

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2014

ENTRE CRECIMIENTO POBLACIONAL Y DETERIORO AMBIENTAL: EL CASO DE ZACATECAS, GUADALUPE Y FRESNILLO

Patricia Rivera-Castañeda y Lilia Betania Vázquez-González

Ra Ximhai, Julio - Diciembre, 2014/Vol. 10, Número 6 Edición Especial

Universidad Autónoma Indígena de México

Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 23 - 43



e-revist@s

ENTRE CRECIMIENTO POBLACIONAL Y DETERIORO AMBIENTAL: EL CASO DE ZACATECAS, GUADALUPE Y FRESNILLO

BETWEEN POPULATION GROWTH AND ENVIRONMENTAL DETERIORATION: THE CASE OF ZACATECAS, GUADALUPE AND FRESNILLO

Patricia Rivera-Castañeda¹ y Lilia Betania Vázquez-González²

¹Profesora investigadora de El Colegio de la Frontera Norte. Carretera Escénica Tijuana-Ensenada s/n km. 18.5 San Antonio del Mar. Tijuana, Baja California. C.P.22560. ²Estudiante de doctorado en El Colegio de la Frontera Sur. Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, Barrio de María Auxiliadora C.P. 29290. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas - México. livazquez@ecosur.edu.mx.

RESUMEN

Este trabajo documenta los problemas ambientales de los tres centros poblacionales más importantes del estado de Zacatecas: Fresnillo, Guadalupe, y Zacatecas. Estos son una muestra de la degradación ambiental del estado, convergen temas diversos donde las actividades productivas como la minería y las actividades agropecuarias impactan suelo, agua y producen riesgos potenciales de salud. Por otra parte, los centros urbanos en crecimiento, demandan recursos que promueven la extracción, agravan problemas de acumulación y de polarización social.

A pesar de encontrar ciertos avances incipientes o casos puntuales en la mejora de la problemática ambiental, la resolución no persigue causas de fondo porque se promueven soluciones cortoplacistas, por ello es necesario replantear cada uno de los problemas ambientales y re-direccionar las estrategias.

Palabras clave: degradación ambiental, funciones ambientales, centros urbanos.

SUMMARY

This paper documents the environmental problems of the three major urban centers of the state of Zacatecas: Fresnillo, Guadalupe and Zacatecas. These are a sample of the environmental degradation of the State, converge various topics where productive activities such as mining and agricultural activities impact soil, water and produce potential health risks. Moreover, the growing urban centers, demand resources that promote extraction, accumulation, and exacerbate problems of social polarization.

Despite finding some specific cases of incipient progress in improving the environmental problems, the resolution does not seek root causes that promote short-term solutions, so it is necessary to reconsider each of the environmental problems and redirect strategies.

Keywords: environmental degradation, environmental functions, urban centers.

INTRODUCCIÓN

El estado de Zacatecas, cuyo origen se registra desde la colonia, es rico en historia, cultura y tradiciones. Fue en aquella época en la cual fue fundada la actual ciudad de Zacatecas para explotar las minas recién descubiertas. De estas minas se desprendió la primera extracción desmedida de recursos, no se refiere sólo a los metales valiosos sino también a la deforestación extrema de bosques aledaños, la modificación del cauce de los ríos y la introducción por cientos del ganado rumiante.

Siglos después se encuentra una Zacatecas en condiciones ambientales similares, cuyos ánimos de extracción de recursos permanecen, cobijados bajo un sistema económico, una presión demográfica y unos hábitos de consumo más demandantes. Actualmente los problemas ambientales se asemejan, la extracción minera tiene efectos graves de degradación en el suelo y deja residuos peligrosos para la salud pública. El sector agrícola demanda grandes cantidades de agua y fertilizantes, mientras que el ganado es la principal causa de erosión. Los centros urbanos tienden a demandar mayor cantidad de recursos en comparación con el área rural y como resultado de ello acumulan una cantidad de residuos, sean aguas residuales o desechos sólidos, imposibles de degradar o tratar a la velocidad y calidad que lo requiere el ambiente. Aunado a ello, estos centros urbanos tienden a la polarización social que ha generado desigualdades y como resultado insostenibilidad social, con ello se provoca que las personas migren. Por último, en los siguientes años se espera un incremento de la

Recibido: 09 de junio de 2014. Aceptado: 18 de agosto de 2014. **Publicado como ARTÍCULO CIENTÍFICO en Ra Ximhai 10(6): 23-43.**

temperatura promedio y como resultado una modificación en los patrones de lluvia, características denunciadas del cambio climático que tendrían repercusiones graves a escala local.

El presente trabajo documenta los problemas ambientales de los tres centros poblacionales más importantes del Estado de Zacatecas: Fresnillo, Guadalupe, y Zacatecas. Si bien el estado entero ha sido valorado como altamente degradado, estos tres municipios sirven de modelo para explicar la complejidad que se vive en el resto del país.

Este trabajo se divide en cinco apartados, primero se realiza una jerarquización de los impactos ambientales más significativos tomando como eje ordenador el concepto de funciones ambientales, el cual permite ampliar la concepción de los recursos naturales como meramente productivos. Con base a ésta jerarquización, le siguen los siguientes cuatro apartados: Un segundo, que señala los problemas ambientales y de salud derivados de la minería, actividad representativa del estado. Un tercer apartado que atiende la temática de la extracción de nutrientes y la degradación del suelo derivada en su mayoría de las actividades agropecuarias. Un cuarto apartado que documenta los problemas del recurso agua, poniendo énfasis en la sobreexplotación de los acuíferos y la contaminación de los cuerpos receptores. Un quinto apartado, se refiere a los problemas ambientales relacionados con la urbanización. Y finalmente, se describen algunas consideraciones finales.

Jerarquización de la problemática ambiental en los municipios de Fresnillo, Guadalupe y Zacatecas

El concepto de funciones ambientales permite organizar las características de los ecosistemas de manera más profunda que el tradicional concepto de la naturaleza como abastecedora de recursos para los procesos productivos. Para fines prácticos resulta conveniente agrupar las diversas funciones en cuatro grupos: productivas, regulatorias, de soporte, y de información y cultura (De Groot *et al.*, 2002).

La función productiva ofrece recursos naturales para los procesos productivos. Se trata de la más conocida, y su importancia económica es tan fuerte que minimiza todas las demás funciones. Los ejemplos de esta función para los casos de estudio son la extracción de materiales minerales y el agua como insumo para la industria y los hogares; así como las demás materias primas necesarias para desarrollar actividades productivas. También se puede ubicar el alto potencial de energía eólica que se tiene en Zacatecas y su vegetación endémica. No obstante si consideráramos sólo la función productiva de un recurso como el obtenido por la extracción de materiales minerales, se registrarían las ganancias económicas obtenidas por el mineral más no se nos permitiría visualizar la degradación del ecosistema que lleva consigo esta actividad.

Otra función ambiental es la de regulación para la vida humana. Los ecosistemas regulan, por ejemplo, el clima; y su función se hace evidente cuando la deforestación somete regiones a la acción de elementos de la naturaleza que antes no ocurrían. Protegen y dan cobertura para que los nacimientos y cauces de agua mantengan su circulación; e igual sucede con el suelo que es un receptor de residuos y desechos, su papel consiste en regular y transformar la materia para proteger de la contaminación al ambiente. Para nuestro caso particular se señalan indicadores como el incremento de la temperatura, la emisión de contaminantes, la generación de residuos sólidos y desechos peligrosos, los índices de tratamiento de aguas entre otros. Todos estos elementos señalados impactan la función ambiental de regulación de la vida humana.

Los ecosistemas también tienen la función de servir de soporte para las actividades humanas y biológicas en general. La agricultura, ganadería, pesca, etc., deben realizarse sobre un suelo apto

para tales fines. Igual sucede con la industria, que requiere de un espacio físico para establecerse. La urbanización y dinámica poblacional se efectúan en determinados suelos y sus características de desarrollo y movilidad estipulan la forma de relacionarse con el medio. Es conveniente mencionar que no sólo las actividades productivas requieren de un espacio físico, también las recreativas, como el caso de los parques y otras áreas de esparcimiento.

Por último, los ecosistemas son depositarios de información; cumplen, por lo tanto la función de almacenamiento de información científica, política, religiosa y estética. Determinados espacios y regiones, debido a la historia pasada, se convierten en referentes simbólicos culturales, políticos y religiosos. Y, de la naturaleza, surge la inspiración artística y también ética y filosófica. Para nuestro caso de estudio señalamos el valor cultural, histórico y recreativo que tienen algunos de los municipios.

En el *Cuadro 1* se describen las principales funciones ambientales que proveen los ecosistemas de Fresnillo, Guadalupe y Zacatecas, así como los indicadores del estado de la función.

