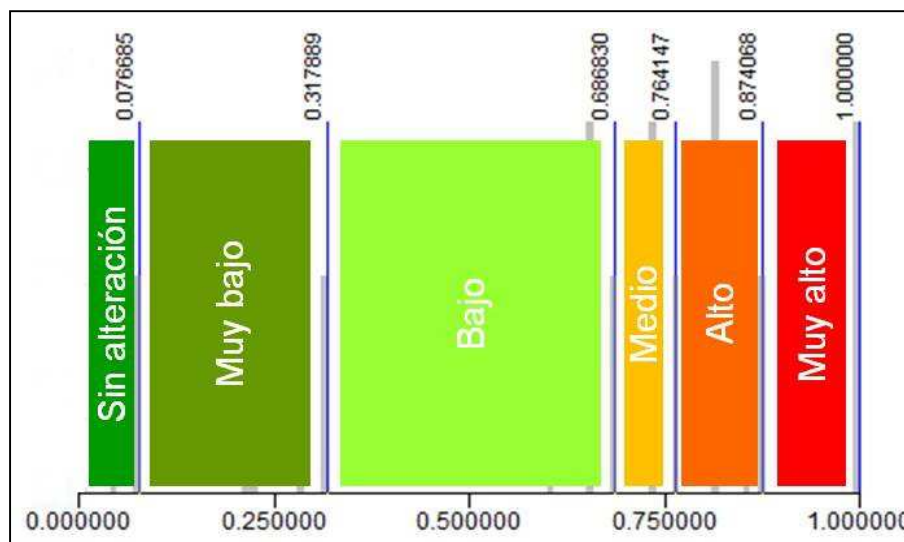


Figura 20. Intervalos empleados para la clasificación del IPZR.

El IPZR muy alto se encontró sobre el 9.7% de la superficie analizada y se ubicó en la parte central de la misma (de la calle Pablo L. Sidar hasta poco antes del periférico Luis Echeverría Álvarez). Esta zona abarca las partes riparias de las UAs 1.1.2.3b y 1.1.2.6, que presentaron valores más altos en los indicadores de impacto por población, InIPo (mayor densidad de población estimada), y de uso de suelo y vegetación (InUSV), respectivamente. Por otro lado, las zonas consideradas sin alteración se ubicaron al sur de la ciudad, antes de que se ingrese a la zona urbanizada de acuerdo con la serie V de uso de suelo y vegetación del INEGI. Por estas zonas se desarrolla la agricultura lo que explica que no se observe un impacto comparable a lo ocasionado por la urbanización (Rivera, *op. cit.*; Maya, *op. cit.*).

El que el IPZR más alto se encontrara en la parte central del área de estudio donde se identifican usos de suelo habitacionales, comerciales, de servicios y de industria ligera (Periódico Oficial 2005 y 2014) confirma que existe una estrecha relación entre la elevada alteración representada por un InUSV alto y una fuerte demanda de servicios ambientales por parte de la población expresada a través del InIPo (Garrido *et al.*, *op. cit.*).

La figura 21 muestra los valores normalizados de los componentes del modelo para la determinación del IPZR en las distintas UAs. Se estimó el coeficiente de correlación de

Pearson (r)³² donde se observa una alta correlación con el indicador de uso de suelo y vegetación (0.84), seguido por el indicador de población (0.71) tal como lo enuncia Garrido, *et al.* (2010).

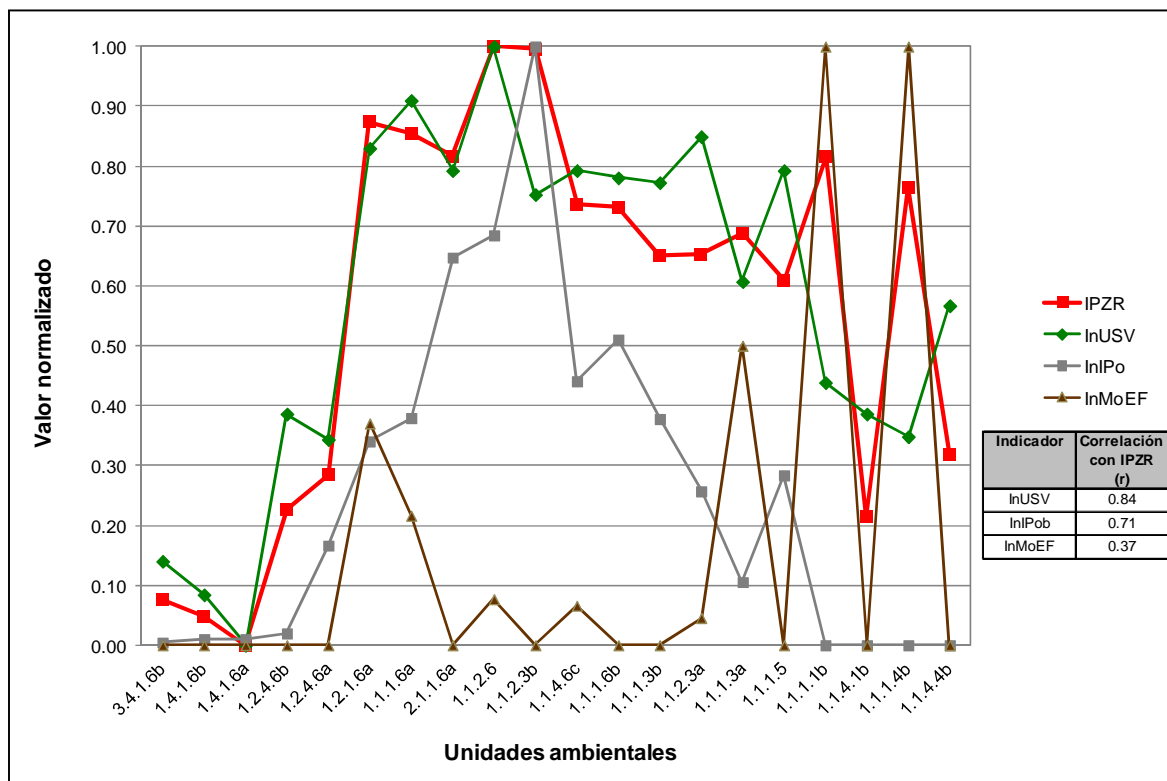


Figura 21. Comportamiento de los indicadores del IPZR y su relación con el mismo.

Nota: puede observarse que el InUSV tiene una relación mayor con el IPZR que los otros dos indicadores.

Así mismo, dentro del InUSV que se compone de los indicadores de transformación (InT), fragmentación (InF) y de impacto por asentamientos humanos (InAH) (figura 11), se encontró que este último tuvo mayor relación con los resultados del indicador de uso de suelo y vegetación ($r = 0.88$) que el de transformación ($r = 0.68$) y el de fragmentación ($r = 0.66$), siendo ambas significativas.

³² El coeficiente r indica la magnitud y el sentido de la relación entre dos variables. Valores de hasta 0.3 indican una relación baja, en 0.5 se considera una relación media, las relaciones altas se consideran a partir de valores de 0.7 y la relación será perfecta cuando r sea igual a 1. El coeficiente puede adquirir valores positivos y negativos que se traducen en relaciones directamente proporcionales (+) o inversamente proporcionales (-).

En cuanto a los datos con los que se conformó el InMoEF, las concesiones vigentes de uso de zona federal otorgadas por la CONAGUA y ubicadas dentro de la zona de estudio, se encontraron 26 títulos de concesión donde se contemplan usos agropecuarios (16), de recreación (2), comercial (1), para uso como patio (1), así como de protección y ornato (6).

En la figura 19 puede observarse una zona con un IPZR bajo que representa el 26.1% de toda la zona riparia. Este IPZR se explica por valores muy bajos en el InMoEF y en el InIPo (baja densidad poblacional estimada). Como ejemplo, la UA más grande de esa zona, la 1.1.1.3a, aunque se consideró transformada (pérdida de vegetación natural) y con vegetación fragmentada tuvo un 17% de su superficie ocupada con asentamientos humanos.

En la parte final de la zona de estudio se encuentra la UA 1.1.1.1b donde se identificó un IPZR alto, esto se atribuye a un InMoEF alto aún con un InIPo muy bajo. Este último debido a que en esa ubicación el destino del suelo ha sido para industria ligera y no habitacional de acuerdo con los últimos PDDUs de Saltillo (Periódico oficial, 2005 y 2014).

Es conveniente mencionar que el IPZR tiene las siguientes limitaciones:

- a) Para el cálculo del InUSV se utilizó un indicador de transformación que asume que toda el área de estudio estuvo alguna vez cubierta por vegetación.
- b) Durante el cálculo del InF para el InUSV se tomó en cuenta toda la cobertura vegetal sobre el cauce y en sus alrededores (a excepción de zonas de cultivo y vegetación de zonas urbanas) por lo que existe la posibilidad de que existan especies introducidas como el carrizo gigante (*Arundo donax*) que obstruye el cauce, provoca mayor sedimentación, modifica la calidad del agua y puede desecar el arroyo al elevarse la tasa de evapotranspiración³³ (Contreras y Contreras, *op. cit.*).
- c) En el cálculo del InMoEF no se consideró la influencia que puede ejercer la modificación de la estructura física de una zona riparia sobre otra, ya que se puede provocar inestabilidad

³³ La evapotranspiración es el proceso por el cual el agua es transferida desde la superficie terrestre hacia la atmósfera. Incluye la evaporación de agua (en forma sólida y líquida) que se encuentra sobre el suelo o sobre superficies vegetales vivas o muertas (rocío, escarcha), como las pérdidas de agua a través de las superficies vegetales, particularmente las hojas (transpiración) (Miliarium Aureum, S.L., 2004).

de laderas y tierras adyacentes, inundaciones, contaminación del agua y la pérdida o reducción de su flujo (Garrido *et al.*, *op. cit.*).

- d) El InMoEF solo contempló los permisos vigentes de la CONAGUA, por lo que no se tomó en cuenta los terrenos que son utilizados y que no están autorizados.
- e) No se cuenta con las coordenadas de los vértices de los polígonos concesionados.
- f) No se distinguió entre las actividades que se desarrollan sobre cada terreno concesionado.

Lo anterior conduce a un análisis general de la zona de estudio el cual puede requerir una calibración mediante recorridos en campo. En la tabla 2 puede observarse los resultados de cada indicador que dio paso al IPZR por UA, así como su ubicación.

6.3.3 Impacto Potencial sobre el Área de Estudio (IPAE)

Al evaluar los cambios en la cobertura de uso de suelo y vegetación, y expresar su importancia mediante el IPAE se contribuye a generar una noción sobre las zonas donde los efectos del cambio podrían ser más evidentes.