Cuadro 1.- Compendio de los problemas ambientales en los municipios de Fresnillo, Guadalupe y Zacatecas

Clasificación	Funciones ambientales	Principales indicadores del estado de la función
Productivas	Energía y combustibles	Existe el potencial de energía eléctrica en Cerro de la Virgen, Zacatecas
	Agropecuaria	Alta demanda de energía 70 % de la vegetación de Guadalupe y Zacatecas son cultivos agrícolas o forraje para ganado. Utilización de agroquímicos en la agricultura intensiva Cultivos como frijol y tomate demandantes de agua y fertilizantes
	Minería	Acumulación de sustancias tóxicas en suelo Contaminación del agua Presencia de mercurio derivado del método de amalgamación
	Agua subterránea	Sobreextracción de acuíferos Uso intensivo en el corredor Guadalupe-Calera-Fresnillo y en zonas agrícolas de Villa de Cos, Guadalupe y Fresnillo Industria cervecera con elevados índices de consumo de agua
	Agua superficial y potable	Desperdicio en la distribución entre 40-60% Niveles de contaminación en todos los ríos
Regulatorias	Regulación climática	Incremento de las temperaturas en últimos años Ante el cambio climático la industria minera y alimentaria local es vulnerable
	Calidad de aire	Existencia de ladrilleras Emisión de contaminantes atmosféricos
	Disposición de residuos sólidos	Generación de residuos sólidos
	Residuos de la minería	Existencia de sitios abandonados e ilegales con residuos peligrosos
	Aguas residuales	Infraestructura para el tratamiento de aguas Potencial de reúso de aguas Aguas negras descargadas en ríos

Cuadro 1.- Compendio de los problemas ambientales en los municipios de Fresnillo, Guadalupe y Zacatecas. Continuación

Clasificación	Funciones ambientales	Principales indicadores del estado de la función
Soporte	Urbanización	Crecimiento descontrolado de las ciudades sin considerar procesos naturales Degradación de suelos Asentamientos sobre zonas mineras Acumulación de residuos contaminantes Polarización social
	Dinámica poblacional	Alto porcentaje de hogares con migrantes, Dependencia de las remesas

Con la identificación de los indicadores del estado de la función que integran las cuatro funciones ecosistémicas podemos aglutinar la problemática de los municipios, en cuatro grandes temas: los problemas ambientales y de salud derivados de la minería; la extracción de nutrientes y la degradación del suelo derivada el sector agropecuario; la sobreexplotación de los acuíferos y contaminación de los cuerpos receptores; y finalmente, los problemas ambientales relacionados con la urbanización. Este cuadro ayuda a detectar los problemas más importantes o los que tienen un mayor impacto.

Problemas ambientales y de salud derivados de la minería

En el estado, la minería es de importancia mundial por los volúmenes de extracción y por el número de yacimientos existentes (*Cuadro 2*). Del municipio de Fresnillo proviene la más importante producción de plata a nivel mundial y existe un sinnúmero de venas en espera de ser extraídas (Camprubí *et al.*, 2009; Earthman, 2010).

Cuadro 2.- Producción de metales en los municipios de Fresnillo, Guadalupe y Zacatecas (Secretaría de Economía, 2010)

Municipio	Cobre (toneladas)	Plomo (toneladas)	Oro (kg)	Plata (kg)
Fresnillo	-	11632.00	9.40	1259.00
Guadalupe	6.0	35.00	16.70	2670.00
Zacatecas	-	22.00	-	6646.00

El principal problema ambiental que enfrenta la región de estudio es la degradación derivada de la minería. La degradación está extendida al suelo, el aire y la salud pública, esta última como el problema más alarmante. La minería debería generar desarrollo y bienestar social local, sin embargo, ésta ha generado vulnerabilidad social y deterioro ambiental con la promesa de un crecimiento económico que aún no llega.

La minería deja como resultado suelos contaminados y degradados, donde más tarde se extenderán las ciudades y las personas estarán expuestas a los compuestos dañinos. Igualmente, aunque no estén situados en el lugar, los habitantes podrían exponerse indirectamente a través de alimentos contaminados.

Los contaminantes acumulados en el suelo pueden concentrarse en los vegetales de consumo humano. En el municipio de Fresnillo existen suelos con altas concentraciones de zinc y cobre, y en menor medida plomo y cadmio. Derivado de estas altas concentraciones de metales en el suelo, se dio pie a un estudio enfocado en conocer las acumulaciones de metales en especies de vegetales silvestres. Las concentraciones de cadmio, níquel y plomo fueron bajas en la mayoría de las

especies muestreadas. No obstante, fueron encontradas concentraciones elevadas de zinc en *Stachys coccinea* y *Equisetum sp.*, con 1025 y 1202 mg kg⁻¹ respectivamente (Carrillo y González, 2006). A pesar de que el estudio efectuado no muestra concentraciones graves de minerales en vegetales comestibles, es un hecho que la minería induce a la acumulación de metales en el suelo de la región.

La concentración de plomo en los vegetales fue también medida en Fresnillo, a los alrededores de una empresa recicladora de metales (Manzanares *et al.*, 2004). Las muestras de suelo tuvieron concentraciones de 86 a 84238 ppm y el valor promedio del plomo en el total de las muestras de suelo fue de 6584 19265 ppm. Este valor supera el criterio de 400 ppm establecido por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) para el uso residencial y los 300 ppm establecidos como límite máximo permisible en la Comunidad Económica Europea. Para el caso de la flora, la concentración varía de 148 a 55153 ppm. Todas aquellas plantas que se tomaron en puntos próximos a la empresa son las que contienen una mayor concentración de plomo, lo que implica que las plantas toman el plomo del entorno y lo incorporan a las hojas y a los frutos. Por lo tanto las especies de animales que utilizan estas plantas como alimento ingestan el plomo.

Otro problema ambiental y de salud derivado de la minería es que promueve la concentración de radón y por lo tanto de radioactividad, esto último relacionado con un incremento en el riesgo del cáncer de pulmón (Quirino *et al.*, 2007). En 2007 el promedio de los tres municipios bajo estudio se consideró como bajo (*Cuadro 3*). No obstante, en el poblado de Fresnillo se encontraron concentraciones en sitios puntuales que superan los límites establecidos por la EPA.

Cuadro 3.- Concentraciones de radón encontradas en las viviendas de los municipios de Fresnillo, Guadalupe y Zacatecas (Tomado de Quirino *et al.*, 2007)

Municipio	Viviendas evaluadas	Viviendas por debajo de la actividad mínima detectable	Concentraciones máximas encontradas (Bq m ⁻³)	Promedio encontrado (Bq m ⁻³)
Fresnillo	4	1	67	57
Guadalupe	4	2	41	41
Zacatecas	6	4	37	33

Las concentraciones de radón fueron medidas al interior de las clínicas públicas del estado de Zacatecas. Las mediciones fueron relacionadas con el tipo de suelo predominante, los años de la construcción y los materiales de los edificios usados en los techos, paredes y pisos. A nivel municipal, Zacatecas y Guadalupe presentaron los niveles más bajos de radiación en las clínicas. Los niveles oscilaron entre 21-40 Bq m⁻³ para el municipio de Guadalupe y 41-60 Bq m⁻³ para el municipio de Zacatecas. El municipio de Fresnillo en promedio presentó un nivel bajo de radiación, entre 41-60 Bq m⁻³, sin embargo, uno de sus poblados llamado Pardillo III presentó concentración de 155 Bq m⁻³, por encima del límite establecido por la EPA que es de 148 Bq m⁻³ (Mireles *et al.*, 2007).

Existe también el riesgo de daños a la salud de la población por los residuos de la minería, ya que el plomo puede acumularse en la sangre de los habitantes en contacto con el suelo contaminado. Manzanares-Acuña *et al.* (2006) determinaron la concentración de plomo en la sangre de niños y mujeres, en periodo de lactancia o embarazadas, en la comunidad de San Ignacio, Fresnillo, en Zacatecas, así como en matrices de suelo, plantas, ceniza y barro vidriado, para determinar la exposición que genera una empresa recicladora de metales. Los autores encontraron una relación directa entre los niveles de plomo en niños y mujeres expuestos geográficamente a la recicladora de metales. También encontraron que algunos hábitos como el consumo de alimentos contaminados y el tipo de vajilla usada inducen a su acumulación.

En síntesis, algunos estudios infieren que las concentraciones de plomo y mercurio estarían ocasionando problemas a la salud de la población, sin embargo, estos no son concluyentes e insisten en la necesidad de efectuar más estudios.

Uso de las tecnologías limpias en la minería

Entre las ventajas de las grandes compañías mineras, como fue el caso de Peñoles en Fresnillo, es que tienen el capital suficiente para adquirir tecnología de producción limpia. Ejemplo de este tipo de tecnologías es la Red de Monitoreo Automático en tiempo real para evaluar la calidad del aire. En una de las grandes minas de Fresnillo fue instalada esta tecnología y las emisiones de gas nitroso fueron eliminadas por completo. Hay que considerar que el objetivo principal de ésta eliminación fue la mejora de las condiciones sanitarias de los trabajadores. Otra importante tecnología de producción limpia es el reúso de agua. Esta tecnología ha demostrado que es posible reducir hasta un 10% el uso de agua limpia y que recircule el 100% del agua usada. Otra forma de resarcir el daño ambiental que han tenido las grandes empresas es realizar actividades que benefician a la población. En el caso de Fresnillo la empresa Peñoles instaló un parque ecológico y convirtió en un destino turístico las minas clausuradas (Suppen *et al.*, 2006).

No obstante, a pesar de los avances en el uso de tecnologías limpias que la industria minera zacatecana puede tener en la actualidad, si nos apegamos a la teoría de minería sustentable, podemos observar que elementos como un desarrollo equitativo para las comunidades y los trabajadores mineros queda aún en el discurso. Este nuevo planteamiento teórico no señala un límite de extracción, dado que la actividad por sí misma es rentable y ofrece grandes cantidades de recursos económicos como ninguna otra actividad, sin embargo, se reconoce el derecho de los pueblos a la obtención de los beneficios de la minería (IIED y WBCSD, 2002).

En este análisis también se debe tomar en cuenta el efecto de “reciprocidad social negativa” generado por la minería. Si bien es cierto que este caso se ha presentado en centros mineros en otros municipios, se debe considerar este caso de estudio para evitar repetir la situación. En el municipio de Mazapil, Zacatecas, se ha documentado un caso de despojo de tierras y recursos a los campesinos de esta región minera (Garibay *et al.*, 2014). Esta investigación expone las repercusiones sociales y ambientales que tuvo la actividad minera. Por un lado, el despojo de las tierras a los campesinos a partir de la promesa de empleos en la minería y por el otro, la destrucción de la vegetación, el paisaje y el secado de acuíferos de los que dependía la población para su vida diaria. Aunado a que las ganancias económicas no repercutieron en mejores condiciones de vida para la población.

En resumen, para nuestros casos de estudio la actividad minera tiene grandes beneficios económicos pero éstos no han sido motor del desarrollo local, sino que han beneficiado a las empresas mineras y los impuestos a la economía nacional. A cambio, ha dejado contaminación de los suelos y materiales tóxicos que exponen la salud de los pobladores. Entre las soluciones viables a la contaminación, está la generalización del uso de las tecnologías limpias y llevar a los hechos la teoría de la minería sustentable.

La extracción de nutrientes y la degradación del suelo derivada del sector agropecuario

Los municipios de Fresnillo, Guadalupe, y Zacatecas están considerados como municipios de atención prioritaria debido al grado de deterioro que tienen sus recursos naturales para la producción primaria. Esta característica la estableció la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación en sus Reglas de operación para dar apoyo económico al sector rural.

Las actividades que generan mayor degradación ambiental en el sector agrícola y pecuario en los tres municipios son la producción de frijol, tomate y ganado bovino, principalmente por el volumen y por la alta demanda de recursos que se utilizan para su producción. En el caso de la producción de frijol y tomate, se demanda grandes cantidades de agua y fertilizantes. La degradación por la ganadería en Zacatecas se debe en mayor medida a rumiantes que consumen pastos introducidos, pisotean el suelo y promueven la erosión. Además, dada la excesiva carga animal, el estiércol sobrepasa la velocidad a la que los suelos pueden retener los nutrientes.

Un indicador importante es el uso de suelo que se destina para la agricultura. El 48.52% de la cobertura vegetal del municipio de Guadalupe está destinada al cultivo de maíz y frijol; y el 9.59% para forraje de animales (INEGI, 2004a). Para el caso del municipio de Zacatecas estos porcentajes son de 31.81% para la siembra de maíz, frijol y chile y de 44.60% para forraje (INEGI, 2004b). Esto nos indica que la mayor superficie de la vegetación está designada a la agricultura.

Dentro de la agricultura, la producción de frijol merece una mención especial, porque el Estado es el principal productor de este cultivo en el país.¹ No obstante, su importancia proviene de las grandes extensiones sembradas en su mayoría de temporal, y no por los niveles de rendimiento (Reyes *et al.*, 2007). La producción de frijol, al ser intensiva y de gran importancia a nivel nacional, es dependiente de insumos como los fertilizantes. Estos además de ser derivados de los combustibles fósiles, también causan un desbalance de los nutrientes en el suelo. En 2010 los tres municipios en cuestión sembraron 104.9 mil ha de frijol, a las cuales se les aplicó 58.1 mil toneladas de N en fertilizantes sintéticos (*Cuadro 4*).

Cuadro 4.- Superficie sembrada de frijol y cantidad de N aplicada en los fertilizantes en los municipios de Fresnillo, Guadalupe y Zacatecas (datos de SIACON, 2009 y SEMARNAT, 2010)

Municipio	Superficie sembrada de frijol (ha)	Miles de toneladas de N al año	Producción (ton)	Valor de la producción (miles de pesos)
Fresnillo	80552	44.6	1110.0	175021.0
Guadalupe	18360	10.2	4535.8	25934.8
Zacatecas	5990	3.3	1826.9	10487.7
TOTAL	104902	58.1	7472.7	211443.5

La ganadería bovina, consume grandes cantidades de energía debido a su consumo elevado de granos, para los cuales ya se ha utilizado una cantidad considerable de energía. A lo largo de su ciclo de vida genera grandes cantidades de gas metano, éste último un gas con alto potencial de calentamiento global. En la *Figura 1* se detallan los indicadores ambientales derivados de la ganadería bovina en Fresnillo, Guadalupe, y Zacatecas. Los principales indicadores considerados fueron el uso de la energía fósil, las emisiones a la atmósfera de gases con efecto invernadero, la acidificación y la eutrofización.

Los indicadores ambientales para el sector agropecuario, muestran que las 4353 miles de toneladas de carne de bovino en pie son responsables del uso de 113 mil GJ al año, principalmente por concepto de electricidad. La ganadería requiere grandes cantidades de energía principalmente para producir el pasto de los animales. Además, la ganadería es dependiente de combustibles fósiles y por lo tanto hace vulnerable la actividad dado que son energías no renovables.

¹ Desde 1980 al 2004, la siembra de grano representó 55 por ciento del total de la superficie sembrada y el 31.9 por ciento del total del valor generado por la agricultura (Reyes *et al.*, 2007). En 2009 la superficie sembrada de frijol representó en 41% (SIACON, 2009).

A la par, en la *Figura 1* se observa que la ganadería de estos tres municipios emite 97 mil toneladas de CO₂ equivalente. Estas emisiones son resultado de las emisiones de gas metano producto de la fermentación entérica, proceso natural en los rumiantes. Este gas tiene un alto potencial que promueve al calentamiento global y por consiguiente el cambio climático. Estas emisiones se vuelven un círculo vicioso, ya que el cambio climático está asociado a mortalidad de ganado por estrés calórico en los próximos años (Thornton *et al.*, 2009), lo que quiere decir que las emisiones de CO₂ emitidas por el ganado actualmente contribuyen a la insostenibilidad de la ganadería a largo plazo.

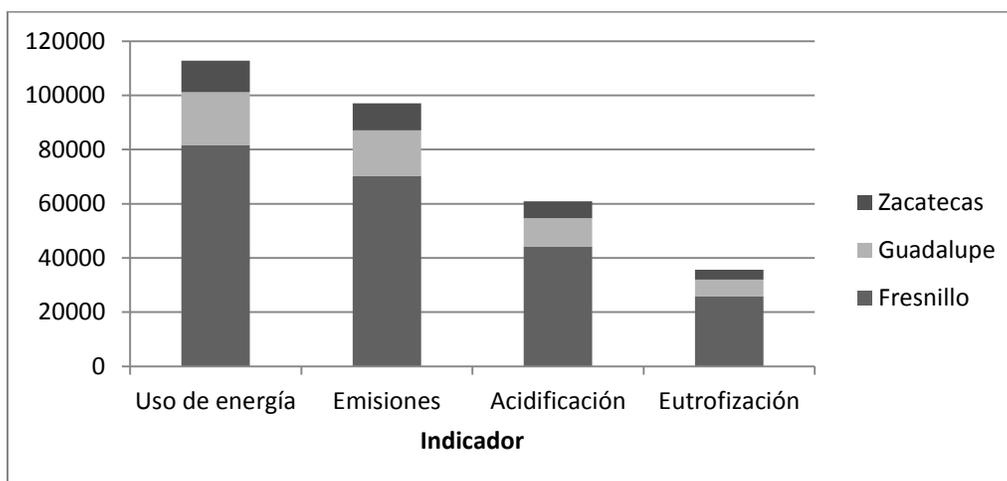


Figura 1.- Indicadores ambientales para el sector agropecuario en cuatro municipios de Zacatecas en el año 2010. Las unidades del uso de energía son gigajoules (GJ), las emisiones son ton CO₂ equivalente, la acidificación son mol H⁺, la eutrofización son ton O₂ equivalente. Elaboración propia a partir de las estadísticas productivas de SIACON (2009) y de los factores desarrollados por Cederberg y Stadig (2003).