Se sabe que el cambio de uso de suelo y vegetación modifica la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, alterando el ciclo hidrológico y manifestando algunos efectos en zonas distantes del área donde se realizó la transformación (Ruiz, 2010). Dentro de estos efectos pueden citarse la modificación en los microclimas, la erosión de los suelos, el incremento en el acarreo de los sedimentos y su depósito en cuerpos de agua naturales y artificiales, y la pérdida de biodiversidad (Tudela, 2004). Todo lo señalado con anterioridad es un indicativo de la disminución en la capacidad de los ecosistemas para la provisión de los servicios ambientales.

Tabla 2. Resultados de IPZR por unidad ambiental.

UA	Área riparia (m ²)	InUSV	InPo	InMoEF	IPZR	Tipo de IPZR	Ubicación
3.4.1.6b	2 087.41	0.14	0.00	0.00	0.08	Sin alteración	Inicio de la zona de evaluación, cruzada por una vía de ferrocarril
1.4.1.6b	56 789.33	0.08	0.01	0.00	0.05	Sin alteración	Inicio de la zona de evaluación
1.4.1.6a	34 194.30	0.00	0.01	0.00	0.00	Sin alteración	
1.2.4.6b	1 334.50	0.39	0.02	0.00	0.23	Muy bajo	Pequeña porción ubicada al poniente
1.2.4.6a	80 833.71	0.34	0.17	0.00	0.29	Muy bajo	Porción en el surponiente después del primer puente ferroviario
1.2.1.6a	1 177 925.90	0.83	0.34	0.37	0.87	Alto	Parte del inicio de la zona de evaluación hasta poco antes de la calzada Fco. I. Madero
1.1.1.6a	520 018.37	0.91	0.38	0.22	0.85	Alto	Enseguida de la 1.2.1.6a hasta poco después de la calle Pablo L. Sidar (cercana a Fco. Coss y Emilio Carranza)
2.1.1.6a	10 466.10	0.79	0.65	0.00	0.82	Alto	Pequeñas porciones al poniente de la 1.1.1.6a
1.1.4.6c	16 014.82	0.79	0.44	0.07	0.74	Medio	Pequeña fracción al oriente entre Fco. Coss y Luis Echeverría
1.1.2.6	321 830.37	1.00	0.68	0.08	1.00	Muy alto	Porción central entre Fco. Coss y Luis Echeverría
1.1.2.3b	29 468.32	0.75	1.00	0.00	1.00	Muy alto	
1.1.1.6b	103 622.40	0.78	0.51	0.00	0.73	Medio	Sección cruzada por Luis Echeverría
1.1.1.3b	93 981.79	0.77	0.38	0.00	0.65	Bajo	Poco después de Luis Echeverría hasta 1 km antes del final de la localidad
1.1.2.3a	298 049.44	0.85	0.26	0.05	0.65	Bajo	
1.1.1.3a	542 602.41	0.61	0.11	0.50	0.69	Bajo	
1.1.1.5	6 243.32	0.79	0.28	0.00	0.61	Bajo	
1.1.1.1b	256 667.35	0.44	0.00	1.00	0.82	Alto	
1.1.4.1b	1 613.53	0.39	0.00	0.00	0.21	Muy bajo	Norte de la ciudad
1.1.1.4b	39 624.71	0.35	0.00	1.00	0.76	Medio	
1.1.4.4b	11 129.50	0.57	0.00	0.00	0.32	Muy bajo	

Al comparar las coberturas de uso de suelo y vegetación³⁴ de las series de 1985 y 2011 (figura 22), para la zona de estudio, se observó un incremento del 47.9% de la zona urbana y los asentamientos urbanos, con disminuciones en las superficies totales de vegetación natural³⁵, pastizal inducido (cambio más grande) y agricultura, como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Diferencias entre las cartas de uso de suelo y vegetación (series I y V) en la zona de estudio.

Tipo de uso de suelo	Superficie 1985 (km ²)	% del total	Superficie 2011 (km ²)	% del total	Diferencia (%)
Vegetación natural	21.36	23.88	13.19	14.75	-9.13
Pastizal inducido	37.89	42.37	6.85	7.66	-34.71
Agricultura	16.45	18.39	12.82	14.33	-4.06
Zona urbana y asentamientos humanos	13.73	15.35	56.56	63.25	47.90

En el área de estudio se identificaron 111 UAs con cambios que se clasificaron como impactos ambientales negativos³⁶ en toda la unidad o en una porción de esta; en 21 el impacto ambiental se clasificó como positivo³⁷ en toda la UA y en 26 no se registraron cambios en las proporciones de cobertura. La tabla 4 muestra la descripción de los impactos ambientales negativos encontrados, la diferencia en calidades ambientales (parámetro definido de manera subjetiva en este estudio), el tipo de reversibilidad asignado a cada impacto según la escala de Conesa (2010) y el número de UAs donde se observó. Cabe mencionar que en algunas UAs se registraron hasta cuatro de esos impactos.

³⁴ De acuerdo con el INEGI (2009 y s.f.) se tienen las siguientes definiciones:

Zona urbana. Espacio físico construido con diversas edificaciones (vivienda, fábricas, edificios, bodegas) e infraestructura de servicios (drenaje, tuberías de agua, tendidos eléctricos); habitan poblaciones mayores de 2 500 personas. Hay zonas que son asentamientos humanos pero que no están urbanizadas.

Pastizal inducido. La vegetación que surge después de que se elimina la vegetación original, también puede establecerse en áreas agrícolas abandonadas o como producto de áreas que se incendian con frecuencia.

³⁵ Compuesta principalmente por matorral desértico micrófilo y rosetófilo.

³⁶ Se consideraron impactos ambientales negativos desde el punto de vista de la pérdida del valor naturalístico (Conesa, *op. cit.*).

³⁷ Los impactos ambientales positivos incluyeron cambios de agricultura a pastizal inducido o vegetación natural o de pastizal inducido a vegetación natural.

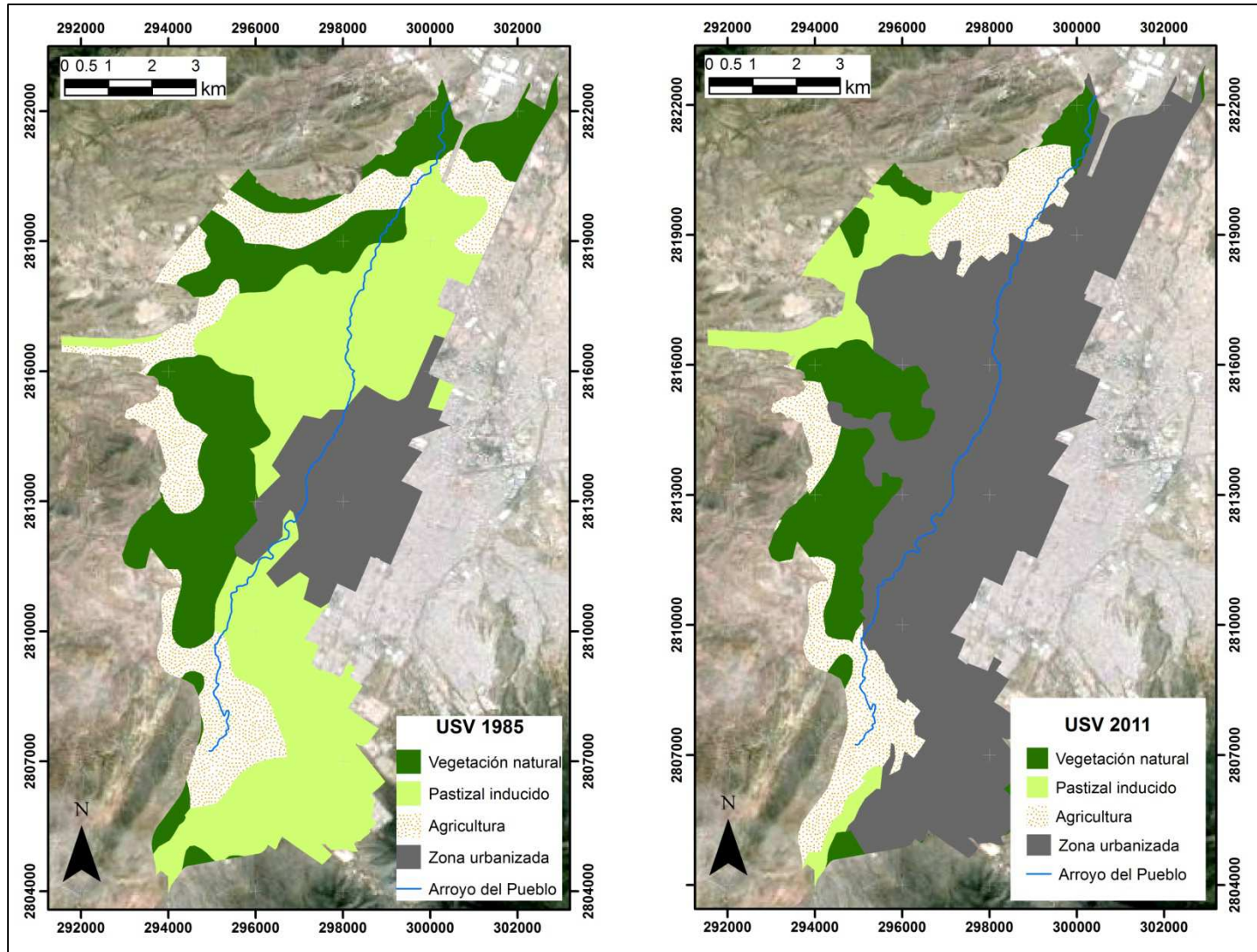


Figura 22. Comparativo entre las coberturas de uso de suelo y vegetación de 1985 y 2011.

Nota: como zona urbanizada también se incluyen asentamientos humanos.

Tabla 4. Descripción de impactos ambientales negativos encontrados.

De	A	DCA	Reversibilidad	No. de UAs
VN	PI	4	4	3
VN	AG	6	4	25
VN	ZUyAH	9	4	34
PI	AG	2	2	11
PI	ZUyAH	5	4	70
AG	ZUyAH	3	4	18

Nota: DCA = diferencia en calidad ambiental, VN = vegetación natural, PI = pastizal inducido, AG = agricultura, ZUyAH = zona urbana y asentamientos humanos.

Como resultado de la evaluación de la importancia de los impactos ambientales negativos se establecieron cinco clases para el IPAE utilizando los intervalos indicados en la figura 23.