La acidificación del suelo se refiere, en términos técnicos, a la disminución de su capacidad de neutralización el ácido. La causa de ello puede ser antropogénica, ya que varias actividades añaden ácidos fuertes al suelo (Porta *et al.*, 2003). El indicador de la *Figura 1* nos señala el potencial de acidificación que tiene la producción bovina debido a la continua emisión de amoníaco del estiércol. En estos tres municipios no se han llevado mediciones específicas que atribuyan a la ganadería causas de acidificación, sin embargo, dada la existencia de potencial es necesario el desarrollo de algún análisis. El potencial de acidificación en este caso es 60 x10⁶ mol H⁺, de los cuales Fresnillo aporta el 72%.

La eutrofización por causa de la producción bovina se debe a las emisiones de nitrato proveniente del estiércol. La eutrofización es un proceso que involucra el crecimiento excesivo de algas en depósitos de agua. La aparición de estas algas ocurre por la disposición de nutrientes en el agua, de los cuales una causa frecuente es el estiércol de los animales (Manahan, 2007). Al igual que la acidificación, el potencial de contaminación por eutrofización existe y es de 35.6 mil toneladas de O₂ equivalente para los tres municipios en conjunto, siendo Fresnillo el que más aporta con 25.8 mil ton de O₂ y Zacatecas el que menos aporta con 3.7 mil ton de O₂.

La producción agrícola y pecuaria por lo tanto, provee alimento a la población dejando importantes problemas ambientales. La solución que ha tomado importancia en años recientes es el incremento de la eficiencia en la producción, es decir, producir más con menos insumos. Otra solución es el uso de técnicas más amigables con el ambiente, como los abonos orgánicos que sustituyen a los fertilizantes orgánicos. Desafortunadamente, estos cambios están llegando muy lentamente a los municipios de Zacatecas, y los cambios que favorecen la protección ambiental no suceden.

Sobreexplotación de los acuíferos y contaminación de los cuerpos receptores

La problemática generada sobre los recursos hídricos tiene varias vertientes. Entre ellas están la sobreexplotación de los acuíferos y la deficiente distribución del recurso, la contaminación debido a las descargas de aguas residuales y a otras actividades antropogénicas.

Las deficiencias en la gestión de sus recursos hídricos

En relación a indicadores de gestión de recursos hídricos para los municipios de estudio, CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) muestra datos bastante optimistas (*Cuadro 5*). Revelan que la cobertura de abastecimiento de agua potable, de alcantarillado y de desinfección está prácticamente cubierta. Donde existe una deficiencia, es en el tratamiento para la ciudad de Fresnillo y la falta de tratamiento induce a la contaminación del agua profunda. En este cuadro también se aprecia que los habitantes de Fresnillo, y Zacatecas tienen un consumo de agua muy superior al mínimo necesario señalado en el parámetro de la OMS, que indica que 80 litros *per cápita* es necesario y suficiente para el día.

Cuadro 5.- Principales indicadores de la gestión de recursos hídricos para Fresnillo y Zacatecas (CONAGUA, 2010)

Indicador	Fresnillo	Zacatecas
Cobertura de agua potable (%)	95	99
Cobertura de desinfección (%)	100	100
Cobertura de alcantarillado (%)	73	86
Cobertura de tratamiento (%)	0	-
Dotación <i>per cápita</i> (L/hab/día)	262	276
Costo producción (\$/m ³)	3.61	4.91

A pesar de los datos optimistas de CONAGUA es necesario señalar que los acuíferos de los cuales depende el abasto de la zona urbana se encuentran sobreexplotados.² Como resultado de esta sobreexplotación se han identificado altos valores de flúor en el agua de Zacatecas debido a la extracción incontrolada, lo que podría conducir a problemas de salud en la población (Carrillo-Rivera *et al.*, 2008).

Existe también una situación grave de desperdicio de agua por el concepto de fugas, que oscila entre un 40 a un 60 por ciento. Estas pérdidas derivan de las fugas que se explican por la deteriorada infraestructura de las redes de abastecimiento, y, en menor medida, de tomas clandestinas. En la Dirección de Distribución y Alcantarillado de la Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas (JIAPAZ) señalaron que la pérdida es de alrededor del 50 por ciento, y engloba tres conceptos: el agua no cobrada (cuota fija, fugas clandestinas y fallas en las mediciones), la pérdida física en las redes de distribución, y la pérdida en las líneas de conducción (Dirección de Distribución y Alcantarillado, comunicación personal, agosto 14, 2008). Este último concepto es un porcentaje muy pequeño, alrededor del 2 por ciento y deriva del propio funcionamiento de las líneas de conducción (Dirección de Captación, comunicación personal, agosto 19, 2008).

La industria tiene también una alta demanda de agua. Ejemplo de ello es la empresa cervecera instalada en el estado, la cual tiene elevados índices de consumo de agua, 9 hectolitros de agua por

² Aunque hay una coincidencia en la sobreexplotación de los acuíferos de la zona, los estudios arrojan datos diferente sobre los grados de sobreexplotación, si se quiere ahondar en el tema consultar a Darcy y McCulligh, 2012.

cada hectolitro de cerveza, si reflexionamos que la media mundial es de 6 a 7, podemos observar la diferencia. Además, este factor es aun más delicado si se considera que la planta está instalada sobre un acuífero vedado para la perforación de nuevos pozos.

En relación al tratamiento de aguas residuales el *Cuadro 6* nos muestra los procesos y la situación actual de las plantas de tratamiento de los municipios involucrados.

Cuadro 6.- Inventario de los tratamientos de aguas residuales para cada municipio y su estado operativo (Rivera-Salinas, 2011. El caudal de operación son litros por segundo)

Municipio	Localidad	Proceso	Cuerpo receptor	Caudal de operación	Población beneficiada	Situación actual
Fresnillo	San Pablo	Reactor bioenzimático	Áreas de cultivo	1.00	1000	Operando con deficiencias
	Rancho Grande	Reactor bioenzimático	Canal de riego	0.00	1085	Operando
	La Encantada	Reactor anaerobio biofiltro estático	Arroyo el salto	5.50	1805	Operando con deficiencias
	El Salto	Reactor bioenzimático	Bordo de cultivo	1.50	1958	Operando con deficiencias
	Refael Yañez Sosa (El mezquite)	Reactor bioenzimático	Arroyo El Águila	0.50	601	Operando con deficiencias
	El Ahijadero	Reactor bioenzimático	Áreas de cultivo	0.83	383	Sin operar
	Eréndira	Reactor bioenzimático				
Guadalupe	Casa Blanca, La Luz, Lomas de Guadalupe, (La oreja) y Ojo de agua	Lagunas de estabilización	Laguna de casa blanca	10.0	5025	Operando
Zacatecas	El Orito	Lodos activados de alta tasa	Arroyo el Jaral	50.0	45000	Operando

Se puede observar que de las ocho plantas existentes sólo tres de ellas se encuentran operando de forma adecuada, otras cuatro se encuentran operando con deficiencias y una se encuentra fuera de funcionamiento. A pesar de que se documentan plantas funcionando en los tres municipios, se observan rezagos relevantes en la materia. Además, si se incorpora el elemento población al análisis de las plantas de tratamiento, el municipio de Guadalupe tienen hasta ahora los mayores caudales de operación. En cambio Fresnillo y Zacatecas, tienen caudales más bajos de operación (*Cuadro 6*).