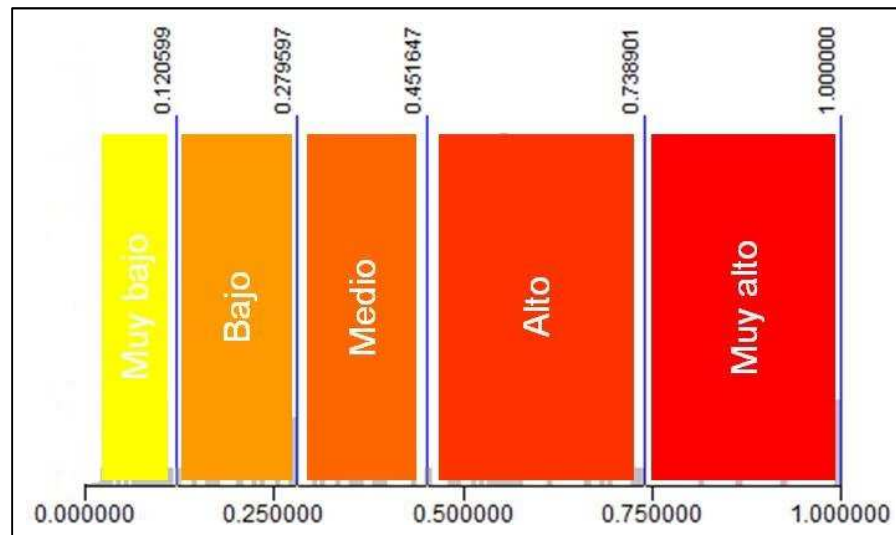


Figura 23. Intervalos empleados para la clasificación del IPAE.

La distribución espacial de los resultados se muestra en la figura 24 e incluye las UAs donde no se observaron cambios y aquellas donde se registraron impactos ambientales positivos. En la figura 25 se indica la proporción de los resultados considerando toda la zona de estudio. Es importante mencionar que la información generada a través de la estimación del IPAE puede utilizarse si se desea evaluar la presión antropogénica en los afluentes del Arroyo del Pueblo.

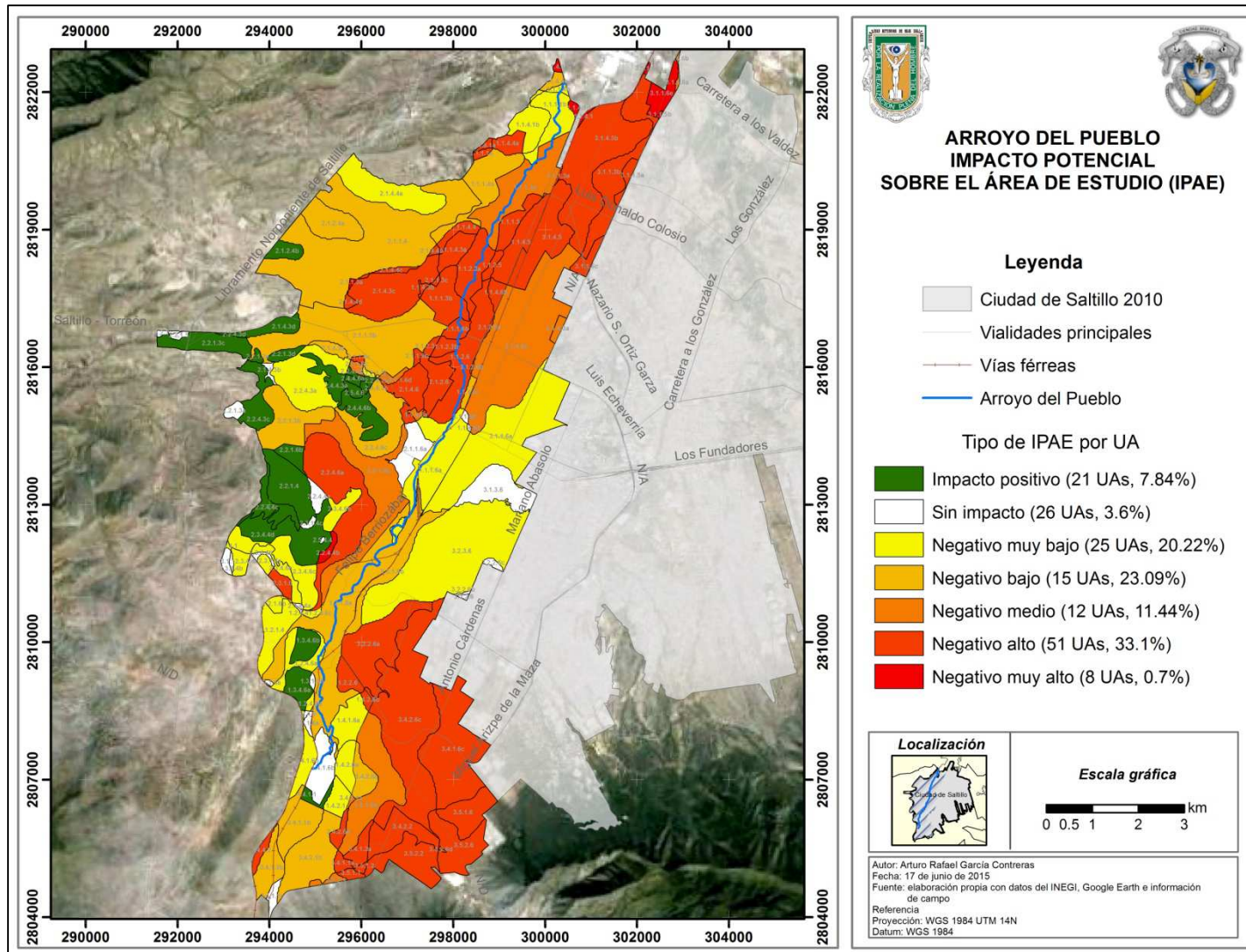


Figura 24. Distribución espacial del IPAE.

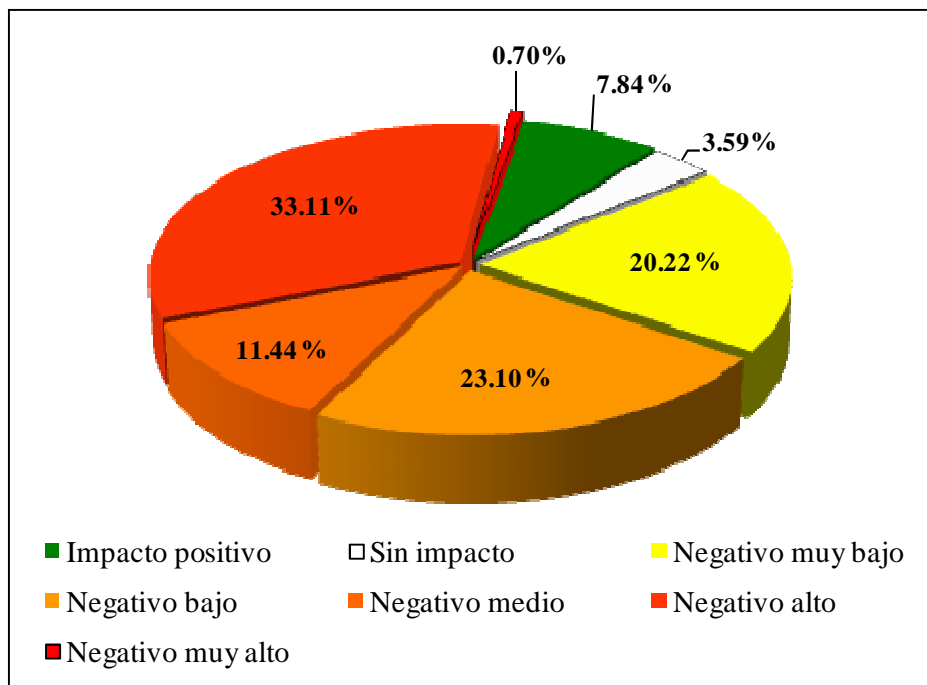


Figura 25. Proporciones del IPAE.

El 88.57% del área de estudio recibió algún tipo de impacto negativo, la mayoría de estos impactos se asocian a cambios de pastizal inducido a zona urbana seguidos por los de vegetación natural a zona urbana (UAs con impacto muy alto), y vegetación natural a agricultura (tabla 4). La importancia de lo anterior radica en que se ha demostrado que para que el suelo pueda preservar sus funciones, es necesario garantizar su contacto con el agua, la vegetación y el aire del entorno, conservando las propiedades que regulan su calidad³⁸, condición que tiende a perderse a medida que avanzan los procesos de urbanización que generan superficies impermeables (pavimento, construcciones) en función de criterios inmediatistas para dar solución a presiones sociales, de vivienda o de fluidez de tránsito (Cram *et al.*, 2008).

El impacto de los cambios de uso de suelo puede manifestarse a través de efectos a corto o largo plazo, un efecto a corto plazo en las UAs donde se transformó el pastizal inducido a zona

³⁸ De acuerdo con Karlen *et al.* (1997) la calidad del suelo es la capacidad para funcionar dentro de los límites naturales para sostener la productividad de plantas y animales, mantener la calidad del aire, el agua y sostener la salud humana (Cram *et al.*, op cit).

urbana puede ejemplificarse mediante la pérdida de un sitio de recreación (Costanza *et al.*, 1997) que también puede desempeñar un papel importante en el manejo del riesgo de inundación (Costanza *et al.*, *op cit.*; Su *et al.*, 2014). A largo plazo, los efectos del cambio de uso de suelo formarán parte de un impacto acumulativo³⁹ (Haase, 2008) donde intervienen otras evidencias de un proceso de urbanización como son el incremento de la superficie de redes carreteras, la fragmentación y el drenaje de humedales, la disminución en la capacidad de drenaje debido a la desaparición de planicies de inundación empleadas por desarrolladores, canalización y alteración del paisaje agrícola (Shuster *et al.*, 2005). El efecto a largo plazo mejor documentado es la alteración del ciclo hidrológico en la parte urbana de una cuenca hidrográfica. En ciudades como Leipzig, Alemania; el Condado de New Castle, Delaware, E.U.A.; y Nanjing, China se han realizado estudios donde se han demostrado alteraciones del ciclo en las fases de escorrentía superficial, recarga de acuíferos y evapotranspiración.