Pero los datos para los municipios de Zacatecas y Guadalupe han cambiado drásticamente en los últimos años. Se inauguraron dos plantas nuevas, en el 2012 la planta tratadora de aguas residuales ubicada en la comunidad Noria de Gringos del municipio de Morelos, que de acuerdo a datos periodísticos (Ollaquindia, septiembre 2013) tiene una capacidad de tratamiento de 17 por ciento de las aguas residuales que genera la zona metropolitana. La Planta Osiris por su parte, se inauguró en septiembre del 2013, está ubicada al oriente de Guadalupe, es la planta con mayor capacidad

instalada en el estado, trata 458 litros por segundo, con una capacidad de 600, y tiene un sistema a base de lodos activados. Con ella se propone sanear el 80 por ciento de las aguas de Zacatecas y la totalidad de las aguas de Guadalupe. Con el saneamiento de esta última planta se logró descargar el agua tratada al cuerpo receptor sin contaminar. No obstante, aún no se ha iniciado la reutilización del agua planeada para la primera fase, que se proponía reusar 25 por ciento de las aguas tratadas para fines agrícolas. Este reúso se ha retrasado por la existencia de dificultades como la organización e inversión por parte de los agricultores de los ejidos cercanos. En una segunda fase se planea disponer el 75 por ciento para actividades industriales. (El Sol de Zacatecas-Redacción, septiembre 2013; Ollaquindia, marzo, 2014). Con estas dos plantas se pretende que sea saneada la totalidad de las aguas residuales de la zona conurbada. Y a pesar de las dificultades que se han presentado para el reúso, se espera que se concreten los planes en el corto plazo.

En suma el manejo de agua potable a pesar de las coberturas optimistas, esconde sobreexplotación, altos consumos, fugas e inequidad que manifiestan una gestión inadecuada del recurso. Sin embargo, es necesario reconocer el avance en la infraestructura para el tratamiento de aguas, que si se cristaliza en un reúso óptimo el manejo integral será mucho más viable.

Contaminación de los cuerpos de agua

Los principales ríos del estado se encuentran contaminados por descargas de aguas residuales municipales vertidas sin tratamiento, de acuerdo al INEGI (2013) se tienen registrados 51 puntos de descarga sin tratamiento en el estado y de éstos 78 por ciento se descargan en ríos y arroyos. Los principales contaminantes son grasas y aceites; nutrientes; y organismos patógenos.

Debido a lo anterior el poder legislativo local, evaluó en 2011 la creación de una ley que se adapte a las condiciones locales y que permita la protección de los acuíferos, especialmente los más vulnerables (PLZ, 2011). Es importante señalar, que el interés de la legislación local es reciente y aún no se tiene claridad en la gestión necesaria para detener la contaminación actual, es decir, se reconoce la existencia de un problema pero aún se encuentra en una fase inicial de reparación.

Igualmente la ley Federal en materia de derechos del agua, establece que en los tres municipios existen acuíferos nombrados cuerpo receptor B, lo que significa que las descargas de aguas residuales a esos cuerpos receptores deben cumplir estándares estrictos de calidad, de lo contrario la salud de la población en contacto con ellos estaría en riesgo. En el *Cuadro 7* se enlistan los acuíferos establecidos como cuerpo receptor tipo B para los municipios de Fresnillo, Guadalupe, y Zacatecas.

Cuadro 7.- Acuíferos establecidos como cuerpo receptor tipo B (La ley Federal de derechos en sus disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales)

Municipio	Acuífero
Fresnillo	Jerez Aguanaval Ábrego Calera Chupaderos
Guadalupe	Ojocaliente Chupaderos Guadalupe-Bañuelos
Zacatecas	Benito Juárez Calera

En suma, si nos apeamos a lo señalado en la ley Federal de derechos de agua, los acuíferos de los tres municipios tienen riesgos de contaminarse y causar efectos en la salud de la población.

Existe también un problema de contaminación directa como resultado de los residuos de la minería y la agricultura. En el análisis de los sedimentos de la presa Julián Adame-Alatorre, se encontraron elementos como arsénico, bario, cromo, fierro, manganeso y zinc, más altos que los límites establecidos por la EPA como seguros, pero más bajos que los límites establecidos por la legislación mexicana. Estos niveles están posiblemente inducidos por efecto de la introducción de metales tóxicos, fertilizantes y pesticidas (Mireles *et al.*, 2011). En 2003 (Ogura *et al.*, 2003) llevaron a cabo un estudio para estimar la cantidad de mercurio que pudo haberse acumulado en agua y suelo a consecuencia del proceso de extracción de la plata. Como resultado, se encontró que al menos el 28% del mercurio procedente de dicho proceso se acumula en el suelo y en meses posteriores se filtra hacia los acuíferos.

Volviendo en materia de agua residual, La Zacatecana, comunidad muy cercana de Zacatecas-Guadalupe, ha sido receptora de las aguas negras de esta zona conurbada, en una presa que lleva su mismo nombre, la descarga de aguas ha sido constante por muchos años creando un pasivo ambiental, sin embargo como se mencionó, está sufriendo un cambio drástico al ser abastecida con agua sin contaminar de la planta Osiris. Sin embargo, el pasivo no solo es de aguas residuales, sino también de otro tipo de contaminantes acumulados por muchos años como resultado del proceso minero. La laguna Zacatecana o “El Pedernalillo” contiene jales mineros como producto de severas inundaciones en esa región, el valle fue cubierto con jales mineros ricos en metales que fluyeron hacia la laguna. Los jales mineros de la Zacatecana tienen gran interés de beneficio, ya que el proceso de recuperación de metales en los jales tiene una eficiencia tal que el contenido de oro y plata los hace económicamente atractivos, no obstante, estos jales también son ricos en mercurio. A inicios de los años noventa, investigadores universitarios de Zacatecas determinaron la existencia de grados relevantes de contaminación en suelos y peces, y hubo mucha polémica por la muerte de gran cantidad de peces, lo que concluyó en un plan de acción en esta presa (SEMARNAT, 2002).

A pesar de todos los datos anteriores, los municipios de Zacatecas y Guadalupe están catalogados como de muy baja vulnerabilidad hídrica ante el cambio climático, mientras que Fresnillo tienen una vulnerabilidad baja (IMTA, 2010), esto significa que teóricamente tendrán menor riesgo de sufrir los embates de la escasez de agua a futuro. Estos datos son el resultado de una investigación a nivel nacional, lo que refuerza la necesidad de la inclusión de estudios locales en las políticas públicas.

Los problemas ambientales relacionados con la urbanización

Los problemas ambientales relacionados con el proceso de urbanización pueden resumirse en generación y acumulación de residuos sólidos, generación de contaminantes atmosféricos, incremento de la polarización social y migración como resultado indirecto de esta desigualdad.

Residuos sólidos

El ambiente como depósito de residuos cumple un papel fundamental siempre y cuando sea capaz de metabolizar esos residuos. Este no es el caso en Zacatecas, debido a que la velocidad de generación de residuos contaminantes por un lado sobrepasa la capacidad del ambiente para reincorporarlos al mismo, y por otro también sobrepasa la capacidad de los rellenos sanitarios existentes en el estado. El problema de la basura se deriva de su volumen y de los efectos socio-ambientales para su disposición. Las características y composición de los residuos sólidos están en

función de los patrones de consumo y niveles de ingreso; así la basura pasó de ser densa y casi completamente orgánica a voluminosa y parcialmente no biodegradable.

Los tres municipios de Zacatecas generaron en conjunto 153 mil de toneladas de residuos sólidos en 2010. Dada la tasa de crecimiento poblacional, se espera que para 2030 sean cerca de 191.5 mil de toneladas (Figura 2).

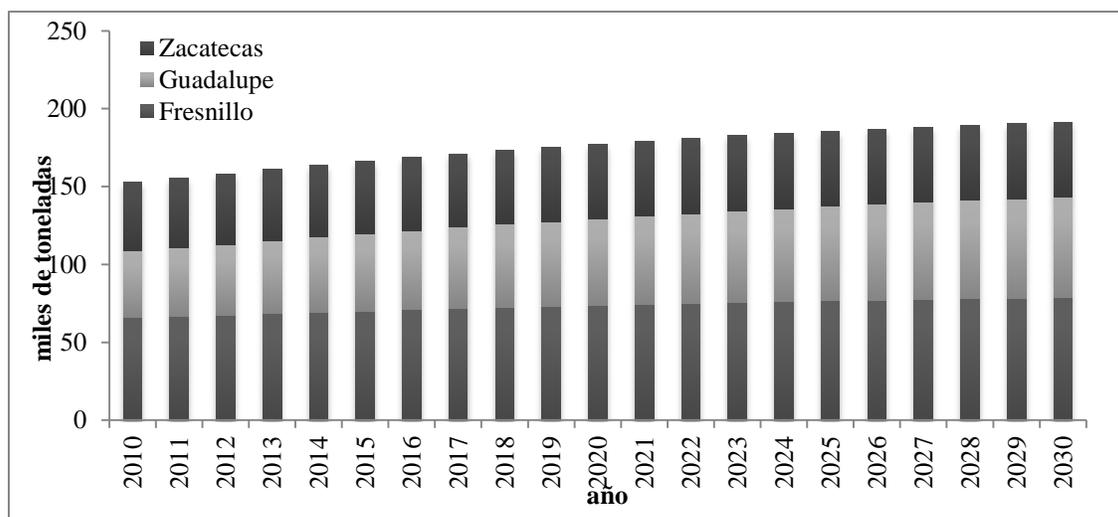


Figura 2.- Generación total de residuos de tres municipios de Zacatecas. Elaboración propia a partir de las proyecciones de CONAPO y de los estimados de emisión de residuos en México de Ojeda-Benítez y Beraud-Lozano (2003).

El tratamiento de los residuos en los municipios de Zacatecas es insuficiente, pues no se les ha planteado la solución adecuada. De acuerdo a datos del INEGI (2013) no se lleva a cabo ninguna recolección selectiva en el estado. El municipio tiene la premisa de tratar los residuos una vez que hayan sido generados, en lugar de reducir la basura desde el origen. Es decir, las propuestas y soluciones no han incluido en ningún momento el tratar de resolver el problema de fondo sino continuar con la estrategia convencional (Tudela, 2001). Un dato relevante y preocupante es que en el municipio de Zacatecas se recolecta la cantidad mayor de residuos (150 toneladas diarias que representan un 14 por ciento estatal), seguido de Guadalupe (140 toneladas, 13 por ciento a nivel estatal) y Fresnillo con una recolección diaria de 110 toneladas (10 por ciento estatal). Si se considera la recolección de basura en el municipio de Zacatecas, incorporando su población, la recolección *per cápita* puede llegar a 1.086 kilogramos diarios, nivel mayor al 0.706 kg estatal (INEGI, 2013). Es necesario redefinir el problema de fondo y crear nuevas soluciones, en particular en lo relativo a la provisión de servicios urbanos. Se debe recordar que a pesar de que existe una definición de desarrollo sustentable y se han creado indicadores para su medición, no existe un modelo o patrón a seguir que se pueda aplicar por igual a cualquier ecosistema, por muy similares que sean sus características.

Contaminantes atmosféricos

La urbanización ha generado también un incremento de las emisiones de gases contaminantes. Un caso concreto de las cabeceras municipales de Zacatecas y Guadalupe, fue la construcción y ampliación del Boulevard López Mateos entre ambas ciudades que incentivó el uso del automóvil como medio de transporte, generando un impacto en el aumento de tráfico y por consiguiente un aumento de emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, compuestos

orgánicos volátiles, partículas suspendidas y amoníaco. Además este incentivo al mismo tiempo estimuló la expansión de la ciudad (González-Hernández, 2004).

Existe un caso de éxito de las políticas públicas en relación a emisiones contaminantes a las afueras de la ciudad de Zacatecas. Blackman (2000) describe el caso de estudio en el cual es resuelto un problema ambiental usando el instrumento regulatorio adecuado. El problema ambiental se originaba las emisiones contaminantes liberadas a la atmósfera como producto de la combustión de llantas usadas en la fabricación de ladrillos. La estrategia política incluyó únicamente la iniciativa del sector público, quien utilizó una combinación de estrategias políticas: Por un lado usaron la herramienta de comando y control, al prohibir el uso de combustibles contaminantes, las llantas usadas. Esta acción generó un cambio hacia una tecnología limpia, pero fue necesaria la aplicación de subsidios que aminoraran los costos y facilitaran la adquisición de aquellos materiales que reemplazaran las llantas. Debido a los buenos resultados que tuvieron dichas estrategias, el programa fue extendido a las ciudades de Fresnillo y Guadalupe. Empero, la evaluación de los resultados en estas últimas ciudades ha quedado pendiente.

Polarización social y migración

Aunado a la contaminación que se genera en el centro urbano, tampoco existen verdaderos beneficios sociales dentro del mismo centro. En relación a los indicadores sociales, la teoría de los centros urbanos en Zacatecas desarrollada por González-Hernández (2004 y 2009), expone que la situación urbana de Zacatecas, definida como policéntrica, induce a una polarización de la población de acuerdo a su nivel de ingresos, donde la población de bajo poder adquisitivo y menor educación, se localiza en la periferia de los centros, lejos de las fuentes de ingresos y servicios, lo que los lleva a una mayor marginación.

Según González-Dávila (2010) los centros urbanos no sólo inducen a una polarización social dentro de las ciudades, sino que también se refleja entre centro urbano y rural. A futuro, será la población rural la más vulnerable a la crisis alimentaria y carencia de servicios, es decir, esta separación entre lo urbano y lo rural será más acentuada.³

Como un posible resultado de esta polarización social, la población de Zacatecas tiene indicadores de migración muy altos (*Cuadro 8*). Otro factor indirecto puede ser la degradación ambiental que si bien aún no se documenta una relación entre la degradación ambiental como causante de la migración, se ha comprobado repetidas veces que es un factor que influye. Las hipótesis están basadas en el entendido general de que al modificarse el ambiente se ven afectadas las fuentes de alimentos, ingresos o el bienestar social, luego entonces, las personas migrarán.

En las palabras de García-Zamora *et al.* (2007): *Los factores ambientales se traducen en relaciones sociales para convertirse en causantes de la migración.* Esto quiere decir que la modificación de las condiciones ambientales puede ser indirectamente causa de la migración. Por ejemplo, la erosión del suelo puede inducir a la disminución en la producción agrícola, lo que a su vez puede generar menos ingresos a los trabajadores dependientes de ésta actividad, y esto a su vez provocar que los mismos trabajadores tomen la decisión de migrar.

³ Es necesario también señalar que la localización de la población en el estado de Zacatecas se encuentra polarizada. En siete de sus 58 municipios se encuentra más de la mitad de su población (51.2 por ciento) —Fresnillo con 14.3 por ciento, Guadalupe con 10.7 por ciento, Zacatecas con 9.3 por ciento, Pinos con 4.7 por ciento, Río Grande con 4.2 por ciento, Sombrerete con 4.1 por ciento y finalmente Jerez de García Salinas con 3.9 por ciento. Mientras que los nueve municipios menos poblados representan en su conjunto solo un 1.4 por ciento de su población total (INEGI, 2010).

De forma recíproca, los migrantes tienen repercusiones en la agricultura de Zacatecas. Los efectos de la migración en la agricultura son variados, sin embargo, Deshingkar (2012) los agrupa en seis efectos. El efecto que ahora nos concierne es la transformación de la agricultura en sitio urbano y el aumento que tienen las remesas en la intensificación de la agricultura. De tal forma que los migrantes, en un intento por mejorar las condiciones de vida de sus familiares, están contribuyendo a la urbanización y a la insostenibilidad agrícola.

Cuadro 8.- Principales indicadores de la migración en los cuatro municipios de Zacatecas (Delgado-Wise y Knerr, 2005)

Municipio	Porcentaje promedio de las remesas respecto al ingreso total del hogar	Porcentaje de hogares donde las remesas representan la fuente principal de ingresos	Porcentaje de hogares que reciben remesas
Fresnillo	54.6	33.5	17.0
Guadalupe	55.4	26.6	4.5
Zacatecas	39.0	18.5	6.5

En contraste, otros estudios no encontraron relación entre la pérdida de vegetación y los movimientos de población. Es un hecho que en 10 años los municipios perdieron el 27% de su población, entre ellos los municipios de Zacatecas fueron de los más pérdidas representaron (Bonilla-Moheno *et al.*, 2012). Sin embargo, no se encontró una correlación que pudiera demostrar que estos movimientos, en el caso de Zacatecas, estuvieran relacionados con la disminución de la vegetación leñosa.

Como una oportunidad de nuevas actividades de desarrollo, se propone la mejora de la oferta turística. En la búsqueda de alternativas turísticas para el estado de Zacatecas, González-Ávila (2011) propone el fomento del turismo rural, el cual podría diversificar la oferta actual –la ciudad de Zacatecas-. Señala la oportunidad de crear una ruta agro-cultural a través de los municipios de Guadalupe, Zacatecas, Jerez, Fresnillo y Sombrerete. Esta propuesta pretende aprovechar la vinculación entre la producción agropecuaria y la gastronomía, potenciado los atractivos culturales que ya existen en esas zonas. Por ello, estos autores señalan que en esta región es factible la creación y promoción de la ruta del chile.