Como se observa en la figura 26, al incrementarse la proporción de superficie impermeable se impide la evapotranspiración⁴⁰ los tiempos de concentración⁴¹ se hacen más cortos, incluso con lluvias cada vez más ligeras (Shuster *et al.*, *op. cit.*), lo que incrementa el volumen y la velocidad con la que las escorrentías superficiales se incorporan a los cauces principales (Su *et al.*, *op. cit.*) rebasando su flujo máximo (Polo, 2014). Por el incremento en la escorrentía también se disminuye la recarga de los acuíferos⁴² (Shuster *et al.*, *op. cit.*; Haase, *op. cit.*), misma que en el caso de la zona de estudio pudo verse afectada por la remoción inicial del pastizal inducido, pues según Keese *et al.* (2005) las áreas cubiertas con pastos tienen mayor valor para la recarga de acuíferos en el desierto Chihuahuense que las áreas cubiertas por árboles y matorrales.

³⁹ Un impacto acumulativo resulta cuando el impacto de la acción propuesta se añade al impacto de otras acciones pasadas, presentes y acciones futuras razonablemente previsibles, independientemente de quien realizará dichas acciones (Council of Environmental Quality, 1978 citado por Canter y Kamath, 1995).

⁴⁰ Albretch (1974) reportó que entre 1954 y 1968 en el Condado de New Castle, Delaware, E.U.A. la ciudad creció de 20 a 100% lo que produjo una disminución de la evapotranspiración y la recarga de los acuíferos por un factor de dos, en tanto que la escorrentía se incrementó en un 50% (Shuster *et al.*, *op. cit.*). Resultados similares fueron obtenidos por Haase (2008) para la ciudad alemana de Leipzig con periodos de evaluación de 1870 a 2003.

⁴¹ Es el tiempo en horas para que se sature el suelo y el agua comience a correr.

⁴² La infraestructura pluvial también puede afectar la recarga de los acuíferos al concentrar rápidamente los escurrimientos y reducir las posibilidades para que se lleve a cabo la infiltración (Shuster *et al.*, *op. cit.*).

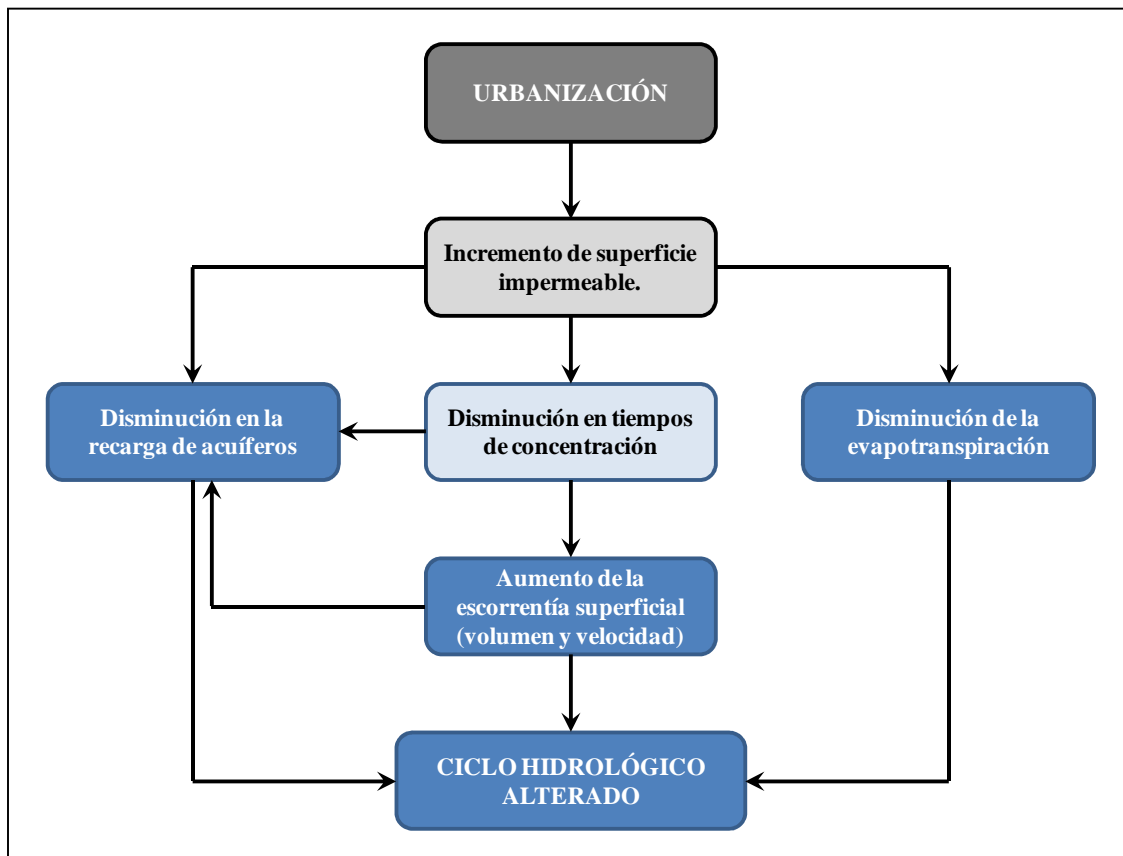


Figura 26. Alteración del ciclo hidrológico en zonas urbanas.

Fuente: elaboración propia con información de Shuster *et al.*, 2005; Haase, 2008 y Su *et al.*, 2014.

Todo lo descrito con anterioridad conduce potencialmente a un incremento en el riesgo de inundaciones (Haase, *op. cit.*). Así mismo, Su *et al.* (2014) mencionan que los impactos aguas arriba ocasionarán disturbios a lo largo de la corriente, mientras que los disturbios aguas abajo crearán impactos más concentrados; mediante este argumento puede explicarse la distribución de las notificaciones a viviendas en situación de riesgo durante las temporadas de lluvia que realiza la Dirección Municipal de Protección Civil de Saltillo. En la figura 27 se indica la distribución de las notificaciones efectuadas sobre los márgenes del Arroyo del Pueblo durante 2014, en total se efectuaron 170 avisos con una población afectable estimada de 993 personas, se observa una concentración de estos avisos en la UA 1.1.2.6 (IPAE negativo alto) correspondiente a las colonias González Norte (29 notificaciones con 142 personas), Isabel Amalia (87 notificaciones con 469 personas) y Anáhuac (20 notificaciones con 207 personas).

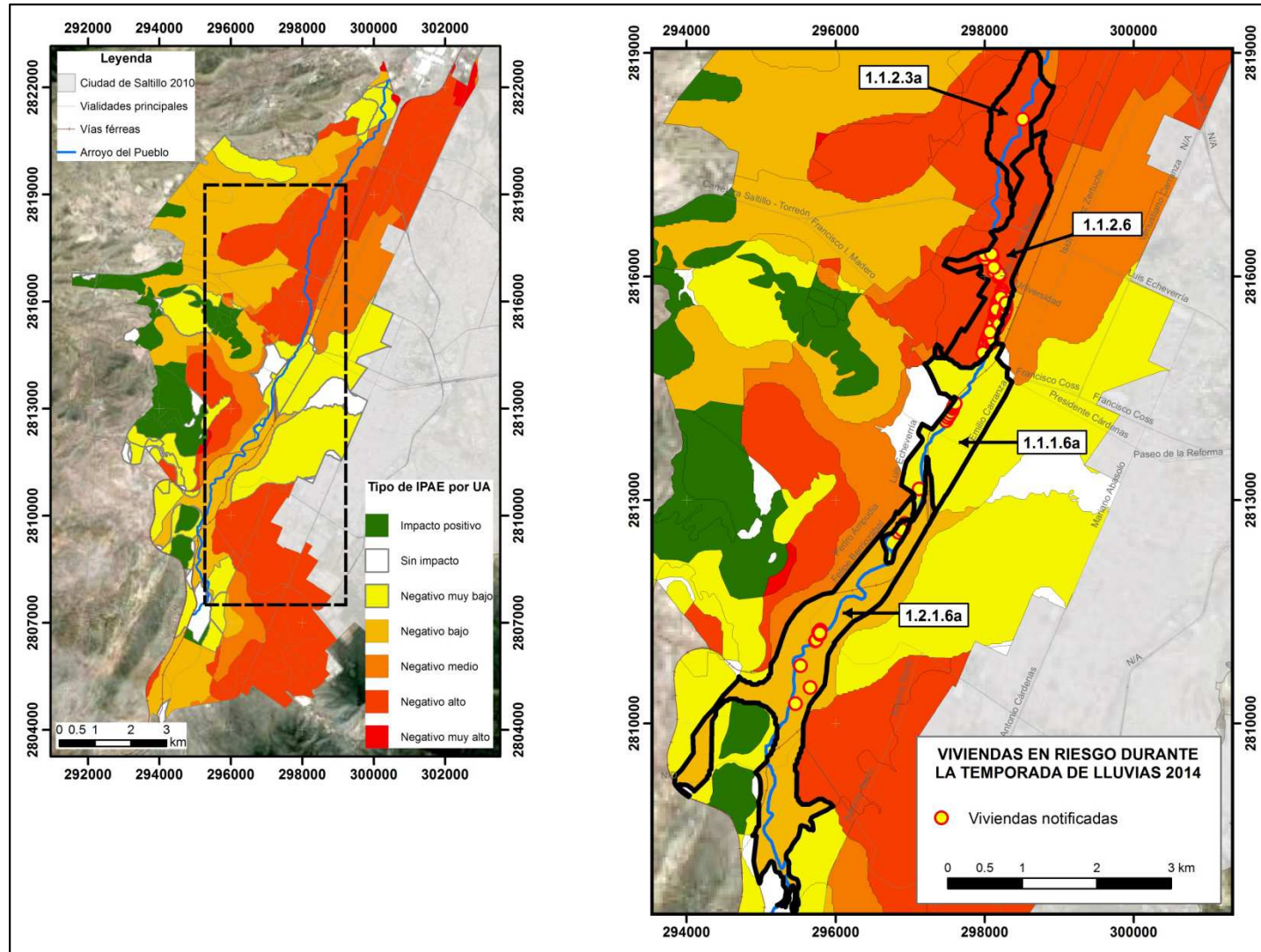


Figura 27. Viviendas en situación de riesgo durante la temporada de lluvias 2014 y su relación con el IPAE.

El crecimiento de la zona urbana trae un aumento en la demanda de bienes y servicios, y cuando este proceso de urbanización se da de manera rápida, como ha ocurrido en toda la cuenca del Río Bravo, se limitan las capacidades de autorregeneración de los ambientes naturales inmediatos ocasionando presión que además es potenciada por la conectividad entre ciudades (Ruiz, *op cit.*), como es el caso de las UAs con un impacto negativo muy alto que en su mayoría se ubican en los límites entre Saltillo y Ramos Arizpe.

La mayor parte de las UAs con impacto negativo alto se encuentra al norte y sur del área de estudio cerca de las carreteras a Monterrey y Zacatecas, lo que confirma una tendencia de crecimiento tras el análisis de cambio de uso de suelo y vegetación efectuado en toda la subcuenca por Pérez y colaboradores (2012).

Referente a las zonas donde se registraron impactos positivos, estas se localizan, en su mayoría, en las partes altas de los cerros y los cambios fueron de agricultura a pasto inducido y vegetación natural. En cuanto a la superficie donde no se experimentaron cambios, la mayor parte se ubicó en el área que se consideraba urbanizada en 1985, también se destaca la UA 1.4.1.6b donde inicia el recorrido del Arroyo del Pueblo y donde los indicadores presentados en las secciones anteriores mostraron los valores más bajos.

6.3.4 Estimación de la presión antropogénica (PA)

Como se mencionó anteriormente, la PA se concibió como la suma ponderada del impacto potencial directo (IPD), el impacto potencial sobre la zona riparia (IPZR) y el impacto potencial sobre el área de estudio (IPAE) (apartado 5.3). La expresión cartográfica de la estimación de la PA sobre el Arroyo del Pueblo se realizó utilizando las unidades ambientales donde se determinaron zonas riparias (20 UAs). Para la clasificación del grado de PA se determinaron cinco clases con los intervalos señalados en la figura 28.

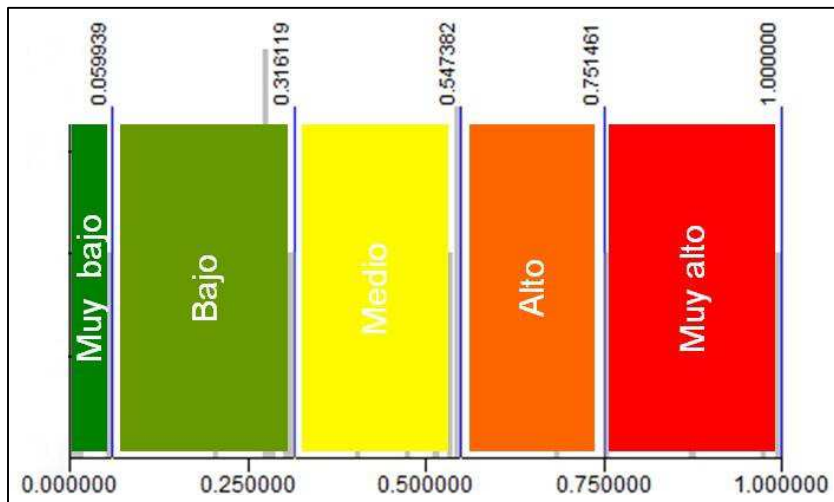


Figura 28. Intervalos empleados para la clasificación de la PA.

En la tabla 5 se indican los resultados del grado de PA encontrado por UA, así como la longitud del cauce en dicho espacio. En tres UAs (1.2.1.6a, 1.1.1.6 y 1.1.2.6), que representan el 44.35% (6.46 km²) de la superficie evaluada, se identificó una PA muy alta, estas unidades contienen el 56.19% de la longitud del cauce (10.66 km) (ver figura 29) y en ellas el INEGI (2010c) estima una población de 37 481 habitantes de acuerdo con datos del Censo de Población y vivienda 2010, lo que representa más del 70% de la población ubicada en las AGEBs que recorre el Arroyo del Pueblo.

Esta situación concuerda con la realidad nacional, ya que autores como Garrido *et al.* (2010); González *et al.* (2010); y Polo (2014) describen una estrecha relación entre el grado de alteración de los sistemas fluviales y la urbanización, proceso social y espacial relacionado con la transformación de la población y la tierra de zonas rurales a zonas urbanas (Cen *et al.*, 2015) que implica una cantidad considerable de personas

Tabla 5. Presión antropogénica por unidad ambiental.

UA	Área (km ²)	Porción relativa al área de evaluación (%)	Longitud del arroyo (km)	Longitud relativa (%)	IPD	IPZR	IPAE	Presión antropogénica (PA)	Grado de PA
3.4.1.6b	0.37	2.53	No aplica	No aplica	0.00	0.08	0.04	0.02	Muy bajo
1.4.1.6b	0.62	4.25	0.57	2.99	0.08	0.05	0.00	0.06	Muy bajo
1.4.1.6a	0.56	3.81	0.17	0.90	0.00	0.00	0.09	0.00	Muy bajo
1.2.4.6b	0.05	0.34	No aplica	No aplica	1.00	0.23	0.00	0.75	Alto
1.2.4.6a	0.42	2.88	0.49	2.56	0.16	0.29	0.05	0.21	Bajo
1.2.1.6a	3.50	23.99	5.57	29.34	0.96	0.87	0.27	1.00	Muy alto
1.1.1.6a	1.57	10.79	3.43	18.10	1.00	0.85	0.02	0.98	Muy alto
2.1.1.6a	0.57	3.89	No aplica	No aplica	0.00	0.82	0.00	0.27	Bajo
1.1.4.6c	0.10	0.67	No aplica	No aplica	0.00	0.74	0.24	0.28	Bajo
1.1.2.6	1.39	9.57	1.66	8.75	0.66	1.00	0.49	0.87	Muy alto
1.1.2.3b	0.17	1.19	0.19	1.02	0.18	1.00	0.55	0.55	Medio
1.1.1.6b	0.20	1.40	0.60	3.16	0.26	0.73	0.55	0.52	Medio
1.1.1.3b	0.76	5.21	0.43	2.26	0.01	0.65	0.55	0.32	Bajo
1.1.2.3a	0.80	5.47	1.54	8.09	0.55	0.65	0.55	0.69	Alto
1.1.1.3a	1.64	11.28	2.74	14.46	0.38	0.69	0.31	0.54	Medio
1.1.1.5	0.40	2.77	No aplica	No aplica	0.01	0.61	0.58	0.31	Bajo
1.1.1.1b	0.71	4.84	1.33	6.99	0.29	0.82	0.06	0.48	Medio
1.1.4.1b	0.57	3.91	No aplica	No aplica	0.29	0.21	0.12	0.28	Bajo
1.1.1.4b	0.07	0.45	0.26	1.36	0.40	0.76	0.09	0.54	Medio
1.1.4.4b	0.11	0.75	No aplica	No aplica	0.40	0.32	0.22	0.41	Medio

Nota: la descripción “No aplica” se refiere a una UA con una porción riparia, pero que no es cruzada por la corriente.

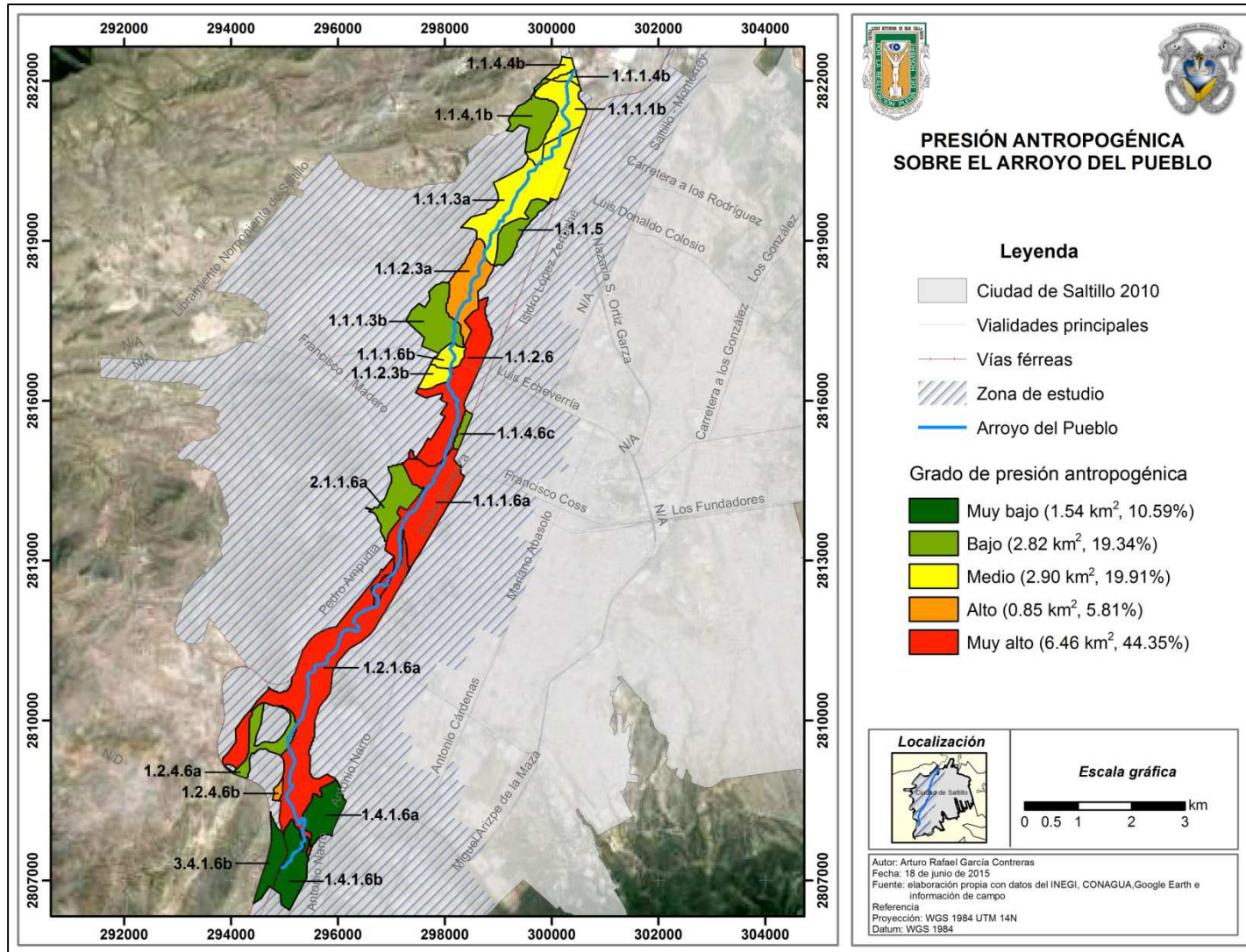


Figura 29. Distribución espacial de la presión antropogénica.

Por la distribución espacial de este fenómeno (después del inicio del cauce y hasta poco después de la parte media de la zona de evaluación) puede describirse esta zona como un centro de consumo importante de servicios ambientales (MEA, *op. cit.*). Datos de marginación urbana soportan este argumento al encontrarse 16 AGEBs con grados de marginación que van de bajo a muy alto⁴³ (CONAPO, 2012) como se observa en la figura 30. Esta vulnerabilidad social puede verse acompañada de una vulnerabilidad física como se demostró para el caso del IPAE (apartado anterior). Es conveniente recordar que los servicios ambientales pueden ser muy importantes en la ciudades sobre todo para los grupos más vulnerables (MEA, *op. cit.*).