Empero, esta propuesta de turismo alternativo debe acompañarse de una planeación que contemple el cuidado ambiental. De lo contrario, el turismo se vuelve una actividad que promueve la contaminación, como ocurrió con el caso del Proyecto turístico del Centro Histórico de Zacatecas. En este caso, el proyecto turístico tuvo una inversión económica con el propósito de revitalizar el centro urbano a fin de reeditar económicamente al Estado. Sin embargo, a partir de una falta de planeación que indujo a la acumulación de residuos sólidos por falta de contratación de personal de limpia y el congestionamiento vial que produjo contaminación sonora, la imagen de ciudad limpia se perdió (González-Hernández, 2012).

Los riesgos del cambio climático global a nivel municipal

El estado de Zacatecas es predominantemente árido (Alcocer y Bernal-Brooks, 2010), lo que lo hará más vulnerable al cambio climático. Es ya uno de los estados que más ha sufrido las pérdidas por sequías. De acuerdo al Atlas Nacional de Riesgos (DGPC, 1993) de 1979 a 1988 Zacatecas perdió 2627 ha en nueve años de incidencia de este fenómeno.

Para la zona urbana el incremento de la temperatura esperada será mayor. Esto será efecto de la mala planeación de la zona y la poca vegetación en la misma. Un estudio reciente (Morales-Pliego

et al., 2010) demuestra a través de los registros de las estaciones climatológicas de Fresnillo y Zacatecas, que la temperatura se ha incrementado significativamente.

Por otra parte, si nos enfocamos en los efectos del cambio climático en las actividades productivas podemos señalar que la industria minera del municipio de Fresnillo tiene una vulnerabilidad alta. Los principales factores que influyen en esta vulnerabilidad son: el PIB, la dependencia de recursos naturales sensibles al clima y el consumo y la competencia por el agua (Sánchez-Salazar, 2004).

CONCLUSIONES

En este estudio la conceptualización de funciones ambientales nos permitió jerarquizar los principales problemas y avances en materia ambiental en los tres municipios más poblados del estado de Zacatecas: Fresnillo, Jerez y Zacatecas, y con ello dan cuenta de la grave problemática por la que atraviesan los municipios a nivel nacional.

En estos municipios se ve reflejada la misma degradación ambiental del estado, convergen temas diversos como la minería y sus impactos en suelo, agua y riesgos potenciales de salud. Las actividades agropecuarias que demandan agua y fertilizantes a costa de erosión y contaminación. Avances en indicadores estadísticos sobre abastecimiento de agua y los recientes avances en infraestructura de tratamiento de las aguas residuales con planes de reutilización contribuyen a la mejora de los servicios, pero en contraparte se encuentran deficiencias fundamentadas en infraestructuras obsoletas, altos niveles de desperdicio, pasivos de contaminación y, accesos disímiles al recurso (inequidad). Además, los centros urbanos en crecimiento exigen recursos, y agravan problemas de acumulación de residuos y polarización social, lo cual a futuro se verá afectado con el crecimiento esperado de la población, donde la infraestructura será rebasada por mucho. Podemos observar el enlace de los ejes económico, social y ambiental.

Los efectos de la degradación ambiental repercuten de una forma u otra en la disminución del bienestar de la población, ya sea por las amenazas a la salud o por la búsqueda de salidas para satisfacer sus necesidades, como el caso específico de la migración.

Los municipios estudiados presentan diferencias de acuerdo a su especialización productiva, es decir, tienen problemas más apremiantes unos que otros. En el caso de Fresnillo, la agricultura y la ganadería tienen los más altos potenciales de contaminación, dado que tiene una mayor producción agrícola y ganadera. El municipio presenta también proporciones más altas de hogares con migrantes en comparación con los otros tres municipios. Y como resultado de la gran actividad minera, los residuos acumulados y sus problemas de salud pública se han evidenciado en este municipio.

Las cabeceras municipales de Zacatecas y Guadalupe son el ejemplo claro de que la urbanización mal planificada se vuelve en un problema ambiental. Ambas ciudades tienen un pasivo de contaminación de aguas desde épocas mineras, que ha afectado a comunidades aledañas. Aunque se reconoce el avance en la construcción de infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales se espera que el reúso realmente se concrete. El crecimiento de esta zona conurbada es seguro en los siguientes años, por lo que es necesaria la gestión de servicios urbanos bien planificada y con una nueva visión que solucione los problemas de fondo, y que considere la disminución de los recursos hídricos esperada a futuro.

A pesar de encontrar ciertos avances incipientes o casos puntuales en la mejora de la problemática ambiental como el uso de tecnologías limpias en la minería de Fresnillo, en la zona conurbada la construcción de infraestructura para el tratamiento de la totalidad de las aguas residuales de la zona,

el caso de éxito para controlar la emisión de contaminantes derivados de la combustión de llantas en las ladrilleras en la ciudad de Zacatecas y el reconocimiento de la contaminación de los acuíferos y la necesidad de su protección por parte del poder legislativo local. La resolución de la problemática no persigue causas de fondo, simplemente promueve soluciones cortoplacistas, por ello es necesario replantear cada uno de los problemas ambientales y redireccionar las estrategias de ser necesario. Lo que sí es un hecho es que si las estrategias actuales continúan, la urbanización seguirá de una forma desordenada, la sociedad se polarizará aun más, los residuos incrementarán, el abasto de agua disminuirá y no habrá el tan promovido desarrollo sustentable.

LITERATURA CITADA

- Alcocer, J. y Bernal, B. F. W. (2010). "Limnology in Mexico" *Hydrobiologi*, vol. 644, pp.15-68.
- Blackman, A. (2000). "Informal Sector Pollution Control. What a policy options do we have?" *World Developmen*, vol.28, número12, 2067-2082.
- Camprubí, A., González, P. E., Saldívar, D., Alfonso, P. y Canet, C. (2009). "Fluid inclusion and S isotope study in the San Carlos epithermal vein of the Fresnillo, district, Zacatecas, Mexico" *Journal of Geochemical Exploration*, vol.101, pp.19.
- Carrillo, G. R. y González, C. M. C. A. (2006). "Metal accumulation in wild plants surrounding mining wastes" *Environmental Pollution*, vol.144, pp. 84-92.
- Carrillo, R. J. J., Cardona, A., Huizar, A. R. y Graniel, E. (2008). "Response of the interaction between groundwater and other components of the environment in Mexico" *Environmental Geology*, vol. 55, número 2, 303-319.
- Cederberg, C. y Stadig, M. (2003). "System Expansion and Allocation in Life Cycle Assessment of Milk and Beef Production" *LCA Case Studies*, vol. 8, número 6, 350-356.
- Comisión Nacional del Agua, (2010) *Resumen del número de aprovechamientos y volumen concesionado por uso (m3), y por acuíferos. Zacatecas: Conagua*. Dirección Local Zacatecas, Coordinación del Área Técnica, Departamento de Aguas Subterráneas.
- Darcy, T. y McCulligh, C. (2012). *Alternativas para el abastecimiento de agua para la Zona Conurbada de Zacatecas y Guadalupe*. [Ponencia], preparada para el Primer Seminario Nacional, Las ciudades y sus retos del milenio, Los problemas Sociourbanos-Regionales de las Ciudades Mexicanas, Zacatecas, Zac.
- De Groot, R., Matthew, A. W., y Roelof, M. J. B. (2002). "A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services" *Ecological Economics*, vol. 41, 393-408.
- Delgado, W. R. y Knerr, B. (2005). *Contribuciones al análisis de la migración internacional y el desarrollo regional en México*. Universidad Autónoma de Zacatecas. Miguel Ángel Porrua, pp. 241-273.
- Dirección de Captación [entrevista]. (2008). Funcionario de la Dirección de Captación de JIAPAZ, proyecto El abastecimiento y Consumo de Agua Potable en la Zona Urbana de Zacatecas, Guadalupe, Zacatecas, instituto de Geografía, UNAM.