Por otro lado la PA se consideró como muy baja en las unidades 3.4.1.6b, 1.4.1.6b y 1.4.1.6a, que se encuentran en la parte inicial del cauce en zonas identificadas con un uso de suelo agrícola de acuerdo con el INEGI (2013), representan el 10.59% de la superficie evaluada (1.54 km²) y contienen solo el 3.89% (0.74 km) de la longitud del cauce.

⁴³ El índice de marginación urbana se utiliza para medir el grado de limitación que tienen determinados grupos de población para cubrir sus necesidades básicas. El índice se compone de 10 indicadores socioeconómicos, que evalúan el acceso a la educación, a los servicios médicos, a una vivienda en condiciones dignas, y a bienes de tipo electrodoméstico (CONAPO, 2012).

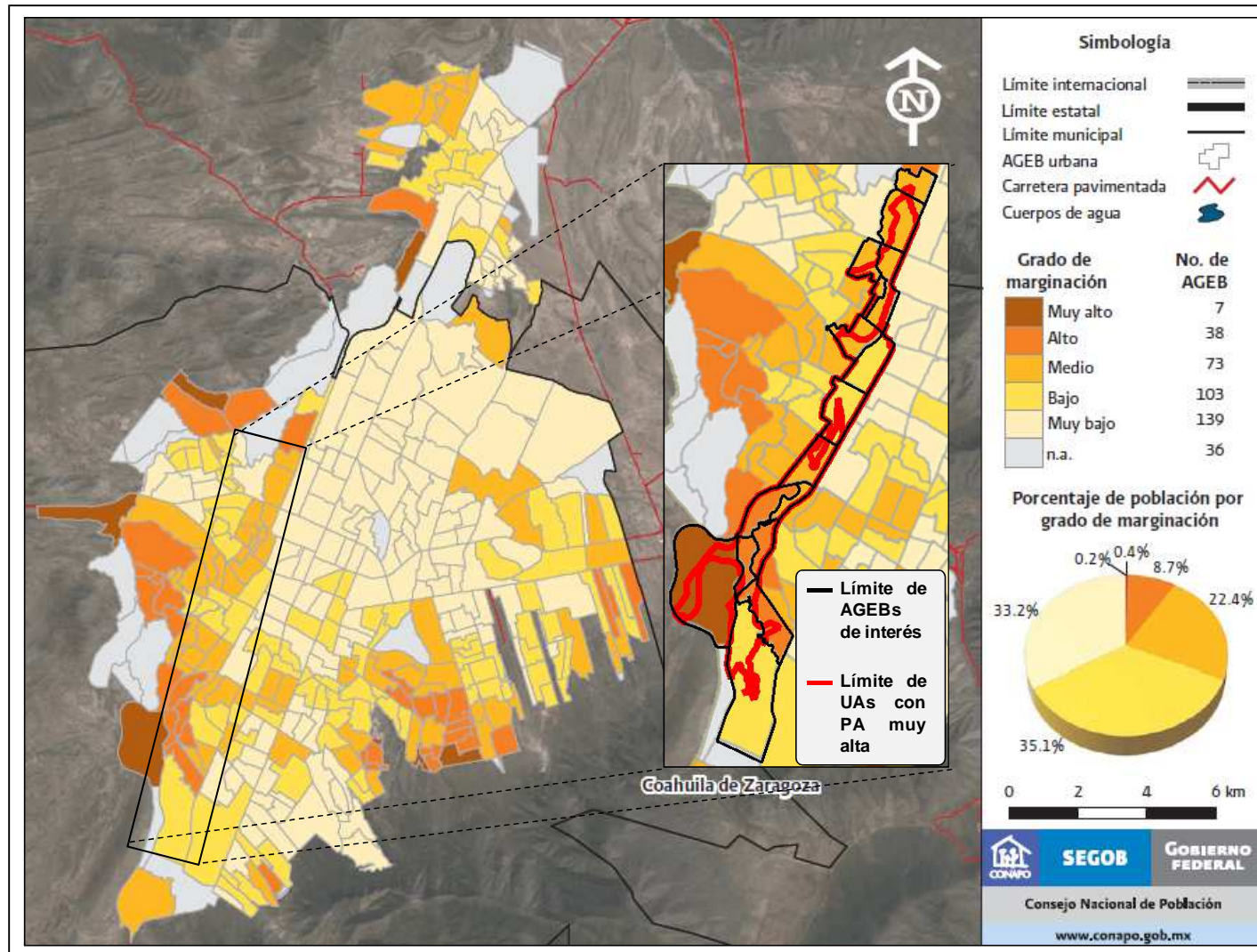


Figura 30. Relación entre presión antropogénica y marginación.

Fuente: modificado a partir de Zona Metropolitana de Saltillo: Grado de marginación urbana por AGEB, 2010 (CONAPO, 2012).

6.4 Relación entre la presión antropogénica y los servicios ambientales identificados

Los ecosistemas saludables, que influyen en el bienestar humano y sobre la mayor parte de las actividades económicas, son la base para las ciudades sustentables (TEEB, 2011); por lo tanto la conservación y el buen manejo de nuestro capital natural⁴⁴ son claves para aspirar a un desarrollo sustentable (dimensiones ambiental, social, cultural y económica) (Cotler *et al.*, *op. cit.*). Sin embargo, debido a la falta de planeación, información o entendimiento sobre los efectos que ciertas decisiones pueden tener sobre el medio ambiente se conduce a la pérdida de servicios ambientales esenciales y beneficiosos en el presente o en el futuro. Desde un punto de vista económico, esto significa el uso subóptimo de este capital natural, lo que resulta en pérdidas innecesarias de bienestar local, presupuesto y oportunidades de negocio, por ello es necesario mantener un medio ambiente sano, a través del cual se garantice el suministro de servicios ambientales (Gómez-Baggethun y de Groot, *op. cit.*; TEEB, *op. cit.*), cuya pérdida repercute en costos elevados de restauración de ecosistemas u otras alternativas de solución (TEEB, *op. cit.*).

En el caso del Arroyo del Pueblo al ser un sistema fluvial, en el que pueden desarrollarse procesos de los cuales dependen muchos servicios ambientales (Garrido *et al.*, *op. cit.*), la presión antropogénica que experimenta puede alterar estos procesos e impactar en el bienestar humano, sobre todo de las personas más cercanas al cauce. En el cuadro 11 se incluye una síntesis de los servicios identificados durante el recorrido, incluyendo los potenciales, y derivado del análisis desarrollado se infiere la afectación. Una descripción completa de cada servicio ambiental se encuentra en el cuadro 1 del anexo 3; se hace notar que los servicios ambientales están relacionados entre sí de manera que la existencia de uno condiciona la presencia de otro.

⁴⁴ Estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Gómez-Baggethun y de Groot, *op. cit.*).

Cuadro 11. Servicios identificados en el Arroyo del Pueblo y su afectación.

No.	Función	Ejemplos de servicios	¿Existe evidencia de afectación?	Observaciones
<i>Funciones de regulación</i>				
1	Atmosférica	Captura de carbono y control de la contaminación	Sí	Este servicio se genera principalmente por la vegetación, sin embargo el 50% de la vegetación riparia se encuentra fragmentada.
2	Climática	Mitigación del efecto "isla de calor"	No	Debido al alcance de este trabajo no es posible demostrar la afectación con evidencias aunque se sabe que para que se lleve a cabo esta función se depende del caudal presente y de la vegetación.
3	Amortiguación de perturbaciones	Funcionamiento de la vegetación como barrera protectora ante	Sí	En la UA 1.1.2.6 puede observarse una pérdida de esta función tras la eliminación de zonas con pasto y donde ahora se ubica la mayor parte de notificaciones a viviendas en situación de riesgo durante las temporadas de lluvia.
4	Hídrica	Drenaje e irrigación natural	Sí	Debido a infraestructura inadecuada que genera fragmentaciones esta capacidad se ha visto limitada, como ejemplo se encuentra el caso de la colonia Río Verde ubicada en la unidad ambiental 1.1.1.6a.
5	Disponibilidad hídrica	Disponibilidad de agua para usos consuntivos	Sí	Al norte de la ciudad se aprecia la mayor parte de la corriente está compuesta por aguas negras, cuyo contacto puede provocar infecciones en la piel. Además esto puede afectar la calidad del agua de los acuíferos.
6	Sujeción del suelo	Raíces que retienen el suelo	Sí	Es común que el Arroyo del Pueblo sea utilizado como tiradero, este servicio puede estar alterado al no permitir el desarrollo de vegetación ribereña propia capaz de estabilizar los taludes (Cram <i>et al.</i> , <i>op. cit.</i>).
8	Nutrientes	Banco de nutrientes	No	No es posible determinar la afectación, aunque esta función depende de la biodiversidad, que ha sido alterada.

Cuadro 11. Continuación.

No.	Función	Ejemplos de servicios	¿Existe evidencia de afectación?	Observaciones
Funciones de regulación				
9	Procesado de residuos / contaminación	Control de contaminación por medio de microorganismos, vegetación y algunos animales	Sí	La capacidad de autodepuración del Arroyo del Pueblo ha sido rebasada por las constantes descargas de aguas residuales que generan malos olores, esto ha afectado también a la fauna asociada al arroyo que desempeña un papel importante
10	Polinización	Polinización de cultivos y otras plantas	No	La evidencia del uso de este servicio en el Arroyo del Pueblo se demuestra mediante la existencia de la agricultura urbana presente en sus márgenes. Para determinar si existe una alteración es necesario obtener estadísticas de producción de cultivos y muestreos de insectos y otros polinizadores.
11	Control biológico	Control de pestes, plagas y enfermedades	No	Debido al alcance de este trabajo no es posible determinar algún nivel de afectación, aunque residentes cercanos a los márgenes de uno de sus afluentes han notado una disminución en la presencia de aves rapaces que solían alimentarse en sus alrededores.
Funciones de hábitat				
12	Refugio	Provisión de espacios habitables para la fauna y flora silvestre lo que permite mantener la biodiversidad	Sí	Aguilera et al. (2013) mencionan la extinción del pez Gila modesta en el cauce del arroyo, además existe una alta fragmentación lo que puede afectar a las especies que aún se encuentran en el mismo.
13	Criadero			
Funciones de producción				
14	Comida	Conversión de energía solar	No	No aplica.
16	Recursos genéticos	Presencia de al menos una especie con potencial para estudios evolutivos	Sí	El hábitat del pez que se encontró durante los recorridos está fragmentado.
17	Recursos medicinales	Remedios tradicionales	No	No evaluado como parte del protocolo.

Cuadro 11. Continuación.

No.	Función	Ejemplos de servicios	¿Existe evidencia de afectación?	Observaciones
<i>Funciones de producción</i>				
18	Elementos decorativos	Disponibilidad de materia prima para artesanía o decoración	No	No aplica.
<i>Funciones de información</i>				
19	Estética	Disfrute paisajístico en ciertos puntos	Sí	Existe abundancia de puntos de acumulación de residuos a lo largo del arroyo.
20	Recreativa	Disponibilidad de sitios para llevar a cabo actividades recreativas	Sí	En general el arroyo no presenta las condiciones necesarias para actividades recreativas.
22	Histórica	Existencia de al menos un sitio relacionado con la historia de la ciudad	Sí	Existe un dique considerado como patrimonio histórico de acuerdo con las cartas urbanas de los planes de desarrollo urbano de 2005 y 2014 (Periódico Oficial, 2005 y 2014). Sin embargo, se encuentra rodeado de basura, presenta graffiti y agua con gran cantidad de espuma, lo que indica contaminación.
23	Ciencia y educación	Presencia de una zona para llevar a cabo educación ambiental e investigación científica	Sí	La zona identificada se trata del hábitat del pez encontrado, el cual se encuentra fragmentado.
<i>Funciones de sustrato</i>				
24	Vivienda	Existen asentamientos en las márgenes del arroyo	No aplica	Si bien las márgenes de un arroyo no son los mejores sitios para ubicar las viviendas han servido de soporte para este propósito.

Cuadro 11. Continuación.

No.	Función	Ejemplos de servicios	¿Existe evidencia de afectación?	Observaciones
<i>Funciones de sustrato</i>				
25	Agricultura	Espacio para el desarrollo de agricultura urbana	No	No aplica.
28	Vertedero	Sitio potencial para el desarrollo de actividades de compostaje	Sí	Presencia de residuos sólidos en la mayor parte del arroyo.
30	Facilidades turísticas	Sitio potencial para el establecimiento de parques que sean representativos	Sí	Afectaciones debido a la presencia de residuos sólidos y aguas residuales.

VII. CONCLUSIONES

Entre las evidencias de intervenciones antropogénicas registradas durante el trabajo de campo se encuentran: puntos con acumulación de escombros, restos de muros y rellenos (37 sitios); desagües o tuberías que conducen al arroyo (34 sitios) y sitios con acumulación de residuos sólidos (31 puntos). Estos tres rasgos representan el 58% de todas las observaciones realizadas lo que puede indicar una falta de conciencia y preocupación por parte de la población que tiene poco aprecio por su entorno.

El 47.45% (9 km) de la longitud del Arroyo del Pueblo mostró un Impacto Potencial Directo (IPD) muy alto debido a valores altos en los indicadores de fragmentación por barreras (parte sur del arroyo) y vías de comunicación (parte central), mientras que el 6.16% (1.17 km) se clasificó como sin alteración.

En las zonas con un IPD muy alto se detectaron sitios con riesgo de inundación asociados con asentamientos irregulares y vías de comunicación, lo que han modificado la corriente natural del arroyo.

El Impacto Potencial en la Zona Riparia (IPZR) clasificado como muy alto se encontró sobre el 9.7% (0.35 km²) de la superficie analizada (3.6 km²) y se ubicó en la parte central de la misma donde existe mayor densidad poblacional y usos de suelo múltiples como habitacional, comercial, servicios y de industria ligera; mientras que la mayor parte de la superficie (54.72%) presentó un IPZR alto (54.7%) localizada en la parte sur (1.97 km²).

Los valores del IPZR obtenidos en este trabajo, presentan una mayor correlación con los indicadores de uso de suelo y vegetación y con el indicador de población.

A través de las concesiones otorgadas por la CONAGUA se tiene la evidencia de que el Arroyo del Pueblo ofrece servicios ambientales como disponibilidad de sitios para actividades recreativas y sustrato para la agricultura urbana, principalmente.

En la totalidad de la zona de estudio se observó un incremento del 47.9% de la zona urbana y los asentamientos urbanos, con disminuciones en las superficies totales de vegetación natural, pastizal inducido (cambio más grande) y agricultura entre 1985 y 2011. A partir de esto el 88.57% del área de estudio recibió algún tipo de impacto negativo con efectos a corto plazo, como la pérdida de sitios de recreación, y a largo plazo expresado mediante la concentración de notificaciones a viviendas en situación de riesgo durante la época de lluvias.

La mayor parte del Arroyo del Pueblo (10.66 km, 56.19%) se ubica sobre tres unidades ambientales con un nivel de presión antropogénica muy alto, además poseen grados de marginación que van de bajo a muy alto y donde la afectación a los servicios ambientales de amortiguación de perturbaciones y regulación hídrica han impactado el bienestar de la población.

La presión antropogénica se consideró como muy baja en tres unidades ambientales que se encuentran en la parte inicial del cauce en zonas identificadas con un uso de suelo agrícola de acuerdo con el INEGI (2013), estas representan el 10.59% de la superficie evaluada y contienen solo el 3.89% (0.74 km) de la longitud del cauce.

Derivado del análisis desarrollado los servicios ambientales que se consideran afectados son: la captura de carbono y el control de la contaminación atmosférica; amortiguación de perturbaciones; regulación hídrica; disponibilidad hídrica; sujeción del suelo; procesado de residuos / contaminación; las funciones de hábitat para animales y flora silvestre; función de producción de recursos genéticos; disfrute paisajístico; disponibilidad de áreas para recreación; funciones de información histórica; ciencia y educación; y funciones de sustrato para vertedero y facilidades turísticas.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, E.; Tobón, G.; Samaniego L.; Díaz, L.; Carlos, S. y Valdés, A. (2013). Reúso de aguas residuales municipales tratadas en la región Saltillo – Ramos Arizpe – Arteaga. Saltillo, Coah: Editorial Valle de Cándamo.
- Astilleros, L. (2008). Conocimiento y usos medicinales del azumiate o *Barkleyanthus salicifolius*. Recuperado el 5 de abril de 2015 de: http://www.tlahui.com/medic/medic27/herbo_azumiate.htm
- Bocco, G.; Mendoza, M.; Priego, A.; y Burgos, A. (2009). La cartografía de los sistemas naturales como base geográfica para la planeación territorial. México, D.F: SEMARNAT – INE – UNAM – Centro de Investigación en Geografía Ambiental.
- Bosque, J.; Díaz, C.; y Díaz, M. (2002). De la justicia espacial a la justicia ambiental en la política de localización de instalaciones para la gestión de residuos en la comunidad de Madrid. Recuperado el 17 de junio de: <http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/Geo2/archivos/jusespam.pdf>
- Canter, L. and Kamath, J. (1995). Questionnaire checklist for cumulative impacts. Environmental Impact Assessment Review, Vol. 15, pp. 311 – 339.
- Castellanos, J. y León, J. (2011). Descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (Mimosaceae) establecidas en suelos degradados de Colombia. Revista de Biología Tropical, Vol. 59, No. 1, pp. 113 – 128.
- CEAS (2003). Plan Maestro de Drenajes Pluviales de la Región Sureste en Saltillo, Coahuila – Resumen Ejecutivo.
- Cen, X.; Wu, C.; Xing, X.; Fang, M.; Garang, Z.; and Wu, Y. (2015). Coupling Intensive Land Use and Landscape Ecological Security for Urban Sustainability: An Integrated Socioeconomic Data and Spatial Metrics Analysis in Hangzhou City. Sustainability, Vol. 7, pp.1459 – 1482.
- CONABIO (2008). Importancia de la diversidad biológica. Recuperado el 16 de julio de 2015 de: http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion_internacional/doctos/importancia_db.html
- CONABIO (2009). *Parthenium hysterophorus* L - Falsa altamisa. Recuperado el 6 de julio de 2015 de: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/partheniumhysterophorus/fichas/ficha.htm>

- CONAGUA (2014). Diagnóstico de las corrientes que cruzan la ciudad de Saltillo, Coahuila – Puntos considerados de alto riesgo, documento consultado en la Subdirección de Recursos Naturales de Dirección de Ecología Municipal de Saltillo, Coah.
- CONAPO (2012). Índice de marginación urbana 2010, México, D.F.
- Conesa, V. (2010). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Contreras, S.; y Contreras, A. (2008). Peces del área natural protegida Sierra de Zapalinamé y regiones aledañas. Recuperado el 20 de noviembre de 2014 de:
http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_content&view=article&id=21928:peces-del-area-natural-prottegida-sierra-de-zapaliname-y-regiones-aledanas&catid=1232:temas-de-interes&Itemid=100132
- Constanza, R.; d'Arge, R.; de Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neill, R.V.; Paruelo, J.; Raskin, R.; Sutton, P.; & van der Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, Vol. 387, pp. 253 – 260.
- Cotler, H; Galindo, A.; González, D.; Pineda, R.; y Ríos, E. (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. Cuadernos de divulgación ambiental, México: SEMARNAT.
- Córdova, A.; Martínez-Soto, J.; y Ojeda, L. (2014). Beneficios de la naturaleza urbana, pp. 21 – 50. En Ojeda, L.; y Espejel, I. (coord.). Cuando las áreas verdes se transforman en paisajes urbanos. La visión de Baja California, Tijuana, B.C., México: El Colegio de la Frontera Norte.
- Cram, S.; Cotler, H.; Morales, L.; Sommer, I.; y Carmona, E. (2008). Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones Geográficas*, No. 66, pp. 81 – 104.
- Daily, G.; Alexander, S.; Ehrlich, P.; Goulder, L.; Lubchenco, J.; Matson, P.; Mooney, H.; Postel, S.; Schneider, S.; Tilman, D.; y Woodwell, G. (1997). Servicios de los Ecosistemas: Beneficios que la Sociedad Recibe de los Ecosistemas Naturales. *Tópicos en Ecología*, No. 2, pp. 1 – 16.
- Destenave, F. (s.f.). La historia del agua de Saltillo. Recuperado el 27 de agosto de 2014 de:
<http://www.youblisher.com/p/502193-La-historia-del-agua-de-Saltillo/>
- ESRI (2012). Clasificar campos numéricos para simbología graduada - Métodos de clasificación estándar en ArcGIS. Recuperado el 10 de mayo de 2015 de:
<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//00s50000001r000000>.