- Dirección de Distribución y Alcantarillado [entrevista]. (2008). Funcionario de la Dirección de Distribución y Alcantarillado de JIAPAZ, proyecto El abastecimiento y Consumo de Agua Potable en la Zona Urbana de Zacatecas, Guadalupe, Zacatecas, instituto de Geografía, UNAM.
- Dirección General de Protección Civil. (1993). *Atlas Nacional de Riesgos*. Dirección General de Protección Civil. Secretaría de Gobernación. México.
- Earthman, M. (2010). *Sulfur Isotope and fluid inclusion study of fluid sources within the Fresnillo southwest silver district, Zacatecas, Mexico*. Tesis de maestría. New Mexico Institute of Mining and Technology. Socorro, New Mexico. Estados Unidos, pp.66.
- El Sol de Zacatecas-Redacción .(2013). “En Zacatecas inauguran planta de tratamiento de aguas residuales Osiris”, *Periódico El Sol de Zacatecas*. Disponible en: <http://www.oem.com.mx/elsoldezacatecas/notas/n3115354.htm>
- García, Z. R., Pérez, V. O., Foladori, G., Delgado, W. R., Moctezuma, M., Reyes, E. y Rivera, P. (2007). “Paradojas de la migración internacional y el medio ambiente” *Economía, Sociedad y Territorio*, vol.6, número 24, 975-994.
- González, Á. M. E. (2011). “Una propuesta para desarrollar turismo rural en los municipios de Zacatecas, México: Las rutas agro culturales” *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio cultural*, vol.9, número 1, 129-145.
- González, D. O. (2010). “Food security and poverty in Mexico: The impact of higher global food prices” *Food Security*, vol. 2, 383-393.
- González, H. G. M. (2004). *Del monocentrismo al policentrismo intraurbano: Un modelo explicativo del cambio en la estructura de centros en la zona conurbada Zacatecas-Guadalupe*. Tesis de Doctorado. Doctor en Ciencias Sociales. El Colegio de la Frontera Norte. Tijuana, Baja California, México, pp. 315.
- González, H. G. M. (2009). “La revitalización del Centro Histórico de Zacatecas y la conciencia social” *Economía, Sociedad y Territorio*, vol.9, número 30, 473-513.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2010). “Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México, vol. III”, en Martínez Austria, P. y C. Patiño Gómez (edits.), *Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante el Cambio Climático*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México, pp. 164.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2004a). *Cuaderno Estadístico Municipal de Guadalupe, estado de Zacatecas*. H. Ayuntamiento de Guadalupe. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2004b). *Cuaderno Estadístico Municipal de Zacatecas, estado de Zacatecas*. H. Ayuntamiento de Zacatecas. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Disponible en:

<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/Zac/Poblacion/default.aspx?tema=ME&e=32>

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2013). *Estadística básica sobre medio ambiente datos de Zacatecas*. Boletín de prensa núm. 132/13 10 de abril de 2013, Zacatecas, Zac. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/boletines/boletin/Comunicados/Especiales/2013/Abril/comunica15.pdf>
- International Institute for Environmental and Development y World Business Council for Sustainable Development. (2002). *Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en América del Sur*. Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente, CIPMA y Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, IDRC-Iniciativa de Investigación sobre Políticas Mineras, IIPM.
- Manahan, S. E. (2007). *Introducción a la química ambiental*. Reverté ediciones. Universidad Nacional Autónoma de México, pp.725.
- Manzanares, A. E., Vega, C. H. R., Letechipía de León, C., Salas, L. M. A., y Hernández, D. V. M. (2004). *Estudio sobre las concentraciones de plomo en muestras de suelo y plantas obtenidas en torno a la empresa "Reciclado de metales y/o Gildardo Gómez"*. Reporte de investigación EaEN/RI-01-PbSI/07/UAZ-01/05101204.
- Manzanares, A. E., Vega, C. H. R., Salas, L. M. A., Hernández, D. V. M., Letechipía de León, C., y Bañuelos, V. R. (2006). "Niveles de plomo en la población de alto riesgo y su entorno en San Ignacio, Fresnillo, Zacatecas, México". *Salud Pública de México*, vol.48, número 3, 212-219.
- Mireles, F., García, M. L., Quirino, L. L., Dávila, J. I., Pinedo, J. L., Ríos, C., y Montero, M. E. (2007). "Random survey related to construction materials and soils in Zacatecas, México using LR-115" *Radiation Measurements*, vol. 42, 1397-1403.
- Mireles, F., Pinedo, J. L., Davila, J. I., Oliva, J. E., Speakman, R. J., y Glascock, M. D. (2011). "Assessing sediment pollution from the Julian Adame-Alatorre dam by instrumental neutron activation analysis" *Microchemical Journal*, vol.99, número.1, 20-25.
- Morales, P. S., Valdez, C. R. D. y Inzunza, L. J. O. (2010). "Cambio Climático: Tendencias de temperaturas extremas en la región hidrológica 36 y áreas aledañas" *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, vol. 9, 143-151.
- Ogura, T., Ramírez, O. J., Arroyo, V. Z. M., Hernández, M. S., Palafox, H. J. P., García De Alba, L. H., y Fernando, Q. (2003). "Zacatecas (Mexico) companies extract Hg from surface soil contaminated by ancient mining industries" *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 148, 167-177.
- Ojeda, B. S. y Beraud, L. J. L. (2003). "The municipal solid waste cycle in Mexico: final disposal", *Resources, Conservation and Recycling*, vol.39, 239-250.
- Ollaquindia, R. (2013). "Inauguran la planta de tratamiento Osiris; inicialmente sólo se usará 25 % del agua tratada", *Periódico La Jornada Zacatecas*, Disponible en: <http://www.ljz.mx/2013/09/08/0025-osiris.html>

- Ollaquindia, R. (2014). “A 7 meses de la inauguración, agua tratada en planta Osiris sigue sin ser aprovechada”, *Periódico La Jornada Zacatecas*, Disponible en: <http://ljz.mx/2014/03/04/7-meses-de-la-inauguracion-agua-tratada-en-planta-osiris-sigue-sin-ser-aprovechada/>
- Poder Legislativo del Estado de Zacatecas. (2011). *Gaceta Parlamentaria*, tomo II, número 057. LX Legislatura. Poder Legislativo del Estado de Zacatecas.
- Porta, J., López, A. M., y Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3ra edición. España, pp. 929.
- Quirino, L. L., Soriano, J. M., Mireles, F., Dávila, J. I., López, H., Pinedo, J. L. y Rios, C. (2007). “Indoor ²²²Rn survey in Zacatecas State, Mexico”. *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 65, 371-374.
- Reyes, E., García, R., Pérez, O. y Foladori, G. (2007). “Los impactos del TLCAN en la producción de frijol de Zacatecas” *Región y Sociedad*, vol. 19, número 39, 77-103.
- Rivera, S. A. F. (2011). *Inventario y situación actual de las plantas de tratamiento del estado de Zacatecas*. Tesis de maestría. Maestría en Planeación de Recursos Hidráulicos. Universidad Autónoma de Zacatecas, pp. 146.
- Sánchez, S. M. T. (2004). “Evaluación de la vulnerabilidad en zonas industriales” en Martínez, J. y A. Fernández Bremauntz, (edits.), *Cambio climático: Una visión desde México*. Instituto Nacional de Ecología. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Secretaría de Economía. (2010). *Anuario Estadístico de la minería Mexicana. Ampliada 2009*. Secretaría de Economía. Servicio Geológico Mexicano. Coordinación General de Minería. México, pp. 555.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). *Presencia de metales pesados en la presa la Zacatecana*. Plan de acción de la presa la Zacatecana para la contención de metales pesados. Municipio de Guadalupe, Zacatecas, pp. 10-23.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *Base de datos estadísticos*. [En línea] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/index-sniarn.aspx>
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. (2009). *Base de datos estadísticos*. [En línea] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=44&Itemid=37
- Suppen, N., Carranza, M., Huerta, M. y Hernández, M. A. (2006). “Environmental management and life cycle approaches in the Mexican mining industry” *Journal of Cleaner Production*, vol.14, 1101-1115.
- Thornton, P. K., Van de Steeg, J., Notenbaert, A. y Herrero, M. (2009). “The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know” *Agricultural Systems*, vol.101, 113-127.

Tudela, F. (2001). “El laberinto de la complejidad. Hacia un enfoque sistémico del medio ambiente y la gestión de los servicios urbanos en América Latina” en Schteingart, M. y L. d’Andrea, (edits.), *Servicios urbanos, gestión local y medio ambiente*. El Colegio de México, Centro de Estudios Demográficos y de Desarrollo Humano, pp. 41-55.

Síntesis Curricular

Patricia Rivera Castañeda

Profesor investigador de El Colegio de la Frontera Norte (EL COLEF), es directora del Departamento de Estudios Económicos. Realizó estudios de posdoctorado en el posgrado de Geografía en la UNAM, es doctora en Estudios del Desarrollo por la Universidad Autónoma de Zacatecas, cursó la Maestría en Administración Integral del Ambiente en EL COLEF y es licenciada en contaduría por la Universidad Autónoma de Zacatecas. Sus líneas de investigación son la economía ambiental, los indicadores de desarrollo sustentable y el manejo de agua urbana.

Lilia Betania Vázquez González

Estudiante del Doctorado en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable en El Colegio de la Frontera Sur. Es Maestra en Administración Integral del Ambiente por El Colegio de la Frontera Norte y Médica Veterinaria Zootecnista por la Universidad Autónoma de Yucatán. Ha participado en diversos proyectos de investigación enfocados a las problemáticas ambientales como el cambio climático y la contaminación de las aguas residuales; y en proyectos de adopción de tecnologías ambientales.