- FAO (2009). Glosario de agricultura orgánica. Recuperado el 16 de junio de 2015 de: http://www.fao.org/fileadmin/templates/organicag/files/Glossary_on_Organic_Agriculture.pdf
- Garrido, A.; Cuevas, M.; Cotler, H.; González, D.; y Tharme, R. (2010). Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. *Investigación Ambiental. Ciencia y política pública*, Vol. 2, No.1, pp. 25 – 46.
- Garza, V. y Sesma, J. (2002). Evaluación socioeconómica del proyecto “Planta Tratadora de Aguas Residuales para la Ciudad de Saltillo, Coahuila”, junio de 2002. Recuperado el 2 de diciembre de 2014 de: <http://www.mty.itesm.mx/die/ddre/transferencia/60/60III.01.html>
- Gill, F. (2000). *Ornithology*, 2nd edition. New York: W.H. Freeman and Company, pp. 637 y 661.
- Gómez-Baggethum, E. y de Groot, R. (2007). Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas*, Vol. 16, No. 3; pp 4 – 14.
- Gómez, H.; Oliveras, A.; y Medellín, R. (2005). *Bubulcus ibis ibis*. Vertebrados superiores exóticos en México: diversidad, distribución y efectos potenciales. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB – CONABIO. Proyecto U020. México. D.F. Recuperado el 16 de julio de 2015 de: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/exoticas/fichaexoticas/Bubulcusibisibis00.pdf>
- González, A.; Hernández, L.; Perló, M.; y Zamora, I. (2010). Rescate de ríos urbanos. Propuestas conceptuales y metodológicas para la restauración y rehabilitación de ríos. México, D.F.: UNAM – Coordinación de humanidades – Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad.
- Granados, D.; Hernández, M.; y López, G.; (2006). Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, Vol. 12, No. 1, pp. 55 – 69.
- Hamond, A.; Adriaanse, A.; Rodenburg, E.; Bryant, D.; and Woodward, R. (1995). *Environmental Indicators: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development*. Recuperado el 23 de marzo de 2015 de: http://pdf.wri.org/environmentalindicators_bw.pdf
- Haase, D. (2008). Modelling the effects of long-term urban land use change on the water balance. *AGD Landscape & Environment*, Vol. 2, No. 2, pp. 143 – 159.

- Hernández, M. (s.f.). Los humedales y su papel para limpiar el agua y recuperar su calidad. Recuperado el 16 de julio de 2015 de:
http://proyectos.inecol.edu.mx/conoceysobrevive/literatura/Los_humedales_ayudan_limpiar_agua.pdf
- Herrera, J. (2002). Determinación de indicadores de calidad del agua en el arroyo “Del Pueblo”. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Ibarra, J. (1993). Estudio de los recursos productivos y sociales de la zona ladrillera del poniente de Saltillo. Cuadernos de Investigación, Área III – Ciencias Sociales y Humanidades, Coordinación General de Estudios de Posgrado e Investigación de la U.A. de C., No. 9, pp. 125 – 190.
- INEGI (2000a). Indicadores de Desarrollo Sustentable en México. Recuperado el 19 de junio de 2015 de:
http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/especiales/indesmex/2000/ifdm2000f.pdf
- (2000b). Ciudades capitales: una visión histórico – urbana (vol. 2). México.
- (2002). Guía de conceptos, uso e interpretación de la Estadística sobre la Fuerza Laboral en México. Recuperado el 12 de abril de 2015 de:
<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/metodologias/otras/guia.pdf>
- (2005). Guía para la Interpretación de Cartografía Geológica, Aguascalientes, México.
- (2009). Guía para la Interpretación de Cartografía Uso de Suelo y Vegetación, Escala 1: 250 000 Serie III, Aguascalientes, México
- (2010a). Conjunto de datos vectoriales de la Red Hidrográfica escala 1:50 000 edición 2.0 (Región Hidrográfica RH-24 – Bravo-Conchos).
- (2010b). Documento técnico descriptivo de la Red Hidrográfica escala 1:50 000 edición 2.0. Dirección General de Geografía y Medio Ambiente.
- (2010c). Censo de Población y Vivienda 2010. Principales resultados por AGEB y manzana urbana. Recuperado el 24 de noviembre de 2014 de:
http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/ageb_urb2010.aspx?c=28111&s=est
- (2010d). Información Vectorial de Localidades Amanzanas y Números Exteriores, carta 05030.
- (2013). Conjunto de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación Escala 1:250 000, Serie V (Conjunto Nacional), carta G1407.

- (s.f.). Glosario de términos. Recuperado el 3 de Julio de 2015 de:
<http://cuentame.inegi.org.mx/glosario/u.aspx?tema=G>
- Keese, K.; Scanlon, B.; and Reede, R. (2005). Assessing controls on diffuse groundwater recharge using unsaturated flow modeling. *Water Resources Research*, Vol. 41, pp. 1- 12.
- López, G. (2007). Modelo de humedales en zona perturbada del río San Marcos, microcuenca Cruz del Palmar. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Madrid, L.; Martínez, I.; y Rolón, J. (2009). Financiamiento para la regeneración ambiental de barrancas a través del impuesto predial: el caso de la ciudad de México. *Investigación Ambiental*, Vol 1, No. 2, pp. 153 – 167.
- Maya, M. (2012). Límites sociales y ambientales al proceso de conurbación de la región sureste de Coahuila de cara al siglo XXI. *Trayectorias*, Año 14, No. 35, pp.90 – 122.
- Miliarium Aureum, S.L. (2004). Evapotranspiración. Recuperado el 13 de julio de 2015 de:
<http://www.miliarium.com/Proyectos/EstudiosHidrogeologicos/Memoria/Evapotranspiracion/evapotranspiracion.asp>
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). Urban Systems. Recuperado el 6 de abril de 2015 de: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.296.aspx.pdf>
- Naturalista (s.f.). Zopilote común (*Coragyps atratus*). Recuperado el 16 de julio de 2015 de:
<http://conabio.inaturalist.org/taxa/4765-Coragyps-atratus>
- NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. 30 de diciembre de 2010.
- Ole, H. (1997). Restauración de ríos y arroyos – Experiencias y ejemplos de Dinamarca. Silkeborg, Dinamarca: Instituto Nacional de Investigación del Medio Ambiente.
- Pámanes, R. (2010, 8 de mayo). Los perjúmenes inaguantables, se quejan vecinos de contaminación de arroyo. *El Diario de Coahuila*. Recuperado el 29 de agosto de 2014 de: <http://www.eldiariodecoahuila.com.mx/notas/2010/5/8/locales-178419.asp>
- Pérez, R.; Cruz, G.; Moreno, F.; González, A.; y Romero, E. (2012). Cambios de vegetación y uso de suelo en la cuenca Río Bravo - San Juan, Coahuila (1993 a 2008). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, Vol.3, No. 10, pp. 25 – 40.
- Periódico oficial (2005). Actualización del Plan Director de Desarrollo Urbano de Saltillo, Coahuila. Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, 30 de diciembre de 2005.

- Periódico Oficial (2009). Programa de Regulación y Aprovechamiento de Material Pétreo, Arteaga – Ramos Arizpe, 2008 – 2033. Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, 21 de abril de 2009.
- Periódico Oficial (2014). Acuerdo 50/08/14, Revisión y Actualización del Plan Director de Desarrollo Urbano de Saltillo. Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, 15 de abril de 2014. Saltillo, Coah.
- Polanco, C. (2006). Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones. *Gestión y Ambiente*, Vol. 9, No. 2, pp. 27 – 41.
- Polo, M. (2014). Los servicios ecosistémicos de los ríos urbanos y su contribución en la adaptación al cambio climático en las ciudades mexicanas. *Investigación Ambiental*, Vol. 6, No. 1, pp. 43 – 51.
- Rivera, R. (1993). Impacto del crecimiento económico en la conurbación Saltillo – Ramos – Arizpe – Arteaga, pp. En Dávila, A. (coord.). *TLC: impactos en la frontera norte*, octubre, México: UNAM. Facultad de Economía.
- Rolston, H. (1991). *Fishes in the Desert: Paradox and Responsibility*. Recuperado el 19 de abril de 2015 de: <http://lamar.colostate.edu/~hrolston/desert-fishes.pdf>
- Nijkamp, P. y Rietveld, P. (1990). *Multicriteria evaluation in Physical Planning*. Elsevier Science Publications. Amsterdam, The Netherlands, 219 pp.
- Ruiz, K. (2010). Dinámica poblacional, pp. 59 – 73. En Cotler, H. (coord.). *Las cuencas hidrográficas de México – Diagnóstico y priorización*, México: SEMARNAT – INE – Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P.
- Santos, M. (2009). El misterio del arroyo. *Zócalo Saltillo*. Recuperado el 8 de septiembre de 2014 de: <http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/el-misterio-del-arroyo>
- Saucedo, G. (2008). El Arroyo del Pueblo - El cauce que una vez fue río, documento consultado en la Biblioteca del Archivo Municipal de Saltillo.
- SEMARNAT (2004). *Introducción a los servicios ambientales*. Recuperado el 19 de marzo de 2015 de: <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/583.pdf>
- SEMARNAT (2010). *Compendio de estadísticas ambientales 2010 – Indicadores de calidad del agua*. Recuperado el 25 de junio de 2015 de: http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet28b9.html

- SEMARNAT (s.f.). Los indicadores ambientales. Recuperado el 19 de junio de 2015 de:
http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores12/conjuntob/00_conjunto/marco_conce_conce.html
- Shuster, W.; Bonta, J.; Thurston, H.; Warnemuende, E; and Smith, D. (2005). Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review. *Urban Water Journal*, Vol. 2, No. 4, pp. 263 – 275.
- Sorensen, M.; Barzetti, V.; Keipi, K.; y Williams, J. (1998). Manejo de las áreas verdes urbanas – Documento de buenas prácticas, Washington, D.C., Departamento de Desarrollo sostenible – Banco Interamericano de Desarrollo.
- Su, W.; Ye, G.; Yao, S.; and Yang, G. (2014). Urban Land Pattern Impacts on Floods in a New District of China. *Sustainability*, Vol. 6, pp. 6488 – 6508.
- TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2011). TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management. www.teebweb.org
- Tudela, F. (2004). Los síndromes de sostenibilidad del desarrollo. El caso de México. Serie Seminarios y Conferencias de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de CEPAL, Santo de Chile: Organización de las Naciones Unidas.
- Vargas, B. (2013). Manual de mejores prácticas de manejo forestal para la conservación de la biodiversidad en ecosistemas templados de la región norte de México. México: CONAFOR.
- Zavala, R. (2012, 26 de marzo). Persiste la pestilencia en Arroyo del Pueblo. *Zócalo Saltillo*. Recuperado el 2 de diciembre de 2014 de:
<http://www.zocalo.com.mx/imprimir/articulo/533487>